

В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Л. Логинов

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОНОМИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ
ОПТИМАЛЬНОГО
ПЛАНИРОВАНИЯ
В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ
БУДУЩЕГО**

**ЦЭМИ АН СССР и ЦЭМИ РАН:
прогностическая интерпретация и развитие
научного наследия нобелевских лауреатов
Л. В. Канторовича и В. В. Леонтьева**

Центральный экономико-математический институт РАН

В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Л. Логинов

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОНОМИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ
ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ
В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ БУДУЩЕГО**

ЦЭМИ АН СССР И ЦЭМИ РАН: ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ И РАЗВИТИЕ НАУЧНОГО НАСЛЕДИЯ
НОБЕЛЕВСКИХ ЛАУРЕАТОВ Л. В. КАНТОРОВИЧА
И В. В. ЛЕОНТЬЕВА

УДК 330.4
ББК 65в631



РОССИЙСКИЙ ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту № 21-110-00059, не подлежит продаже

Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Логинов Е. Л.

Применение экономико-математических методов и моделей оптимального планирования в цифровой экономике будущего (ЦЭМИ АН СССР и ЦЭМИ РАН: прогностическая интерпретация и развитие научного наследия нобелевских лауреатов Л. В. Канторовича и В. В. Леонтьева). — М.: ЦЭМИ РАН, 2022. — 248 с.

В монографии систематизированы разработки ЦЭМИ АН СССР и ЦЭМИ РАН по прогностической интерпретации и развитию научного наследия нобелевских лауреатов российского происхождения Л. В. Канторовича и В. В. Леонтьева. Теоретические и практические разработки Л. В. Канторовича, много лет сотрудничавшего с ЦЭМИ АН СССР, и В. В. Леонтьева показали свою высокую эффективность для СССР и США в военный и послевоенный периоды 40–60-х гг. XX в., за что они были награждены Нобелевскими премиями. Именно эти разработки лежат в основе стратегий, обеспечивших десятилетия устойчивого роста наиболее значимых стран мира.

Рассмотрены сформулированные в ЦЭМИ АН СССР ключевые теоретические постановки оптимального отраслевого и межотраслевого планирования и управления ресурсами, которые в свое время предлагалось использовать для повышения эффективности экономики СССР. По разным причинам эти предложения не были реализованы полностью, что привело к системному экономическому кризису, следствием которого стал распад советского государства и социалистического блока.

История повторяется: острейший клубок диспропорций и кризисных явлений в мировой экономике вновь поставил вопрос об оптимальном планировании будущего Российской Федерации. В ЦЭМИ РАН сформулированы направления повышения эффективности управления в экономике России на базе наращивания цифровых коммуникаций с интеллектуальными сервисами анализа и моделирования как основы оптимизационного планирования в условиях с расширенной компонентой неопределенности.

Рецензенты:

Акаев Аскар Акаевич — руководитель научного направления научно-образовательной школы Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова «Математические методы анализа сложных систем», профессор, иностранный член Российской академии наук, доктор технических наук.

Ильин Николай Иванович — заместитель начальника Управления информационных систем Службы специальной связи и информации ФСО России, профессор, член-корреспондент Академии криптографии, доктор технических наук.

ISBN 978-5-6046414-5-3

DOI 10.48612/Vujet/vamm-r6ez-n1kf

© Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Логинов Е. Л., 2022

© ЦЭМИ РАН, 2022

Содержание

ОБРАЩЕНИЕ К ЧИТАТЕЛЯМ.....	6
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	8
ВВЕДЕНИЕ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ ВКЛАД НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК Л. В. КАНТОРОВИЧА И В. В. ЛЕОНТЬЕВА В РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ И СТИМУЛИРОВАНИЯ РОСТА В СССР И США В XX в.....	9
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА И ПРАКТИКА ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПТИМАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ В НАРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННОМ КОМПЛЕКСЕ СССР	22
1.1. Подходы к решению задач оптимального планирования использования ресурсов и применения балансовых методов оптимизационного регулирования экономического развития.....	22
1.2. Развитие методов экономико-математического планирования в народно-хозяйственном комплексе СССР: система оптимального функционирования социалистической экономики (СОФЭ)	28
1.3. Уроки построения больших автоматизированных систем для целей управления экономикой: Общегосударственная автоматизированная система учета и обработки информации (ОГАС) и Единая государственная сеть вычислительных центров (ЕГСВЦ) в СССР	53
1.4. Советские подходы к прогнозированию темпов социально-экономического роста и планированию НТП и пути управления научно-техническим развитием в СССР.....	61
1.5. Проблемы барьеров на пути внедрения новых механизмов планирования и управления в экономике как одна из ключевых причин деградации государственного управления и последующего распада СССР.....	66
ГЛАВА 2. БАЗОВЫЕ ТРЕНДЫ ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	71
2.1. Перспективные тренды цифрового развития, которые могут обеспечить решение проблем управления экономикой России	71
2.2. Суперкомпьютерные технологии в моделировании социально-экономических систем	76
2.3. Зарубежный опыт реализации агентных моделей на суперкомпьютерах	80
2.4. Специализированное программное обеспечение для технической реализации агентных моделей на суперкомпьютерах	87

ГЛАВА 3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ	93
3.1. Агентные бизнес-модели, разработанные в ЦЭМИ РАН как инструмент планирования, мониторинга и прогнозирования социально-экономической системы России	93
3.2. Программно-аналитический комплекс «МЁБИУС»	97
3.2.1. I блок — гибридная межотраслевая модель («МЁБИУС-экономика»)	98
3.2.2. II блок — демографическая агентная модель («МЁБИУС-социум»)	101
3.2.3. III блок — АВМ стран Евразии («МЁБИУС-континент»)	101
3.2.4. IV блок — система проектирования АВМ для запуска в параллельном режиме («МЁБИУС-суперкомпьютер»)	102
3.2.5. V блок — модуль для расчета интегральных показателей национальной силы и национальной безопасности	110
3.3. Агент-ориентированные демографические модели	110
3.3.1. Адаптация моделей для запуска на суперкомпьютере	119
3.3.2. Цифровой двойник (искусственное общество) социально-экономической системы России — платформа для экспериментов в сфере управления демографическими процессами	123
3.4. Дальнейшее развитие технологии моделирования социальных процессов на суперкомпьютерах	136
3.4.1. Описание тестовой модели	138
3.4.2. Процедура обмена сообщениями	139
3.4.3. Результаты численных экспериментов	140
3.4.4. Сравнение скорости работы агентной модели на суперкомпьютерах Тяньхэ-2 и МВС-100К	145
3.5. Матрица финансовых потоков — инструмент реализации экономической политики страны	147
3.5.1. Краткая история и направления использования	147
3.5.2. Исторический экскурс	148
3.5.3. Российский опыт	150
3.5.4. Построение матрицы МФП	152
3.5.5. Практическое применение МФП	157
3.5.6. Выводы	161

ГЛАВА 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЗОВЫХ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИЛЫ И НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ	162
4.1. Основные подходы к оценке национальной силы в рамках стратегического противоборства и конкуренции стран мира	162
4.2. Методики расчета индексов национальной безопасности стран мира.....	179
4.3. Внешний контур — симулятор социально-экономической динамики (Social Economic Dynamics, SED).....	194
4.3.1. Современные инструменты оценки последствий торговых взаимодействий.....	195
4.3.2. Программно-аналитический комплекс	202
4.4. Расчет последствий различных сценариев внешнеэкономических торговых конфликтов с участием России	206
4.5. Приоритеты социально-экономической политики и развития нефтегазового комплекса	208
ГЛАВА 5. КЛЮЧЕВЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	212
5.1. Возможность поддержки необходимой прозрачности каждого виртуально агрегированного экономического кластера как фрактальной части общей инфраструктуры цифровой экономики	212
5.2. Электронная структуризация товарного рыночного оборота в России	215
5.3. Повышение эффективности комплексных научно-технических программ полного инновационного цикла и пакетный отраслевой заказ.....	218
5.4. Возможности интеграции естественных и искусственных агентов с использованием нейрокommunikационных протоколов с формированием коллаборативной человеко-машинной среды для нового типа виртуальной реальности.....	224
ГЛАВА 6. ПРОБЛЕМЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ	227
6.1. Россия в военном конфликте: стратегические подходы к построению военно-экономических сценариев	227
6.2. Управление восстановлением функций жизнеобеспечения в экономике России для преодоления последствий природной макрокатастрофы.....	231
6.3. Проектирование действий России в условиях глобального экономического коллапса вследствие обрушения доллара США.....	237
ЗАКЛЮЧЕНИЕ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ	246

ОБРАЩЕНИЕ К ЧИТАТЕЛЯМ

Предлагаемая вниманию читателей монография об оптимальном планировании с обобщением работ лауреатов Нобелевской премии Василия Леонтьева и Леонида Канторовича является фундаментальным трудом в современной экономической науке. Речь идет о двух взаимосвязанных основах современной науки — о межотраслевых связях, характеризующих цепочку затрат продуктов и услуг, пронизывающих экономические связи от производства до конечного потребления, с одной стороны, и об оптимальном программировании для нахождения наилучших решений в использовании ресурсов, нацеленных на социально-экономический результат, с другой. Этот вклад в экономическую науку был осуществлен учеными российского происхождения Василием Васильевичем Леонтьевым, переехавшим в США в 1931 году, работавшим над проблемами планирования нового социалистического государства, и Леонидом Витальевичем Канторовичем, выдающимся ученым-математиком и экономистом, членом Академии наук СССР и РАН.

Достижения В. В. Леонтьева и Л. В. Канторовича являются главными в формировании современной экономической науки наряду с учением Джона Кейнса, профессора Кембриджского университета, Саймона Кузнеца, основателя современной макроэкономики, более 30 лет возглавлявшего главный макроэкономический центр мира National Bureau of Economic Research в США (также выходца из СССР), и Милтона Фридмана, создавшего Чикагскую школу монетаризма в экономической науке. Притом эти достижения являются не просто общетеоретическими, а служат основой новой экономической политики для многих государств, определяющих их развитие. Кейнсианство, как известно, послужило основой политики Франклина Рузвельта по преодолению Великой депрессии 1929–1933 годов и определило политику ряда государств в период после Второй мировой войны для смягчения периодических кризисов и модернизации циклов развития экономики. Учение Милтона Фридмана стало базой рейганомии по преодолению десятилетней рецессии и стагнации 70-х и начала 80-х годов и последующего двадцатипятилетнего подъема США — главной страны капиталистического мира. Этому учению следовала и Маргарет Тэтчер в Великобритании в 80-е годы прошлого века, добившаяся преодоления стагнации и 11-летнего социально-экономического подъема в Великобритании в 90-е годы, восстановив ее роль как мирового финансового центра.

В нашей стране во многом благодаря изучению статистики, эконометрики, межотраслевого баланса и оптимальному программированию сложился коллектив научных работников и плановиков-практиков в 50–70-е годы XX века, которые подняли нашу страну на второе место в мире после США по экономическому потенциалу, технологическому развитию, качеству образования и оздоровления населения во многом благодаря реформированию системы управления в промышленности («Косыгинская реформа» 1965 года) и совершенствованию системы народно-хозяйственного планирования.

Не политэкономы, пренебрежительно относящиеся к моделированию экономических процессов, а специалисты по реальной экономике нашей страны, умеющие ее анализировать, рассчитывать и прогнозировать на основе межотраслевых и оптимальных моделей. Такими выдающимися экономистами были академики А. И. Анчишкин, Н. Я. Петраков, С. С. Шаталин, Ю. В. Яременко и ряд других, сформировавшие вокруг себя научные школы, работавшие в ЦЭМИ и затем во второй половине 80-х годов прошлого века выделившиеся в отдельные институты. Сейчас это Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, Институт социально-экономических проблем народонаселения РАН, Институт проблем рынка РАН.

Временно им удалось отеснить на второй план влияние на экономическую политику лозунговых идей. В дальнейшем при установлении контроля партийных комитетов над дирекциями предприятий и организаций произошло ослабление роли современной экономической науки в формировании социально-экономической политики, что привело к «брежневскому застою», сокращению темпов социально-экономического развития, нарастанию диспропорций и отставанию нашей страны по указанным выше направлениям от развитых и передовых развивающихся стран.

Было «выкинуто за борт» стратегическое народно-хозяйственное планирование, которое во многом было взято на вооружение 50 рыночными странами мира, развитыми и развивающимися, послужившее им инструментом для ускоренного развития.

Китай сейчас осуществляет 14-ю пятилетку, Индия несколько лет назад завершила 12-ю пятилетку, быстро развивающаяся в последнее время Турция успешно осуществляет свой 11-й пятилетний план. С помощью пятилетних планов поднялись Япония, Южная Корея, послевоенная Франция и многие другие страны.

Мы забросили анализ цепочек производственных связей. И сейчас в условиях санкций, обрвавших эти цепочки в виде сокращения импорта из развитых недружественных стран, пожинаем плоды нашей недальновидности, практически не используя достижения собственных ученых. В этой связи тематика рассматриваемой монографии является крайне важной и своевременной. Искренне надеюсь на возрождение интереса к межотраслевым связям и оптимальному планированию. Крайне важно усилить обучение экономистов межотраслевому балансу и оптимальному программированию не только как разделу основных экономических курсов, но и в виде спецкурсов и стажировок.

А научные заделы у нас есть. Исследования головного здесь Центрального экономико-математического института РАН всесторонне представлены в рассматриваемой книге. Мне здесь нечего добавить. Скажу лишь о том, что в ЦЭМИ воспиталось целое поколение крупных специалистов экономико-математического профиля, которые сформировали научные коллективы в других подразделениях Российской академии наук и университетах.

В конце XX — начале XXI века под руководством академика РАН В. Л. Макарова в ЦЭМИ был разработан ряд рекомендаций и прогнозов построения рыночной экономики в России, обосновывающий необходимость проводить трансформацию экономики и восстановление утраченных отраслей на плановой основе с учетом и исходя из логики советского опыта планирования и построения СССР новых отраслей в период индустриализации.

В течение двух последних десятилетий под руководством В. Л. Макарова и А. Р. Бахтизина в ЦЭМИ были разработаны агентные методы имитационного моделирования как инструментальная основа для планирования и регулирования, подходящие для нерыночных, смешанных, квазирыночных и рыночных систем, реализованные с использованием суперкомпьютеров в МГУ им. М. В. Ломоносова и Межведомственном суперкомпьютерном центре РАН.

Для современных условий В. Л. Макаровым, А. Р. Бахтизиным и Е. Л. Логиновым в качестве концептуальной основы антикризисной экономической политики в нашей стране предложено построение цифровой инфраструктуры экономики, включающее в себя методологию использования цифровых технологий мониторинга, моделирования и прогнозирования. Это создало инструментальную основу фактически бесшовного масштабируемого расширения анализируемых массивов данных применительно как к рыночной экономике, так и к элементам централизованного государственного управления, в т. ч. в условиях особого периода и чрезвычайных ситуаций.

Перед нынешним поколением ученых-экономистов, на наш взгляд, стоит важная задача — поднять значимость межотраслевого и межрегионального моделирования и оптимального программирования, используя эти результаты в экономической политике. Сейчас это приобретает особую значимость для скорейшего восстановления экономики России после экономического спада в 2022 году в связи с санкциями против России из-за спецоперации на Украине.

Абел Гезевич Аганбегян, академик АН СССР и РАН

ПРЕДИСЛОВИЕ

Монография посвящена анализу проблем, связанных с переходом человечества к цифровой стадии своего развития. Она состоит из шести глав, связанных друг с другом именно проблемами, относящимися к цифровизации, особенно в социальной и экономической сферах.

Главы, однако, различаются по уровню понимания их читателями в зависимости от их подготовки и знания употребляемых в книге терминов.

Глава 1 наиболее понятна для понимания, поскольку она посвящена истории математического и компьютерного моделирования экономических и социологических процессов. В главе также показана весьма значительная роль Центрального экономико-математического института АН СССР и РАН (ЦЭМИ) в этой деятельности.

Глава 2 более сложна для понимания. В ней речь идет о роли суперкомпьютерных технологий в моделировании социально-экономических процессов. Дело в том, что искусственные общества, т. е. компьютерные модели человеческих обществ, включают в себя популяции людей со своими персональными параметрами. Таких агентов — миллионы. И только суперкомпьютеры, использующие технологии параллельных вычислений, могут проводить различные варианты расчетов, используя такого рода информацию.

Глава 3 является наиболее содержательной и наиболее конкретной применительно к практическому использованию компьютерных моделей в управлении обществом, в частности экономикой. Здесь обсуждаются конкретные модели, созданные сотрудниками ЦЭМИ РАН и являющиеся эффективными инструментами поддержки принятия решений в цифровом обществе. Здесь от читателя также требуется знание и понимание соответствующих понятий и терминов, без которых невозможно дать адекватное изложение содержания настоящей главы.

В последующих трех главах описывается применение конкретных инструментов компьютерного моделирования для решения важнейших проблем, стоящих перед человечеством в целом и Россией в частности.

Глава 4 посвящена анализу проблем безопасности. Рассчитывается новый показатель национальной силы, который играет решающую роль в оценке национальной безопасности. Рассматриваются различные варианты расчетов, которые становятся возможными именно при компьютерном моделировании. В этой главе упор сделан на роли разработанных в ЦЭМИ инструментов, играющих решающую роль в цифровом мире.

В главе 5 рассматриваются ключевые организационно-информационные решения преобразования управленческих механизмов на основе использования цифровых технологий.

И наконец, в главе 6 детально обсуждается система стратегического управления в современную эпоху, когда планирование существенно обновляется и получает важное место в управлении обществом.

Следует отметить, что все главы опираются на разработки сотрудников ЦЭМИ РАН, что не умаляет достижения ученых всего мира.

ВВЕДЕНИЕ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ ВКЛАД НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК Л. В. КАНТОРОВИЧА И В. В. ЛЕОНТЬЕВА В РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ И СТИМУЛИРОВАНИЯ РОСТА В СССР И США В XX в.

Если перед тем, как попытаться дать какое-либо объяснение экономического развития, некто захочет узнать, что в действительности представляют собой прибыль, заработная плата, капиталистическое предприятие, он может получить в трех томах «Капитала» более реалистическую и качественную информацию из первоисточника, чем та, которую он мог бы найти в десяти последовательных отчетах Бюро переписи США, в дюжине учебников по современной экономике...

В. В. Леонтьев (1990)¹

Среди лауреатов Нобелевской премии по экономике выделяются два лауреата российского происхождения, Л. В. Канторович и В. В. Леонтьев², чьи исследования и разработки во многом дополняли друг друга.

Л. В. Канторович. Краткая биографическая справка

Леонид Витальевич Канторович родился 6 января 1912 г. в Санкт-Петербурге.

В возрасте 14 лет поступил в Ленинградский государственный университет и уже через год начал активную научную деятельность на семинарах, которыми руководили Б. Н. Делоне, В. И. Смирнов и Г. М. Фихтенгольц. В 1927–1929 гг. выполнил первые работы, относившиеся к дескриптивной теории функций и множеств. Окончил Ленинградский государственный университет в 1930 г. В 1934 г., т. е. в возрасте 22 лет, Канторович стал самым молодым профессором университета, а в 1935 г. получил степень доктора физико-математических наук (без защиты диссертации).

В годы Великой Отечественной войны Л. В. Канторович был призван в вооруженные силы (находился на военной службе в 1941–1948 гг.) и служил начальником кафедры математики в военно-морском подразделении Военно-технического инженерного училища (ВИТУ ВМФ).

Именно тогда он написал рукопись монографии «Экономический расчет, обеспечивающий наиболее целесообразное использование ресурсов». Книгу в первоначальном варианте ученый завершил 20 сентября 1942 г. Первое издание книги вышло в 1959 г.

В 1948 г. подполковник Л. В. Канторович демобилизовался из армии и вернулся в Ленинград.

В тот же период Канторовича привлекли к решению задач в области атомного проекта. В июне 1948 г. вышло Постановление Со-



Л. В. Канторович — инженер-подполковник

¹ Леонтьев В. Современное значение экономической теории К. Маркса // В. Леонтьев. Экономические эссе. Теории, исследования, факты и политика. М., 1990.

² Третьим лауреатом Нобелевской премии по экономике, родившимся в Российской империи (в Харькове), был американский ученый-экономист Саймон Кузнец (Simon Kuznets; 1901–1985).



Л. В. Канторович

вета Министров Союза ССР «О дополнительных заданиях по плану специальных научно-исследовательских заданий на 1948 г.». В нем предписывалось, в частности, «в двухнедельный срок организовать в Ленинградском филиале Математического института АН СССР расчетную группу в количестве 15 человек, возложив руководство этой группой на проф. Канторовича». Ему был поручен расчет критической массы плутония.

В 1949 г. цикл работ Л. В. Канторовича по общей теории приближенных методов анализа был удостоен Сталинской премии.

В 1958 г. Канторович был избран членом-корреспондентом АН СССР по Отделению экономических, философских и правовых наук, а в 1964 г. — действительным членом АН СССР по Отделению математики.

В 1958 г. совместно с В. С. Немчиновым создал и возглавил Лабораторию по применению математических и статистических методов в экономических исследованиях и планировании, которая формировалась в Ленинграде, но предназначалась для деятельности в Сибирском отделении АН СССР.

В 1960 г. Л. В. Канторович переехал в Новосибирск вместе с ленинградской группой сотрудников указанной лаборатории. В 1958–1971 гг. работал в Институте математики СО АН СССР: с 1958 г. — заведующим математико-экономическим отделением, с 1960 г. — заместителем директора. Одновременно в 1961–1971 гг. преподавал в Новосибирском государственном университете, где организовал кафедру вычислительной математики, в 1960–1970 гг. став ее первым заведующим.

В 1965 г. был удостоен Ленинской премии (совместно с экономистами В. С. Немчиновым и В. В. Новожиловым)³.

Работы по общим экономическим проблемам (эффективность капиталовложений, планирование, управление экономикой) требовали постоянного контакта с научными институтами Москвы, где был создан Центральный экономико-математический институт АН СССР. До конца своей жизни Канторович активно сотрудничал с ЦЭМИ АН СССР, являясь бессменным членом ученого совета института⁴.

В 1971 г. Л. В. Канторович переехал в Москву и руководил проблемной лабораторией Института управления народным хозяйством Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике (ГКНТ СССР). Консультировал работы по государственной экономике и управлению, которые выполняли правительственные органы — Госплан, Госснаб и Госкомцен.

С 1976 г. работал заведующим отделом Всесоюзного научно-исследовательского института системных исследований (ВНИИСИ) ГКНТ СССР и АН СССР (ныне Институт системного анализа РАН)⁵.

Заслуги Л. В. Канторовича, кроме государственных научных премий и академических званий, отмечены двумя орденами Ленина (1967 и 1982 гг.), тремя орденами Трудового Красного Знамени (1949, 1953 и 1975 гг.), орденом «Знак Почета» (1944 г.) и медалями СССР.

В 1975 г. Л. В. Канторовичу совместно с американским математиком Т. Купмансом была присуждена Нобелевская премия по экономике⁶.

Умер Л. В. Канторович 7 апреля 1986 г. в Москве.

³ Академик Леонид Витальевич Канторович. <https://computer-museum.ru/galglory/21.htm>.

⁴ Кутателадзе С. С., Макаров В. Л., Романовский И. В., Рубинштейн Г. Ш. О научной, педагогической и общественной деятельности Л. В. Канторовича // Владикавказский математический журнал. 2002. Т. 4, № 1. С. 5.

⁵ Члены Российской академии наук в Математическом институте им. В. А. Стеклова РАН. К 75-летию юбилею МИАН. Биографический словарь-справочник. Под общей редакцией академика В. В. Козлова / Авторы-составители: Зимин Э. П., Кисляков С. В., Монахтина Г. С., Павлов В. П. М.: Янус-К, 2009. http://www.mi-ras.ru/inmemoria/21951_rus.html.

⁶ Макаров В. Л. Уникальное сочетание таланта математика и экономиста. К 100-летию со дня рождения академика Л. В. Канторовича // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82, № 4. С. 353.

В. В. Леонтьев. Краткая биографическая справка

Василий Васильевич Леонтьев родился 5 августа 1905 г. в Мюнхене. Ранее много лет считалось, что он родился 5 августа 1906 г. в Санкт-Петербурге. Однако в соответствии с документом, обнаруженным дочерью ученого, Леонтьев родился в Мюнхене 5 августа 1905 г. и был крещен в Санкт-Петербурге спустя год после рождения. Сам Леонтьев публично всегда называл Россию своей родиной, а Санкт-Петербург — своим родным городом⁷.

В. В. Леонтьев стал заниматься самостоятельными исследованиями, поступив в Петроградский университет в 1921 г. в возрасте 15 лет. В 1925 г. успешно окончил университет и получил разрешение продолжить образование в Берлине для подготовки диссертации (PhD). Готовил ее в Берлинском университете под руководством известного немецкого экономиста и социолога В. Зомбарта и крупного статистика-теоретика, выходца из России В. И. Борткевича. Диссертацию по теме исследования народного хозяйства как непрерывного процесса успешно защитил в Берлинском университете в 1928 г. Ему было 22 года. Затем Леонтьев стал научным сотрудником престижного Института мировой экономики при Кильском университете. В 1928–1929 гг. работал в Китае в качестве советника министра железных дорог. Перед ним была поставлена задача расчета оптимального варианта системы путей сообщения и грузоперевозок Китая. Затем возвратился в Кильский университет.

В 1931 г. В. В. Леонтьев переехал в США, получив приглашение на работу в Национальное бюро экономических исследований. В том же году начал свою многолетнюю деятельность в Гарвардском университете, где в 1946 г. основал Центр экономическо-аналитических исследований, который возглавлял до 1972 г.

После начала Второй мировой войны работал консультантом по экономическому планированию для Военно-воздушных сил США. Под его руководством была построена матрица «затраты — выпуск» для экономики Германии. Матрица служила основой для выбора целей американской авиации⁸.

Во время войны В. В. Леонтьев получал заказы от правительства Ф. Рузвельта, оценившего возможности метода «затраты — выпуск» для государственного регулирования экономики, особенно при необходимости ее структурной перестройки в ходе войны и после ее окончания. В 1943–1945 гг. Леонтьев руководил Русским экономическим подразделением стратегических служб в Вашингтоне, планируя поставки в СССР по ленд-лизу.

В 1946 г. Леонтьев стал ординарным профессором в Гарвардском университете и позже (с 1953 по 1975 г.) возглавлял кафедру экономики. В 1975 г. вышел в отставку и занял пост профессора экономики и директора Института экономического анализа Нью-Йоркского университета (с 1985 г. был научным сотрудником этого института)⁹.

По заказу Секретариата ООН В. В. Леонтьев в течение четырех лет возглавлял основанный на его методе масштабный проект ООН «Будущее мировой экономики». Задачей было оценить на перспективу до 2000 г. потребности в основных видах сырья, определить вероятные потоки мировой торговли и финансовых ресурсов и наметить экономические связи между главными регионами¹⁰.



В. В. Леонтьев

⁷ Гранберг А. Василий Леонтьев и его вклад в мировую экономическую науку. <https://institutiones.com/personalities/71-2008-06-12-11-10-29.html>.

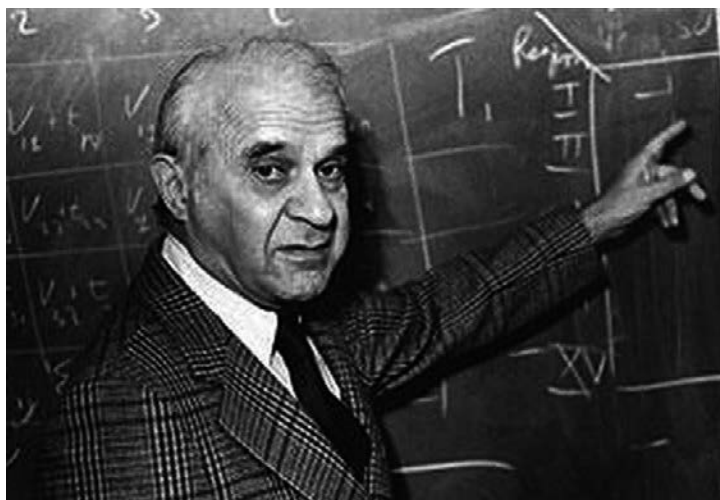
⁸ Глава 1. Интервью с Василием Леонтьевым // О чем думают экономисты: беседы с нобелевскими лауреатами / под ред. П. Самуэльсона и У. Баннета. Пер. с англ. М.: Юнайтед Пресс, 2009. С. 56.

⁹ Леонтьев Василий. <https://eleven.co.il/?mode=article&id=12418&query=>.

¹⁰ Окрепилов В. В. Василий Леонтьев: документы, воспоминания. статьи. СПб.: Гуманистика, 2006.

В 1988 г. получил приглашение в СССР для обсуждения проблем перестройки. В том же году был избран иностранным членом Академии наук СССР.

В начале 1990-х гг. В. В. Леонтьев приезжал в Российскую Федерацию с предложением помощи в реформировании российской экономики. Вернувшись в Америку, он сказал: «Я туда больше не поеду. Они ничего не слушают».



В. В. Леонтьев

Научный потенциал Леонтьева был востребован в Санкт-Петербурге, где мэр Северной столицы А. Собчак в 1991 г. основал Международный центр социально-экономических исследований, названный в честь нашего американского соотечественника.

В 1973 г. Шведская королевская академия наук объявила о присуждении профессору В. В. Леонтьеву Нобелевской премии по экономическим наукам за развитие метода «затраты — выпуск» и его применение в решении важнейших экономических проблем. Однако Леонтьев отказался получать премию, т. к. считал, что будет справедливым дать эту премию не только ему, но и советскому мате-

матику Л. В. Канторовичу. Молодой математик Канторович в 1930-е гг. опубликовал две статьи, прочтя которые В. В. Леонтьев понял, что в них была дана общая математическая формулировка теории линейного программирования. И, хотя Канторович не дал методов вычислительного решения, он, как создатель теории линейного программирования, радикально изменил и трансформировал экономическую мысль.

Ознакомившись с представленными Леонтьевым материалами, Нобелевский комитет согласился с его предложением, но советское правительство ответило Нобелевскому комитету категорическим отказом, заявив о невозможности одновременного вручения премии советскому ученому и эмигранту¹¹. Переговоры на эту тему длились долго и закончились тем, что в 1973 г. Леонтьев получил Нобелевскую премию один с формулировкой: «За развитие метода «затраты — выпуск» и применение его к важнейшим экономическим проблемам», а Канторович получил ее через два года, в 1975 г., вместе с американцем Тьяллингом Купмансом за их вклад в теорию оптимального распределения ресурсов.

Умер В. В. Леонтьев 5 февраля 1999 г. в Нью-Йорке.

Разработка и внедрение в экономику методов математического анализа и моделирования

Основные труды Л. В. Канторовича в области экономики связаны с созданием экономико-математических моделей и методов. Разработанные подходы были использованы для оптимального планирования и управления совокупностью отраслей и видов производственной деятельности в масштабах страны для решения экономических проблем с учетом действовавших в то время социальных условий¹². В 1939 г. он издал монографию «Математические методы организации и планирования производства», которая была его первым математико-экономическим трудом. В 1942 г., обстоятельно развив идеи этой монографии и оформив их в виде соответствующего материала, при содействии С. Л. Соболева направил ее в Госплан СССР — правительственный орган, который в то время руководил всеми экономическими исследованиями и раз-

¹¹ Зубова В. Р. 115 лет со дня рождения В. В. Леонтьева. https://www.domrz.ru/press/memo_dates/115_let_so_dnya_rozhdeniya_v_v_leonteva/.

¹² Кутателадзе С. С., Макаров В. Л., Романовский И. В., Рубинштейн Г. Ш. Научное наследие Л. В. Канторовича (1912–1986) // Сибирский журнал индустриальной математики. 2001. Т. 4, № 2 (8). С. 3–17.

работками в СССР¹³. В то время направление, развитие которого предлагал Л. В. Канторович, поддержано не было. Но он продолжил свои исследования, и после изменений, произошедших в стране в 1950-х гг. (правительственные органы стали ощущать потребность в точных и правильных инструментах планирования и управления), ему предложили возглавить проведение исследований в данной области в Сибирском отделении Академии наук СССР (СО АН СССР). В 1958–1971 гг. Канторович выполнил цикл исследований и руководил работами по указанной тематике в Институте математики СО АН СССР. Его работы, выполненные в этот период, стали основой линейного программирования¹⁴.

Работы Л. В. Канторовича по ряду направлений дополнялись работами В. В. Леонтьева.

Как отметил академик РАН А. Г. Гранберг, в СССР всплеск интереса к работам Леонтьева произошел только во второй половине 1950-х гг. Наибольшее впечатление на экономистов производила открывающаяся возможность применения математики и электронных вычислительных машин. Главным направлением здесь стала разработка балансов «затраты — выпуск» (их стали называть межотраслевыми балансами). Центральное статистическое управление СССР разработало отчетный межотраслевой баланс за 1959 г. в стоимостном выражении (по 83 отраслям) и первый в мире межотраслевой баланс в натуральном выражении (по 257 позициям). Одновременно развернулись прикладные работы в центральных плановых органах (Госплане и Госэкономсовете) и научных организациях. Первые плановые межотраслевые балансы в стоимостном и натуральном выражении были построены в 1962 г. Далее работы были распространены на регионы. За короткий промежуток времени межотраслевые балансы были построены по всем союзным республикам и экономическим районам РСФСР. Были созданы научные заделы для более широкого применения межотраслевых моделей в практике планирования народного хозяйства СССР и союзных республик. В 1970-х и 1980-х гг. на основе матриц «затраты — выпуск» разрабатывались более сложные межотраслевые модели и модельные комплексы, которые использовались в прогнозных расчетах и частично входили в технологию народно-хозяйственного планирования^{15, 16}.

Разработка и внедрение методов математического анализа и моделирования в экономику являются сейчас основой прогнозирования и планирования, в том числе в антикризисных целях.

Выявление факторных зависимостей в работе разноуровневых экономических систем и развитии экономических процессов как основа прогнозирования и планирования, в том числе в антикризисных целях

Л. В. Канторович заложил фундамент современной теории оптимального планирования. Развернутому изложению основных идей этой теории посвящена его капитальная монография «Экономический расчет наилучшего использования ресурсов» (1959, 1960). Стержнем этой книги является формулировка основной задачи производственного планирования и динамической задачи оптимального планирования. Указанные задачи достаточно просты, но в то же время учитывают важнейшие черты экономического планирования. Одно из привлекательных качеств состоит в том, что они базируются на схеме линейного программирования и, следовательно, на развитом аналитическом аппарате и обширном наборе эффективных вычислительных средств, часть из которых предложил сам Л. В. Канторович.

Динамическая задача оптимального планирования привлекала большое внимание Канторовича и в последующие годы. В частности, ей посвящена ключевая работа «Динамическая модель оптимального планирования» (1964); см. также «Оптимальные модели перспективного плани-

¹³ Макаров В. Выдающийся экономист, выросший из великого математика (к столетию со дня рождения Леонида Канторовича) // Вопросы экономики. 2012. № 1. С. 42–50.

¹⁴ Члены Российской академии наук в Математическом институте им. В. А. Стеклова РАН. К 75-летию юбилею МИАН. Биографический словарь-справочник / под общей редакцией академика В. В. Козлова / Авторы-составители: Зимин Э. П., Кисляков С. В., Монахтина Г. С., Павлов В. П. М.: Янус-К, 2009. http://www.mi-ras.ru/inmemoria/21951_rus.html.

¹⁵ Гранберг А. Василий Леонтьев и его вклад в мировую экономическую науку. <https://institutiones.com/personalities/71-2008-06-12-11-10-29.html>.

¹⁶ Кнубовец Р. Великий русский американец — экономист Василий Леонтьев. http://russianscientist.org/files/archive/History/2017_KNUBOVETS-33-1.pdf.

рования» (1965). В этих работах Канторович показал, как в экономическую модель вводятся элементы нелинейности, стохастики и дискретности и какую роль они играют как в более точном учете экономической реальности, так и при математическом анализе соответствующих моделей. Работа 1964 г., по существу, определила направление многих экономико-математических работ, которые были выполнены в последующие годы. За рубежом, в частности, большое развитие получило направление, именуемое теорией экономики благосостояния.

В работе «Оптимальные модели перспективного планирования» (1965) Л. В. Канторович изучал вопрос построения динамической модели оптимального планирования на базе существующей статистической информации, в частности на базе информации межотраслевого баланса. Путь, указанный в этих работах, оказался плодотворным, и позднее определенное место заняли оптимизационные модели, базирующиеся на информации межотраслевого баланса.

В то же время внимание Канторовича привлекали экономические модели, которые могли быть подвергнуты достаточно полному математическому анализу в силу их малой размерности. Мало-размерные (однопродуктовые и двухпродуктовые) модели довольно интенсивно исследовались за рубежом. В работе «О некоторых функциональных уравнениях, возникающих при анализе однопродуктовой экономической модели» (1959) он сформулировал такую однопродуктовую модель, в которой учитывается срок ввода основных производственных фондов. Их анализ позволяет исследовать проблему амортизации и эффективности капитальных вложений и ряд других вопросов, которые особенно актуальны именно при планировании. Канторович рассматривал различные способы введения и учета технического прогресса. В частности, он исследовал вопрос о влиянии темпов технического прогресса на норматив эффективности капитальных вложений, а также предложил способ оценки численной величины норматива исходя из имеющихся статистических данных. Тем самым впервые был дан объективный подход к исчислению нормы эффективности¹⁷.

Канторович также указал конкретные условия, при которых объективно обусловленные оценки оптимального плана совпадают с полными (прямыми и сопряженными) затратами труда. Определение перспектив экономики и наличие гигантских «естественных монополий» заставляют сохранить для них расчет, по крайней мере, опорных цен, согласованных и взаимно, и с интересами других отраслей экономики.

Развитая в трудах Л. В. Канторовича и В. В. Леонтьева методология анализа придает количественную определенность многим теоретическим конструкциям, позволяет по-новому подходить к теориям структурных сдвигов, экономической динамики, заработной платы, налоговых систем и внешней торговли¹⁸.

Как по этому поводу отмечает академик РАН А. Г. Гранберг, направления исследований В. В. Леонтьева — соединение теории функционирования экономики, метода математического моделирования, приемы систематизации и обработки экономической информации. Этот «новый синтез» овеществляется в таблицах, в математических моделях «затраты — выпуск», в исследовании межотраслевых взаимосвязей и взаимодействий.

Расширяя сферу своих исследований, Леонтьев использует модель «затраты — выпуск» как основной строительный модуль, применяя два способа построения более сложных моделей: расширение матрицы «затраты — выпуск» путем включения в нее новых зависимостей (инвестиционный процесс, загрязнение и уничтожение загрязнителей, получение доходов и их реализация на потребительском рынке и т. п.) и сочетание матриц «затраты — выпуск» (отдельных регионов, как в межрегиональных моделях, или отдельных периодов, как в динамических моделях).

В теоретической платформе Леонтьева нет противопоставлений рынка и плана, частной предприимчивости и государственного регулирования. Он часто использует сравнение экономики с кораблем: частная инициатива, как ветер в парусах, сообщает экономике свой импульс, планирование же, как руль, направляет экономику в нужную сторону. По его убеждению, необ-

¹⁷ Кутателадзе С. С., Макаров В. Л., Романовский И. В., Рубинштейн Г. Ш. Научное наследие Л. В. Канторовича (1912–1986) // Сибирский журнал индустриальной математики. 2001. Т. 4, № 2 (8). С. 3–17.

¹⁸ Кусраев А. Г., Кутателадзе С. С. Л. В. Канторович и наука об управлении. <http://www.math.nsc.ru/LBRT/g2/english/ssk/kusraev.html>.

ходим определенный баланс между использованием рыночного механизма и регулирующей ролью государства. Из логики В. В. Леонтьева следует, что и в плановой, и в переходной экономике, и в развитой экономике конкурентного типа есть широкое поле для применения методологии «затраты — выпуск», что подтверждается положительным опытом многих стран¹⁹.

Выявление факторных зависимостей в работе разноуровневых экономических систем и развитии экономических процессов формирует аппарат экономического планирования и регулирования как в обычных, так и в кризисных условиях, подходит для нерыночных, смешанных, квазирыночных и рыночных систем.

Формирование методологической основы и инструментального аппарата экономического планирования и регулирования, подходящих для нерыночных, смешанных, квазирыночных и рыночных систем

Все основные элементы этого направления заложены в работах Л. В. Канторовича по глобальным оптимизационным моделям экономики. Как пишет, академик РАН А. Г. Гранберг, выдающимся достижением Канторовича явилась формулировка оптимальных цен и осознание того факта, что цены и план составляют единую неразделимую систему и не могут рассматриваться изолированно. Указанные цены Канторович назвал объективно обусловленными оценками, чтобы подчеркнуть, что эти цены отражают совокупность условий, при которых составляется оптимальный план. Можно считать, что объективно обусловленные оценки оптимального плана — это ориентир, к которому должны приближаться реальные цены. Система объективно обусловленных оценок включает в себя не только оценки обычных продуктов, но также оценки вкладов ресурсов, в том числе трудовых, фондов, условий социального характера и времени как фактора производства. Предложенный в этих работах подход к оценке природных ресурсов и «прокатные» оценки для оборудования прочно вошли в арсенал экономических показателей. Своей трактовкой объективно обусловленных оценок Канторович заложил основы оптимизационного экономико-математического анализа широкого круга фундаментальных экономических проблем, таких как проблемы эффективности капитальных вложений, новой техники и других хозяйственных мероприятий, проблемы хозяйственного расчета, экономической оценки природных ресурсов и рационального использования труда.

Особый интерес представляет обоснование предложения об установлении двух уровней цен на принципиально новую продукцию в первые годы ее выпуска. Важное значение имел также вывод о необходимости более высоко оценивать вклад в национальный доход технического прогресса и науки, чем это получалось по принятым тогда методам расчета («Ценообразование и технический прогресс», 1979)²⁰.

В работах Л. В. Канторовича вскрывается сущность понятия показателя эффективности капиталовложений, показывается его роль в экономических расчетах принятия решений и предлагается методика определения величины этого нормативного показателя. Таким образом, Канторович представил убедительное научное обоснование необходимости применения норматива эффективности и на основе оптимизационного подхода дал объективный путь его расчета. В работе «Амортизационные платежи при оптимальном использовании оборудования» (1965) Канторовичем была вскрыта сущность понятия амортизации. Он показал, как можно повысить эффективность использования оборудования, разделив амортизационные платежи на два типа, и с помощью остроумной математической модели указал, как определить численную величину коэффициента амортизационных отчислений. Это изменение позволило сделать немало принципиальных выводов о необходимости корректировки принятой методики расчета амортизации.

¹⁹ Гранберг А. Василий Леонтьев и его вклад в мировую экономическую науку. <https://institutiones.com/personalities/71-2008-06-12-11-10-29.html>.

²⁰ Кутателадзе С. С., Макаров В. Л., Романовский И. В., Рубинштейн Г. Ш. Научное наследие Л. В. Канторовича (1912–1986) // Сибирский журнал индустриальной математики. 2001. Т. 4, № 2 (8). С. 3–17.

Еще в его первых экономических работах был дан общий анализ транспортной задачи и метод потенциалов для ее решения. По этому поводу академик РАН А. Г. Гранберг отметил, что этот метод широко использовался на транспорте (железнодорожном, автомобильном, морском, воздушном) и в органах централизованного снабжения для рационального прикрепления и рациональной организации перевозок. Он, безусловно, сохраняет свое значение и сейчас, наряду с широко используемыми методами диспетчерского управления и расчетами маршрутов. В работах «Об использовании математических моделей в ценообразовании на новую технику» (1968) и «Математико-экономический анализ плановых решений и экономические условия их реализации» (1971) Л. В. Канторович исследовал проблему эффективной работы транспорта с экономической точки зрения и показал, каковы должны быть транспортные тарифы в зависимости от вида транспорта, груза, расстояний и т. д. В цикле работ им рассматривались и вопросы комплексной транспортной системы — взаимосвязь транспорта с другими отраслями народного хозяйства, и распределение перевозок между видами транспорта с учетом экономичности и в особенности энергозатрат. Эти работы сохраняют свое значение и сейчас. В работах Канторовича помимо проблем народно-хозяйственного планирования рассмотрены вопросы, относящиеся к отраслевому планированию. Наиболее простой и часто используемой является предложенная им модель, базирующаяся на транспортной задаче. На более сложные модели, в частности производственно-транспортную, динамическую, декомпозиционную, он указывал в публикациях по текущему и перспективному отраслевому планированию («Возможности применения математических методов в вопросах производственного планирования», 1958) и др. Эти вопросы нашли отражение в исследованиях отраслевых АСУ²¹.

ЦЭМИ АН СССР и ЦЭМИ РАН: формирование отечественной экономико-математической школы на базе фундаментальной научной основы, разработанной Л. В. Канторовичем и В. В. Леонтьевым

Научные разработки Л. В. Канторовича и В. В. Леонтьева активно изучались и развивались в СССР.

1960-е гг. — период активного наращивания научного потенциала нашей страны. Для экономической науки СССР исследования в области применения математических методов были наиболее значимыми. Именно это направление было основным для первоначально созданной Лаборатории экономико-математических методов под руководством академика В. С. Немчина. Затем на основе этого коллектива был создан ЦЭМИ АН СССР как специализированный научный центр разработки методов моделирования.

Что интересно, уже в конце 1960-х гг. на первом совещании, организованном ЦЭМИ АН СССР, ряд советских политэкономов заняли отрицательную позицию по поводу применения математических методов в экономике: «Мы не позволим, чтобы с нашей экономикой кто-то затеял какие-то игры» (применение теории игр).

В этот непростой период недавно избранный член-корреспондент Н. П. Федоренко, как директор ЦЭМИ АН СССР, сумел собрать коллектив талантливых исследователей.

В состав перспективных направлений исследований ЦЭМИ АН СССР, руководимых Н. П. Федоренко, входили четыре последо-



Н. Я. Петраков, Л. В. Канторович, С. С. Шаталин

²¹ Кутателадзе С. С., Макаров В. Л., Романовский И. В., Рубинштейн Г. Ш. Научное наследие Л. В. Канторовича (1912–1986) // Сибирский журнал индустриальной математики. 2001. Т. 4, № 2 (8). С. 3–17.

вательно возникавшие и дополнявшие друг друга основные проблемы:

1. Разработка и применение математических методов для планирования и управления экономикой на разных уровнях иерархии: от народно-хозяйственного уровня до уровня предприятий.

2. Разработка методов и механизмов согласования народно-хозяйственных планов с достижением социальных целей.

3. Разработка программно-целевых методов планирования достижения целей, решения народно-хозяйственных, социальных и научно-технических проблем.

4. Разработка методов, моделей и механизмов управления наукой, научными исследованиями и разработками²².

По этим и другим проблемам в ЦЭМИ АН СССР был подготовлен и опубликован целый ряд глав в коллективных монографиях, а также статей в соавторстве с нобелевским лауреатом академиком АН СССР Л. В. Канторовичем и его молодым учеником (позднее — академиком РАН и директором ЦЭМИ АН СССР и ЦЭМИ РАН) В. Л. Макаровым, среди которых можно выделить следующие:

- Канторович Л. В., Макаров В. Л. Оптимальные модели перспективного планирования // Применение математики в экономических исследованиях. М.: Мысль, 1965. Т. 3. С. 7–86.
- Канторович Л. В., Бочарев В. Н., Макаров В. Л. Об оценке эффективности капитальных затрат // Экономика и математические методы. 1970. Т. 6, № 6. С. 811–826.
- Канторович Л. В., Макаров В. Л. Дифференциальные и функциональные уравнения, возникающие в моделях экономической динамики // Сибирский математический журнал. 1970. № 5. С. 1046–1059.
- Kantorovich L. V., Makarov V. L. Growth Models and their Application to Long-term Planning and Forecasting. In: Long-term Planning and Forecasting, Proc. Conf. Macmillan Press, 1976.
- Канторович Л. В., Макаров В. Л. Цены и эффективность производства // Экономика и математические методы. 1984. Т. 20, № 1. С. 28–41.
- Kantorovich L. V., Makarov V. L. Prices and Pruduction Efficiency. In: The Economics of Relative Prices, Proc. Conf. Macmillan Press, 1984.
- Kantorovich L. V., Makarov V. L. Mathematical Models of Pricing. In: The Economics of Relative Prices, eds V. Csikos-Nagy, D. Hagul and G. Hall Macmillan Press, 1984.

В ЦЭМИ АН СССР в конце 80-х — начале 90-х гг. XX в. работал сын нобелевского лауреата, Всеволод Леонидович Канторович.

Надо отметить, что экономические и политические трансформации начала 1990-х гг. негативно сказались на состоянии исследований проблем моделирования экономических систем в России и на всем постсоветском пространстве. Но работы в этом направлении продолжаются. Государственная статистическая служба²³ завершила работы по переходу с прежней методологии баланса народного хозяйства на методологию системы национальных счетов (СНС). Эта методологическая модернизация захватила и межотраслевые балансы, переименованные в таблицы «затраты — выпуск»²⁴.



Сотрудники ЦЭМИ: Ю. Н. Гаврилец, Л. Е. Минц, Е. Г. Ясин

²² Комков Н. И. К 100-летию со дня рождения Николая Прокофьевича Федоренко — прогрессивного руководителя перспективного научного направления: применение математики в экономике. <https://ecfor.ru/wp-content/uploads/2018/02/portrety-uchenyh-5-2017.pdf>.

²³ Ныне Федеральная служба государственной статистики.

²⁴ Гранберг А. Василий Леонтьев и его вклад в мировую экономическую науку. <https://institutiones.com/personalities/71-2008-06-12-11-10-29.html>.



Василий Сергеевич Немчинов



*Виктор Валентинович Новожилов
(директор ленинградского филиала ЦЭМИ)*



Николай Прокофьевич Федоренко

Можно отметить функционирующие экономико-математические модели в ЦЭМИ РАН. Методология «затраты — выпуск» и ее интерпретации могут быть использованы в модернизируемой системе стратегического планирования и экономического регулирования нашей страны, а также применительно к интеграционным объединениям, прежде всего экономическим союзам с участием России: Союзного государства (Россия и Белоруссия), ЕАЭС, обновленного СНГ.

Таким образом, выдающиеся советские экономисты — основатели ЦЭМИ АН СССР, основоположники отечественной экономико-математической школы, сделали его крупнейшим научным центром этого профиля.

Во многом это удалось за счет правильно сформированных научных направлений.

В. С. Немчинов курировал межотраслевой баланс, экономическую кибернетику, эконометрию.

В. В. Новожилов — теорию оптимального планирования и ценообразования.

Н. П. Федоренко — исследования теоретических и методологических основ оптимального функционирования экономики.

Л. В. Канторович и В. Л. Макаров — оптимальные модели перспективного планирования^{25, 26, 27}.

Сформированная ЦЭМИ АН СССР фундаментальная экономико-математическая школа позволила расширить спектр базовых исследований, в рамках которого позднее из института выделались следующие элитные научные структуры: в 1986 г. — Институт экономики и прогнозирования научно-технического прогресса АН СССР (ныне Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН), в 1988 г. — Институт социально-экономических проблем народонаселения АН СССР (ныне Институт социально-экономических проблем народонаселения РАН), в 1990 г. — Институт проблем рынка АН СССР (ныне Институт проблем рынка РАН), а также в разное время ряд других структур.

За прошедшие с момента создания в 1963 г. более чем полвека ЦЭМИ АН СССР трансформировался в крупнейший в России специализированный научный центр, осуществляющий исследования мирового уровня в области математической экономики, компьютерного моделирования, прикладной статистики, эконометрики, оптимизационных методов и других методов анализа.

При этом одним из главных направлений сегодняшнего развития ЦЭМИ РАН является разработка компьютерных моделей для количественной оценки последствий принимаемых управленческих решений, предназначенных для использования в сети распределенных ситуационных центров. Эта работа осуществлялась в рамках комплексного плана научных исследований «Научное

²⁵ Канторович Л. В., Макаров В. Л. Оптимальные модели перспективного планирования // Применение математики в экономических исследованиях. М.: Мысль, 1965.

²⁶ Канторович Л. В., Макаров В. Л. Цены и эффективность производства // Экономика и математические методы. 1984. Т. 20, № 1. С. 28–41.

²⁷ Kantorovich L. V., Makarov V. L. Growth Models and their Application to Long-term Planning and Forecasting. In: Long-term Planning and Forecasting, Proc. Conf. Macmillan Press, 1976.

обеспечение создания и развития системы распределенных ситуационных центров, работающих по единому регламенту взаимодействия», инициированного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации. Выполнялась она под руководством академика РАН И. А. Соколова и курировалась заместителем начальника управления информационных систем спецсвязи ФСО России, заслуженным деятелем науки, доктором технических наук, профессором Н. И. Ильиным²⁸.



Слева направо: Г. Ш. Рубинштейн, Э. О. Рапопорт, В. Н. Дятлов, Л. И. Лейфман, Р. А. Звягина, В. Л. Макаров, лектор — Л. В. Канторович

Ситуационный центр на сегодняшний день один из самых необходимых и перспективных инструментов для принятия решений, контроля, мониторинга различного рода ситуаций, возникающих в работе органов государственной власти, корпораций и т. д.²⁹

Помещения ситуационных центров оборудованы средствами коммуникаций, но самое главное — мультимедийными средствами представления информации, поступающей из различных источников. В настоящее время в мире насчитывается несколько тысяч ситуационных центров, и количество их продолжает увеличиваться.

Основная задача, сформулированная главными архитекторами этого направления в нашей стране и нацеленная на повышение эффективности управленческой деятельности, заключается в интеграции ситуационных центров в распределенную систему, работающую по единому регламенту взаимодействия в соответствии с указом Президента Российской Федерации от 25 июля 2013 г. № 648³⁰.

Вместе с тем в резолюциях, принимаемых по итогам ежегодного всероссийского форума «Система распределенных ситуационных центров», внимание акцентируется на необходимости согласованного набора моделей, алгоритмов, методов решения задач прогнозирования, текущего планирования (отраслевого и территориального), стратегического планирования, управления — как для федерального, так и для регионального уровня власти³¹.

Разработки ЦЭМИ РАН, развивающие научные результаты двух нобелевских лауреатов российского происхождения, Л. В. Канторовича и В. В. Леонтьева, позволяют решить эту проблему.

В ЦЭМИ РАН как системном интеграторе распределенных научных коллективов, которые часто включают в себя также ученых и практиков из других научных структур и государствен-



Здание ЦЭМИ АН СССР и ЦЭМИ РАН (на здании знаменитый символ математики — лента Мёбиуса)

²⁸ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Ильин Н. И., Сушко Е. Д. Национальная безопасность России // Экономические стратегии. 2020. Т. 22, № 5 (171). С. 6–23.

²⁹ Иванов В. В., Логинов Е. Л. Формирование защищенной цифровой инфраструктуры ситуационных центров в энергетике России, адаптированных к работе в условиях чрезвычайных ситуаций и в особый период // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2021. № 3. С. 134–139.

³⁰ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д. Распределенные ситуационные центры как инструмент апробации управленческих решений / Социофизика и социоинженерия'2018. Труды Второй Всероссийской междисциплинарной конференции. М.: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова. 2018. С. 19–20.

³¹ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р. Модели принятия верных решений // Бюджет. 2018. № 10 (190). С. 92–96.



Справо налево: Р. А. Бахтизин, Н. И. Ильин, В. Л. Макаров

ных ведомств, разработаны модели, которые позволяют структурировать и прогнозировать развитие ситуации и планировать необходимые действия российских властей на федеральном уровне и на уровне регионов как в обычных, так и в самых сложных, в т. ч. сверхкритических, ситуациях, таких как военные конфликты³², террористические акты³³, национальные политические кризисы³⁴, крупномасштабные природные и техногенные катастрофы³⁵, глобальные макроэкономические коллапсы и кризисы³⁶, торговые и валютно-финансовые войны³⁷, COVID-пандемия³⁸, работа социальных сетей³⁹, критические социально-экономические диспропорции⁴⁰, демографические провалы и миграция больших групп трудовых ресурсов⁴¹, в т. ч.

с национальной спецификой⁴², и иные проблемы, связанные с обеспечением национальной безопасности Российской Федерации⁴³.

Экономико-математические модели ЦЭМИ РАН позволяют производить обоснованную оценку эффективности механизмов укрепления государственного суверенитета и национальной силы России⁴⁴ и других стран мира⁴⁵, планировать развитие международных, национальных

³² Логинов Е. Л., Грабчак Е. П., Григорьев В. В., Райков А. Н., Шкута А. А. Планирование мер поддержки интерактивной коммуникации информационных систем с учетом угроз возможного коллапса управления экономикой в особый период // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2019. № 4. С. 111–118.

³³ Бахтизин А., Волкова М., Сушко Е., Макаров В. Моделирование процессов отслеживания отмывания доходов и финансирования терроризма: агент-ориентированный подход // Общество и экономика. 2018. № 8. С. 13–25.

³⁴ Логинов Е. Л. Использование технологий BIG DATA для противодействия массовым беспорядкам в условиях недостатка информации и неопределенности развития ситуации / Искусственный интеллект (большие данные) на службе полиции. Сборник статей международной научно-практической конференции. М.: Академия управления МВД России. 2020. С. 145–150.

³⁵ Бахтизин А. Р., Абрамов В. И. Применение агент-ориентированного подхода для моделирования сценариев чрезвычайных ситуаций в регионах России / Экономические и экологические вызовы устойчивому развитию России и других стран СНГ: проблемы формирования новой технологической базы. Материалы международной научно-практической конференции. М.: ИПР РАН. 2017. С. 29–31.

³⁶ Логинов Е. Л., Грабчак Е. П. Актуализация элементов централизованного государственного управления в рыночной среде ТЭК России в условиях многофакторной нестабильности с расширенной компонентой неопределенности // Искусственные общества. 2020. Т. 15, № 2. С. 7.

³⁷ Макаров В. Л., Ву Ц., Ву З., Хабриев Б. Р., Бахтизин А. Р. Мировые торговые войны: сценарные расчеты последствий // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90, № 2. С. 169–179.

³⁸ Валентей С. Д., Бахтизин А. Р., Борисова С. В., Кольчугина А. В., Лыкова Л. Н. Тренды развития субъектов Российской Федерации в период пандемии // Федерализм. 2021. Т. 26, № 4 (104). С. 127–170.

³⁹ Бахтизин А. Р., Макаров В. Л., Сушко Е. Д., Сушко Г. Б. Система проектирования масштабируемых агент-ориентированных моделей, включающих популяции агентов разных типов с динамически изменяющейся численностью и сложными многоэтапными взаимодействиями агентов, образующих социальные сети / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020612410, 20.02.2020. Заявка № 2020611366 от 06.02.2020.

⁴⁰ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Хабриев Б. Р. Оценка эффективности механизмов укрепления государственного суверенитета России // Финансы: теория и практика. 2018. Т. 22, № 5(107). С. 6–26.

⁴¹ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Сушко Г. Б. Агент-ориентированная суперкомпьютерная демографическая модель России: анализ апробации // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2019. Т. 12, № 6. С. 74–90.

⁴² Ровенская Е. А., Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Бекларян Г. Л., Акопов А. С., Стрелковский Н. В. Агентное моделирование популяционной динамики двух взаимодействующих сообществ: мигрантов и коренных жителей // Экономика и математические методы. 2020. Т. 56, № 2. С. 5–19.

⁴³ Makarov V., Wu J., Bakhtizin A., Wu Z., Sushko E., Khabriev B. National security of countries all over the world // Artificial Societies. 2021. Т. 16, № 3.

⁴⁴ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Ильин Н. И. Моделирование и оценка национальной силы России // Экономические стратегии. 2020. Т. 22, № 2 (168). С. 6–19.

⁴⁵ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Бекларян Г. Л., Акопов А. С., Ровенская Е. А., Стрелковский Н. В. Укрупненная агент-ориентированная имитационная модель миграционных потоков стран Европейского союза // Экономика и математические методы. 2019. Т. 55, № 1. С. 3–15.

и региональных рынков на различных уровнях их агрегации⁴⁶, а также прогнозировать последствия принятия управленческих решений⁴⁷ и пр.

В 2015 г. ЦЭМИ РАН под руководством А. Р. Бахтизина был осуществлен запуск крупномасштабной агент-ориентированной модели социально-экономической системы России на суперкомпьютере «Ломоносов» (МГУ им. М. В. Ломоносова), а в 2017 г. — на суперкомпьютере «Млечный путь — 2» (Гуанчжоу, Китай). Результаты этой работы были отмечены в качестве важнейших результатов деятельности Российской академии наук⁴⁸.

Сегодня ЦЭМИ РАН является признанным мировым и отечественным профессиональным сообществом, современным научным центром, объединившим научно-исследовательский институт, экономический факультет и ряд кафедр ведущих университетов Москвы.

В современных сложных условиях руководство нашей страны ставит новые социально-экономические и научно-технические задачи, и ЦЭМИ РАН, как и прежде, вносит свой серьезный вклад в их решение.



Слева направо: Р. А. Бахтизин, В. Л. Макаров при работе на суперкомпьютере «Млечный путь — 2» (Гуанчжоу, Китай)

⁴⁶ Логинов Е. Л., Зарбалиев С. М., Григорьев В. В. Оценка вероятностных характеристик случайных процессов в мировой экономике в условиях нелинейной динамики с существенной хаотической компонентой // Искусственные общества. 2020. Т. 15, № 1. С. 5.

⁴⁷ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р. Современные методы прогнозирования последствий управленческих решений // Управленческое консультирование. 2015. № 7 (79). С. 12–24.

⁴⁸ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Сушко Г. Б. Моделирование социальных процессов на суперкомпьютерах: новые технологии // Вестник Российской академии наук. 2018. Т. 88, № 6. С. 508–518.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА И ПРАКТИКА ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПТИМАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ В НАРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННОМ КОМПЛЕКСЕ СССР

1.1. Подходы к решению задач оптимального планирования использования ресурсов и применения балансовых методов оптимизационного регулирования экономического развития

Л. В. Канторович разработал теоретические основы оптимизационного народно-хозяйственного планирования⁴⁹. Проблемы, над которыми в течение двух веков бились лучшие экономисты, — формирование и исчисление ренты, процента («норматива эффективности»), амортизации, транспортных тарифов, — нашли в его теории полное и удобное для математической реализации решение.

Фактически Канторович предложил изящную модель рыночного социализма, намного опередив свое время. В идейном отношении эта модель перекликалась с концепцией, которая годом раньше была высказана польским экономистом Оскаром Ланге⁵⁰.

В 1920 г. на Западе публиковались критические отзывы о самой возможности эффективного государственного планирования. Такие отзывы были основаны на том, что государство, тем более обладающее монопольной собственностью или контролем над производственными предприятиями, в отличие от рынка, не может объективно устанавливать цены, позволяющие оптимально распределять ресурсы⁵¹. Это утверждение было аргументировано австрийским экономистом Л. фон Мизесом. Но в 1936 г. Оскар Ланге опубликовал контркритику Мизеса⁵². Он показал, что при определенных условиях планирующее государство может назначать цены, позволяющие оптимизировать производство. В целом модель Ланге является плановой имитацией рынка, функционирующего в условиях совершенной конкуренции. Только экономикой в данном случае руководит не «невидимая рука», описанная Адамом Смитом, а вполне видимая рука государства, выступающего в роли хорошо информированного аукционера.

Однако, к сожалению, система оптимального планирования, которую на базе разработок Л. В. Канторовича разрабатывали сотни советских экономистов, в полном объеме так и не была внедрена. Именно это во многом определило недостаточную эффективность механизмов управления советской экономикой, что было усилено непродуманными новациями М. С. Горбачева и в конечном итоге привело к экономическому и политическому коллапсу и в результате к распаду СССР.

**Очевидно, что в экономике такого масштаба и сложности
немыслимо полностью централизованное управление,
как говорят, «до последнего гвоздя», и значительная часть решений
оставляется за низшими уровнями управления.
При этом решения, принимаемые на разных уровнях
и в разных местах, должны быть согласованы
между собой балансовыми материальными соотношениями
и следовать основным народно-хозяйственным целям.
Задача заключается в том, чтобы создать систему информации,
ответственности, показателей и экономических стимулов,
которая позволяла бы локальному органу управления**

⁴⁹ Канторович Л. В., Богачев В. Н., Макаров В. Л. Об оценке эффективности капитальных затрат. М.: Мысль, 1988.

⁵⁰ Полтерович В. М. Теория оптимального распределения ресурсов Л. В. Канторовича в истории экономической мысли // Журнал Новой экономической ассоциации. 2012. № 1 (13). С. 176–180.

⁵¹ Меньшиков С. М. Актуальность экономической модели Л. В. Канторовича в настоящее время (2004). <https://cemi-ras.org/film/stories/menshikov>.

⁵² Lange O. On the economic theory of socialism. In: O. Lange, F. Taylor. On the Economic Theory of Socialism. University of Minnesota Press, Minneapolis (1938). Впервые опубликовано в Review of Economic Studies, vol. 3 (1936, 1937).

**оценить выгодность тех или иных его решений
с точки зрения хозяйства в целом, делала бы для него
выгодным то, что выгодно для системы,
допускала возможность контроля правильности
административной и хозяйственной деятельности
также с народно-хозяйственных позиций.**

Л. В. Канторович (1976)⁵³

Для составления задачи оптимального планирования в 60–80-е гг. XX в. не хватало информации, а для ее решения — вычислительных средств. Сейчас, в первой половине XXI в., технологии цифровой экономики фактически устраняют это препятствие. Разработки моделей, реализованные ЦЭМИ РАН на суперкомпьютерах под руководством академика РАН В. Л. Макарова, позволяют продвигаться дальше в векторе оптимального планирования. Недостаток информации и вычислительных средств в советское время частично преодолевался в децентрализованных алгоритмах вычисления плана, предусматривавших непрерывный обмен информацией между «центральным плановым органом», отраслевыми (региональными) планировщиками и предприятиями.

Другое препятствие состояло в том, что рекомендации, вытекавшие из теории оптимального планирования, предполагали использование оптимальных цен, не существовавших в реальности. Как пишет по этому поводу академик РАН В. М. Полтерович, в плановых экономиках действовали цены, не балансировавшие спрос и предложение, не отражавшие общественные предпочтения и не дававшие оснований для закрытия убыточных предприятий. А важнейшее открытие Л. В. Канторовича — теория двойственных оценок как оптимальных цен, — напротив, используется повсеместно, всюду, где речь идет об оптимальном выборе⁵⁴.

Именно поэтому модели ЦЭМИ РАН на базе разработок Канторовича — удобный и эффективный инструмент анализа, прогнозирования и планирования как в чисто рыночных условиях, так и в условиях рынка с существенными элементами государственного планирования.

Академик В. С. Немчинов в редакторском предисловии к книге Л. В. Канторовича «Экономический расчет наилучшего использования ресурсов» (1960) пишет: «...При этом многие результаты работ Л. В. Канторовича (остававшиеся долгое время неизвестными за рубежом) были в той или иной форме вновь «открыты» в американских работах 1949–1956 гг. В настоящее время приоритет советской науки в разработке основных положений этой новой дисциплины признается и самими американскими учеными (см., например, книгу Т. Купманса «Три очерка о состоянии экономической науки», с. 63 (Т. С. Koopmans, Three Essays on the State of Economic Science. McGraw Hill, New York, 1957)... Модель В. Леонтьева представляет собой весьма частный случай задачи линейного программирования. Баланс затрат и выпуска продукции может найти некоторое применение в вопросах, не связанных с нахождением экстремальных решений (анализ балансов производства и потребления, выяснение структуры затрат, исследование межотраслевых и межрайонных связей и др.)»⁵⁵.

В середине 20-х гг. XX в. советский экономист Григорий Фельдман впервые в мире для целей государственного управления советской экономикой разработал двухсекторную модель народно-хозяйственного планирования. Модель опиралась на аппарат дифференциальных уравнений.

В. В. Леонтьев опубликовал тогда статью, где комментировал преимущества и недостатки этой модели⁵⁶.

⁵³ Канторович Л. В. Математика в экономике: достижения, трудности, перспективы / Лекция в Шведской академии наук в связи с присуждением Нобелевской премии за 1975 год. <http://vivovoco.astronet.ru/VV/PAPERS/BIO/LVK/LVK06.HTM>.

⁵⁴ Полтерович В. М. Теория оптимального распределения ресурсов Л. В. Канторовича в истории экономической мысли // Журнал Новой экономической ассоциации. 2012. № 1 (13). С. 176–180.

⁵⁵ Канторович Л. В. Экономический расчет наилучшего использования ресурсов. М.: Издательство Академии наук СССР, 1960.

⁵⁶ Леонтьев В. В. Баланс народного хозяйства СССР. Методологический разбор работы ЦСУ (рус.) // Плановое хозяйство. 1925. № 12. С. 254–258.

В 1936 г. были опубликованы модели Леонтьева и фон Неймана, где описание производства было близко к формализму, использованному Канторовичем⁵⁷.

Как пишет Н. З. Солодилова, в основе этого метода лежит шахматная таблица, в горизонтальных строках которой записывается распределение выпуска продукции каждой отрасли по всем отраслям народного хозяйства, а в вертикальных графах просчитываются затраты каждой отрасли, произведенные для выпуска продукции в данном году и в последующие годы (межотраслевые потоки).

Впервые такого рода таблица в развернутой форме с фактическими цифровыми сведениями была построена Центральным статистическим управлением СССР при составлении первого варианта баланса народного хозяйства СССР в 1925 г.

В. В. Леонтьев, находясь в СССР, детально изучил логику советского планирования, а также вектор развития этого планирования и основные инструменты экономико-математического анализа.

В 1930-х гг. В. В. Леонтьев предложил вычислять на основе этой таблицы специальные коэффициенты, назначение которых заключается в том, чтобы показывать, какое количество продукции одной отрасли затрачивается на производство единицы продукции другой (или той же самой) отрасли.

Для того чтобы получить при этом наиболее эффективные результаты, потоки затрат расчленяются на составные части. В соответствии с этим вычисляются коэффициенты затрат капитального оборудования, коэффициенты затрат оборотных фондов (средств) и др.

На основании таблицы (матрицы) коэффициентов затрат, а также общих значений выпуска каждой отрасли методами линейной алгебры могут быть исчислены все значения межотраслевых потоков в шахматной таблице баланса народного хозяйства⁵⁸.

Начиная с 1933–1934 гг. переехавший в США В. В. Леонтьев сосредоточился на построении 44-отраслевой таблицы «затраты — выпуск» (около 2000 коэффициентов) и составил план работы.

Эта разработка имела особо важное значение для вывода экономики США из Великой депрессии, а позднее — для модернизации группы ранее слабо развитых отраслей американской военной экономики и решения прочих мобилизационных проблем, что существенно облегчило для США экономическое и военно-техническое противостояние с гитлеровской Германией и ее добровольными и вынужденными сателлитами. Т. е. построение мобилизационной экономики в США в период Второй мировой войны производилось американским государством на плановой основе с учетом и исходя из логики советского опыта планирования и построения СССР новых отраслей в период индустриализации.

Академик РАН В. В. Окрепилов отметил, что поскольку решение системы, состоящей из 44 линейных уравнений, тогда оказалось далеко за пределами возможного, для расчетных целей 44 отрасли были объединены в 10. Для проверки стабильности коэффициентов текущих материальных затрат в США были составлены отчетные межотраслевые балансы за 1919–1929 гг.

Результат этого исследования («Количественный анализ соотношений «затраты — выпуск» в экономической системе США») был опубликован в 1936 г. Центральное место в нем занимала таблица коэффициентов, составленная для экономики США в 1919 г., размерностью 41 x 41. В следующем году В. В. Леонтьев опубликовал работу «Внутренние взаимосвязи цены, выпуска продукции, сбережений и инвестиций». Примерно в эти же годы Леонтьев работал с профессором Массачусетского технологического института Джоном Вилбуром — изобретателем компьютера, способного решать системы из девяти линейных уравнений. Леонтьев свел 41-размерную матрицу к 10-размерной и использовал компьютер Вилбура для получения коэффициентов полных затрат валовой продукции на производство единицы конечной продукции.

⁵⁷ Полтерович В. М. Теория оптимального распределения ресурсов Л. В. Канторовича в истории экономической мысли // Журнал Новой экономической ассоциации. 2012. № 1 (13). С. 176–180.

⁵⁸ Леонтьев В. и др. *Исследования структуры американской экономики (теоретический и эмпирический анализ по схеме «затраты — выпуск»)*. М.: Государственное статистическое издательство, 1958.

В Энциклопедическом биографическом словаре «Русское Зарубежье» указано, что в 1941 г. была составлена 41-размерная таблица межотраслевых потоков, рассчитанная для 1929 г., и агрегирована затем в 10-размерную. На ее основе были рассчитаны объемы выпуска валовой продукции, необходимые для удовлетворения конечного спроса (валовое накопление, текущее потребление, правительственные закупки). Обе межотраслевые таблицы были опубликованы в монографии Леонтьева «Структура американской экономики 1919–1929 гг.». Сравнение таблиц позволило проверить устойчивость коэффициентов материальных затрат и выяснить возможности эффективного прогнозирования. Сравнение таблиц не позволило прийти к однозначному выводу — частично из-за отсутствия достаточно четких критериев устойчивости оцениваемых коэффициентов. Тем не менее межотраслевые таблицы для прогнозирования были признаны вполне целесообразными. Статистическое бюро занятости США, пригласив Леонтьева в качестве консультанта, составило таблицу, включающую в себя 400 отраслей. Она была использована для прогнозирования занятости населения в послевоенный период. Метод «затраты — выпуск» стал широко использоваться во всем мире.

В 1944 г. В. В. Леонтьев рассчитал таблицу коэффициентов текущих материальных затрат за 1939 г., сопоставил ее с составленными ранее и обнаружил вполне достаточную степень устойчивости большинства коэффициентов за два десятилетия. Используя эту последнюю таблицу, в 1944–1946 гг. он опубликовал три статьи в журнале *Quarterly Journal of Economics*, где с помощью метода «затраты — выпуск» была получена оценка экзогенного влияния занятости, заработной платы и цен на выпуск валовой продукции по отдельным отраслям.

В период Второй мировой войны Леонтьев, рассчитывая для Военно-воздушных сил США матрицу «затраты — выпуск» по объектно-территориальной структуре экономики Германии, выявлял также системные связи и зависимости немецких предприятий и их объединений в рамках отраслевых и межотраслевых технологических цепочек, включая ресурсные потоки и производственные мощности. На основе этой аналитической базы американская авиация наносила целевые бомбовые удары не просто по немецким предприятиям, а в первую очередь по тем из них, которые имели характер системных узлов для поставок ресурсов и комплектующих в рамках военной производственно-технической кооперации и логистики.

С конца 40-х гг. (после основания Гарвардского экономического исследовательского центра по применению и распространению метода «затраты — выпуск») особое внимание В. В. Леонтьев уделял развитию межрегионального анализа «затраты — выпуск» и составлению матрицы инвестиционных коэффициентов, с помощью которых можно судить о последствиях изменения конечного спроса на инвестиции. Так было положено начало динамическому методу «затраты — выпуск», на основе которого можно анализировать экономический рост в США.

Надо отметить, что именно в этот период в США начал формироваться основанный на эмиссии доллара инвестиционный механизм доминирования страны в мировой экономике, который, несмотря на ряд мировых экономических кризисов, позволил США в течение более чем 50 лет контролировать глобальные финансовые и товарные потоки и обеспечивать сравнительную устойчивость атлантической экономико-политической модели и политического режима. Только сейчас эта модель — вследствие возникновения в начале XXI в. ряда качественно новых факторов, влияющих на социально-экономическое развитие, — утратила свою эффективность, что имеет следствием современный системный кризис американской экономики и вытекающие отсюда флуктуации в политической системе США, а также снижение американского влияния в ряде ключевых сфер деятельности и районах мира.

В. В. Леонтьев и сотрудники Гарвардского экономического исследовательского центра на основе метода «затраты — выпуск» оценили инфляционное влияние в регулировании зарплаты, рассчитали затраты США на вооружение и их влияние на разные отрасли экономики, осуществили прогнозирование темпа роста отраслей экономики и необходимые для этого капитальные вложения⁵⁹.

⁵⁹ Шаталин С. С., Валовой Д. В. Вступительная статья / Леонтьев В. Экономическое эссе. Теории, исследования, факты и политика. М.: Политиздат, 1990.

В США был даже создан Комитет за планирование национальной экономики, в который вошел не только В. В. Леонтьев, но и промышленник Генри Форд Второй⁶⁰.

Бюро статистики труда США обратилось к модели «затраты — выпуск» в 1939 г. и затем в 1947 г. Модель Леонтьева была использована для того, чтобы предсказать, как всеобщая занятость и занятость по секторам будут изменяться, по мере того как экономика США будет переходить стадии от мира к войне и обратно.

Позже этот метод стал главной составной частью систем национальных счетов большинства стран мира — и капиталистических, и социалистических. Шахматные балансы по принципу В. В. Леонтьева начали публиковать крупнейшие экономические ведомства.

В это время безработица как проблема исчезла, но после войны снова резко обострилась. Энциклопедия «Лауреаты Нобелевской премии» описывает, что менее чем за десятилетие после работы, проведенной Бюро статистики труда, метод Леонтьева стал главной составной частью систем национальных счетов большинства стран мира, как капиталистических, так и социалистических. Он применяется и совершенствуется до сих пор правительственными и международными организациями и исследовательскими институтами во всем мире.

В. В. Леонтьев совершенствовал свою систему на протяжении 50-х и 60-х гг. XX в. С появлением более сложных компьютеров он увеличивал количество секторов и освобождался от некоторых упрощающих предположений, прежде всего от условия, что технические коэффициенты остаются неизменными, несмотря на изменение цен и технический прогресс. Чтобы исследовать проблемы экономического роста и развития, Леонтьев разработал динамический вариант прежде статичной модели анализа «затраты — выпуск», добавив в нее показатели потребностей в капитале к списку так называемого конечного спроса, или конечных продаж. Поскольку метод «затраты — выпуск» доказал свою полезность в качестве аналитического инструмента в новой сфере региональной экономики, шахматные балансы начали составляться и для хозяйства некоторых американских городов. Постепенно составление таких балансов становилось стандартной операцией.

В Министерстве торговли Соединенных Штатов, например, управление межотраслевой экономики начало публиковать такие балансы каждые пять лет.

Организация Объединенных Наций, Всемирный банк и большая часть правительств, включая Совет Министров СССР, тогда также включились в работу по применению анализа «затраты — выпуск» в качестве важнейшего метода экономического планирования и бюджетной правительственной политики⁶¹.

Фактически, что как-то мало известно, США на верхнем уровне иерархии национального управления через группу ТНК и ТНБ реализуют целый ряд государственных плановых процедур, не очень сильно отличающихся от того, что практиковал СССР. В том числе, например, в военно-промышленном комплексе США государством активно практикуется принудительное слияние частных корпораций. Большинство крупных корпораций США через перекрестное владение акциями связано с наиболее крупными европейскими корпоративными группами. Например, меры количественного смягчения⁶², реализуемые в США начиная с 2008 г., через методы прогнозирования и планирования увязаны с финансовой политикой Европейского союза и Великобритании, а также ряда других внешне суверенных государств, например Японии.

В 1960–1961 гг. по поручению первого заместителя председателя Совета Министров СССР А. Н. Косыгина ЦСУ СССР с участием других ученых разработало межотраслевой баланс СССР за 1959 г. (по 83 отраслям и по 257 натуральным позициям). Теоретические исследования межотраслевого баланса, его анализ и подготовку практических выводов для планирования осуще-

⁶⁰ Ротбард М. Великая депрессия в Америке / Мюррей Ротбард. Пер. с англ. М.: ИРИСЭН; Мысль, 2012. С. 28.

⁶¹ Леонтьев Василий Васильевич — биография. Нобелевские лауреаты: Василий Леонтьев.

⁶² Количественное смягчение (англ. quantitative easing, QE) — монетарная политика, используемая центральными банками для стимулирования национальных экономик, когда традиционные монетарные политики в связи с рядом факторов являются неэффективными или недостаточно эффективными. При количественном смягчении центральный банк покупает или берет в обеспечение финансовые активы для впрыска определенного количества денег в экономику. <https://ru.wikipedia.org/wiki>.

ствляли в основном сотрудники ЦЭМИ АН СССР после его создания в 1963 г. По итогам всех исследований в 1965 г. была опубликована коллективная монография «Методы планирования межотраслевых пропорций» под редакцией А. Н. Ефимова и Л. Я. Берри (1965). В 1967 г. вышла книга под редакцией А. И. Анчишкина и Ю. В. Яременко «Темпы и пропорции экономического развития» (1967), ставшая основой для дальнейшей прогностической работы⁶³.

А. Н. Клепач и Г. О. Куранов по этому поводу отметили, что наиболее важной частью межотраслевого баланса СССР являлись технологические коэффициенты, указывающие, сколько сырья и материалов каждого вида требуется на производство единицы продукции данного вида. Эти коэффициенты отражали господствующую технологию производства, а их изменение в планах на будущие периоды позволяло учесть изменение технологии, или, иначе говоря, запроектировать ход технического прогресса. Поскольку в СССР планы имели силу закона, то нормативное установление коэффициентов на перспективу вынуждало предприятия внедрять новые технологии, т. к. сырье им отпускалось уже по новым нормам⁶⁴.

По данным за 1966 г. межотраслевые балансы были построены по всем союзным республикам и экономическим районам РСФСР. Советскими учеными были созданы заделы для более широкого применения межотраслевых моделей (в том числе динамических, оптимизационных, натурально-стоимостных, межрегиональных и др.)⁶⁵.

Предпринимались попытки в коэффициентах прямых затрат матриц межотраслевого баланса обобщенно отразить последствия научно-технического прогресса, поэтому к их разработке были привлечены многие отраслевые институты. К этим исследованиям примыкали и проводимые в ЦЭМИ АН СССР группой академика Ю. В. Яременко работы по структурным моделям, отражающим качественную неоднородность ресурсов и приоритетность отраслей. При разработке межотраслевых балансов и моделей использовали информацию, которая содержалась в многочисленных томах Комплексной программы научно-технического прогресса СССР на 20 лет⁶⁶.

В ЦЭМИ АН СССР в те годы разрабатывалась отечественная методология макроэкономического прогнозирования. Уникальной разработкой стала созданная Ю. В. Яременко и его коллегами в 70-х гг. XX в. эконометрическая модель межотраслевых взаимодействий, не имевшая аналога в мировой практике исследований по моделям «затраты — выпуск»⁶⁷.

Критическим стал период перестройки советской экономики, когда к власти пришел М. С. Горбачев.

**...Горбачев и его коллеги намерены ввести в России
свободно развивающуюся капиталистическую экономику
американского типа... Конечно, это невозможно,
даже если кто-нибудь и хотел бы это сделать.
Идеальным конечным результатом успешной перестройки
было бы установление смешанных систем европейского типа,
при которых состязательный рыночный механизм
функционирует под строгим контролем государства,
а всевозможные общественные и социальные службы
поглощают большую часть общего национального дохода.
В. В. Леонтьев (1989)⁶⁸**

⁶³ Клепач А. Н., Куранов Г. О. Развитие социально-экономического прогнозирования и идеи А. И. Анчишкина. <https://institutiones.com/personalities/2241-razvitie-socialno-ekonomicheskogo-prognozirovaniya-idei-anchishkina.html>.

⁶⁴ Пионеры цифровизации / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. https://ac.gov.ru/uploads/pdf/About_Documents_01/60_let_web.pdf.

⁶⁵ Леонтьев Василий Васильевич — биография. Нобелевские лауреаты: Василий Леонтьев.

⁶⁶ Клепач А. Н., Куранов Г. О. Развитие социально-экономического прогнозирования и идеи А. И. Анчишкина. <https://institutiones.com/personalities/2241-razvitie-socialno-ekonomicheskogo-prognozirovaniya-idei-anchishkina.html>.

⁶⁷ <http://www.smsep.ru/news/05092014-pamyati-emilya-borisovicha-ershova>.

⁶⁸ Леонтьев В. В. Проблемы, стоящие перед вашей страной // Литературная газета. 1989. 1 ноября.

Показательно, что тогда В. В. Леонтьев раскритиковал книгу американского экономиста Маршалла Голдмана, который рекомендовал М. С. Горбачеву приступить к далекоидущей рыночной реформе, разрушающей всю систему централизованного планирования. Как указано в книге «Финансисты, которые изменили мир», Леонтьев призывал не забывать тот факт, что в 70–80-е гг. XX в. СССР показывал темпы роста, равные американским и превосходящие западноевропейские. Нобелевский лауреат рекомендовал советскому лидеру «найти и поддерживать оптимальный баланс между регулированием и свободной игрой рыночных сил» и впоследствии сокрушался, что тот не последовал его совету⁶⁹.

В 1996 г. В. В. Леонтьев в составе группы ведущих мировых ученых-экономистов, среди которых были американские лауреаты Нобелевской премии Кеннет Эрроу, Лоуренс Клейн, Джеймс Тобин, Роберт Солоу, а также соответствующие им по уровню научных компетенций пятеро российских ученых-экономистов Л. И. Абалкин, О. Т. Богомолов, В. Л. Макаров, С. С. Шаталин, Ю. В. Яременко⁷⁰, подписал обращение к Президенту Российской Федерации Б. Н. Ельцину. За рубежом и российские ученые писали о необходимости взять под государственный контроль основные сектора экономики, обращали его внимание на то, что только государству под силу переориентировать инвестиции с непродуктивной сферы (спекулятивные финансы, предметы роскоши) на создание производственного капитала и социальное обеспечение. Они указывали на последствия создавшейся экономической ситуации, которая неизбежно приведет к разрушению среднего класса, социальной деградации и обнищанию населения⁷¹.

Рекомендации ученых тогда не были услышаны, вследствие чего темпы роста экономики России в наиболее благоприятные годы высоких мировых цен на нефть оказались недостаточными, чтобы в полной мере восстановить, например, группу высокотехнологичных производств в сфере гражданского машиностроения и приборостроения, а это является особо важной проблемой поддержания технологического суверенитета и обороноспособности нашей страны.

Опыт ООН, Всемирного банка, США и Советского Союза по применению анализа «затраты — выпуск» в качестве важнейшего метода экономического планирования и бюджетной правительственной политики продемонстрировал востребованность этого инструмента, что особенно актуально в настоящий период для антикризисной стабилизации в условиях современного мирового экономического кризиса как комплекса цикло-когерентных процессов, детерминированных совокупностью дискретных макроэкономических циклов в мировой экономике.

1.2. Развитие методов экономико-математического планирования в народно-хозяйственном комплексе СССР: система оптимального функционирования социалистической экономики (СОФЭ)

Резкий рост интереса к внедрению математических методов в экономику СССР на рубеже 1950–1960-х гг. совпал с проведением по инициативе Н. С. Хрущева реформы управления промышленностью по территориальному принципу. Реформа вызвала распад единого экономического пространства СССР и рост несоответствия между экономическими интересами регионов и центральной власти, однако по политическим причинам отменить ее было невозможно до смещения Н. С. Хрущева⁷². Полноценное внедрение методов экономико-математического моделирования, на чем тогда настаивал ЦЭМИ АН СССР, могло бы существенно смягчить эффект непродуманных реформ.

В книге «Пионеры цифровизации» отмечено, что успехи автоматизации отдельных расчетов вывели на первый план задачу их оптимизации. Ее базой должна была стать система научных нормативов и технико-экономических показателей. Развитая система нормативов позволила бы аргументированно отсекавать заведомо нереальные заявки и неэффективные управленческие итерации союзных и республиканских министерств. Н. И. Ковалев (руководитель ВЦ/ГВЦ Гос-

⁶⁹ Финансисты, которые изменили мир. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014.

⁷⁰ Трое из них (В. Л. Макаров, С. С. Шаталин и Ю. В. Яременко) были много лет аффилированы с ЦЭМИ АН СССР и ЦЭМИ РАН.

⁷¹ Финансисты, которые изменили мир. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014.

⁷² Сафронов А. В. Мираж оптимальности: внедрение математических методов в экономику как ответ на проблемы реформы управления промышленностью 1957 года // Экономическая история. 2016. № 1. С. 76–86.

плана СССР) указывал, что номенклатура статистических показателей, разрабатываемых ЦСУ, не соответствует номенклатуре плановых показателей, разрабатываемых Госпланом. Например, по шести машиностроительным министерствам из 1800 плановых показателей органами статистики разрабатываются только 475. Так, в 1968 г. была практически поставлена задача разработки единого классификатора, который бы обеспечивал однократный ввод первичной информации.

Еще в 1968 г. группой академика А. И. Анчишкина был подготовлен один из первых в СССР экономических прогнозов. В нем советской экономике был поставлен диагноз: «Объем одновременно выполняемых программ (в области капитального строительства, уровня жизни, оборонных расходов и иностранной помощи) превышает фактические возможности экономики». Применение указанной модели не могло, конечно, сократить число одновременно выполняемых программ, но позволяло хотя бы определять масштабы бедствия, понимать, насколько не хватает ресурсов и каких конкретно. Межотраслевая оптимизационная модель позволяла рассчитывать варианты плана, каждый из которых предусматривал различное распределение дефицитных ресурсов, изменения в программе ввода производственных мощностей, различную структуру конечного потребления важнейших видов продукции и другие возможные условия реализации плана. Алгоритм был построен таким образом, чтобы каждый скорректированный вариант плана обеспечивал его минимальное отклонение от намеченных темпов роста экономики.

При разработке основных направлений и проекта пятилетнего плана развития народного хозяйства СССР на 1971–1975 гг. Госплан СССР поставил своему ГВЦ⁷³ задачу резко расширить оптимальное отраслевое планирование, т. е. разрабатывать проекты планов развития и размещения 76 отраслей хозяйства (более 2/3 планируемого на следующую пятилетку прироста основных фондов промышленности), тем более что из этих 76 отраслевых 50 ранее не выполнялись и должны были быть реализованы впервые.

ЦЭМИ АН СССР в этот период разрабатывал подходы к моделированию экономики. Были начаты работы по разработке комплекса моделей многоступенчатой оптимизации и поставлена задача перейти к регулярному составлению межотраслевых балансов по союзным республикам. Основным предназначением модели натурально-стоимостного межотраслевого баланса было соотнесение данных о желаемом конечном продукте с имеющимися ресурсами.

К 1980 г. более 2/3 документов по годовому плану представлялось в Совет Министров СССР в машинном исполнении⁷⁴.

В 1958 г. в Академии наук СССР состоялось первое координационное совещание по применению математики в экономике.

В 1959 г. под руководством академика В. С. Немчинова вышел первый том трехтомника «Применение математики в экономических исследованиях». Знаковым событием 1959 г. также стала книга Л. В. Канторовича «Экономический расчет наилучшего использования ресурсов» с изложением основ линейного программирования⁷⁵.

В. С. Немчинов начал с небольшой экспериментальной базы и затем последовательно раздвигал рамки и масштабы работы. В конце 1957 г. он привлек к работе небольшую группу выпускников экономических вузов и организовал первую в стране Лабораторию по применению статистических и математических методов в экономических исследованиях и планировании АН СССР. Уже в 1958 г. потребовалось специальное совещание в Академии наук СССР для координации всех этих исследований. 4–10 апреля 1960 г. состоялось Первое Всесоюзное научное совещание о применении математических методов в экономических исследованиях и планировании. Немчинов выступил с большим программным докладом на пленуме совещания и с докладом «Теоретические вопросы межотраслевого и межрегионального баланса производства и распределения продукции народного хозяйства» в одной из секций. Уже через полтора месяца после сове-

⁷³ ГВЦ — Главный вычислительный центр Госплана СССР.

⁷⁴ Пионеры цифровизации / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. https://ac.gov.ru/uploads/pdf/About_Documents_01/60_let_web.pdf.

⁷⁵ Пионеры цифровизации / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. https://ac.gov.ru/uploads/pdf/About_Documents_01/60_let_web.pdf.



Дирекция ЦЭМИ АН СССР в 1970 г. (слева направо): Ю. А. Олейник, Н. Я. Петраков, Н. П. Федоренко, С. С. Шаталин, А. А. Модин

щения в Академии наук СССР был учрежден Научный совет по применению математических методов и электронной вычислительной техники в экономических исследованиях и планировании, несколько позже — Секция экономической кибернетики (Научного совета по комплексной проблеме «Кибернетика»), а в ноябре 1961 г. — Научный совет по комплексной проблеме «Научные основы планирования и организации общественного производства». Оба новых совета и секцию воз-

главил академик Немчинов. Позднее (в 1962–1963 гг.) второй из названных советов стал руководить работой восьми других научных советов Академии наук СССР: советов по эффективности капитальных вложений, по проблемам ценообразования, по размещению производительных сил, по экономическим проблемам химизации народного хозяйства и др. В 1963 г. разросшаяся лаборатория Немчинова после присоединения к ней трех других аналогичных лабораторий, работавших в рамках АН СССР и Госплана СССР, была преобразована в Центральный экономико-математический институт Академии наук СССР (ЦЭМИ АН СССР)⁷⁶.

Как отмечает О. О. Смирнова, в ЦЭМИ АН СССР была разработана система многоступенчатой оптимизации стратегического плана, включающая в себя модели трех уровней — отраслей, многоотраслевых комплексов и народного хозяйства. В СОПС (Совет по изучению производительных сил при Госплане СССР) была разработана система моделей оптимального размещения производства. В ИЭиОПП Сибирского отделения АН СССР была разработана система оптимизационных отраслевых межрайонных моделей.

Методологические подходы к балансовым построениям использовались в 1970-х гг. также в материальных, трудовых и денежных балансах. В методологии планирования отраслей народного хозяйства стал преобладать комплексный подход. Происходил переход от планирования отдельных отраслей к межотраслевому планированию. Межотраслевое планирование усиливало отраслевые планы, ориентируя их на более четкие конечные результаты, т. к. срыв плана в одной отрасли вел к невыполнению плана в смежной отрасли. Теория и методология комплексного планирования получила развитие в работах ученых ЦЭМИ АН СССР.

**...основное направление теоретических исследований
в области СОФЭ в настоящее время — создание
на базе реальных социально-экономических условий
единой схемы управления социалистической экономикой,
органически сочетающей централизованное планирование
с самостоятельностью хозяйственных объектов,
директивные и экономические методы управления
при согласованности натуральных и ценностных аспектов
управления, методов стимулирования и ответственности.**

Н. П. Федоренко (1980)⁷⁷

⁷⁶ Черняк Ю. И. Лаборатория экономико-математических методов под руководством академика В. С. Немчинова (1958–1963) в лицах. <http://novshestvoxx1.narod.ru/lemm1.html>.

⁷⁷ Федоренко Н. П. *Вопросы оптимального функционирования экономики*. М.: Наука, 1980.

В монографии О. О. Смирновой отмечено, что в конце 1960-х гг. в институте под руководством директора ЦЭМИ АН СССР академика Н. П. Федоренко стали разрабатываться методологические и методические положения, которые позднее назвали системой оптимального функционирования социалистической экономики (СОФЭ) как системы многоступенчатой оптимизации, системного моделирования народного хозяйства и социально-экономических отношений. Данным проблемам посвящены три монографии Федоренко. В монографии «Оптимизация экономики» даны две главы о народно-хозяйственном уровне СОФЭ, в которых детально проработано системное моделирование, включая моделирование межотраслевых взаимосвязей в народном хозяйстве, модели доходов и потребления, экономико-математические модели стратегического планирования и модели прогнозов сложных народно-хозяйственных проблем. Необходимо особо подчеркнуть, что впервые доказывалась необходимость платности производственных ресурсов. В монографии «Некоторые вопросы теории и практики планирования и управления» поставлены проблемы «системы комплексного планирования, прогнозирования социально-экономического и научно-технического развития, прогнозирования роста народного благосостояния, системы моделей народно-хозяйственного планирования, системы моделей многоступенчатой оптимизации производства». В главе «Хозяйственный расчет» решалась проблема соотношения хозрасчета и материальной ответственности за принимаемые решения на основе идеи В. С. Немчинова о «хозрасчетной системе планирования». В данных монографиях Н. П. Федоренко развил и конкретизировал все проблемы СОФЭ: положение о единстве плана и цен, значение цены в повышении эффективности и качества продукции, повышение роли цен в управлении научно-техническим прогрессом, учета полезных эффектов в планировании через систему оценок оптимального плана и их роли в качестве показателей эффективности общественного производства. «Центральным здесь является выделение целевого отношения, ибо цель, как отмечалось, и характеризует наиболее полно сущность и взаимодействие элементов в развивающейся системе. Именно целевым отношением социально-экономической системы и основным законом ее функционирования определяется направленность развития».

Наряду с этим в ГВЦ Госплана СССР продолжалась работа над материальными балансами. В книге «Пионеры цифровизации» описывается, как в 1964 г. Н. И. Ковалев (руководитель ВЦ/ГВЦ Госплана СССР) докладывал на совещании «Экономисты и математики за круглым столом», что ГВЦ Госплана СССР разрабатывает плановый межотраслевой баланс в натуральном выражении на 1970 г. по широкой номенклатуре (более 730 видов продукции), оптимальный топливный баланс страны на 1970 г., а также расчеты по рациональному размещению отраслей промышленности и оптимальной структуре сельскохозяйственного производства.

Обсуждая технические вопросы, участники совещания констатировали, что существующие ЭВМ не позволяют проводить оптимизационные расчеты. Что же касается алгоритмов, программ, т. е. самой основы новых методов управления, для которых государственная сеть вычислительных центров была бы инструментом реализации, то на совещании впервые прозвучала заявка ЦЭМИ АН СССР на лидерство и теоретическое руководство в этой области. В дальнейшем разработанная система оптимального функционирования экономики стала визитной карточкой ЦЭМИ АН СССР и предметом многолетних дискуссий с Госпланом СССР⁷⁸.

Сейчас, по мнению ученых ЦЭМИ РАН, проекты развития в России цифровой экономики, формирование распределенной системы ситуационных центров, возможность использования в вычислительных целях суперкомпьютерных технологий и компьютерных кластеров позволяют сетевым образом собирать информацию и проводить оптимизационные расчеты. Необходимо с учетом опыта разработки СОФЭ формировать комплекс экономико-математических моделей и переходить к встраиванию элементов государственного планирования в современные рыночные механизмы Российской Федерации.

В 1968 г. вышла монография Н. П. Федоренко «О разработке системы оптимального функционирования экономики». В ней впервые определены основные цели разработки эскизного про-

⁷⁸ Пионеры цифровизации / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. https://ac.gov.ru/uploads/pdf/About_Documents_01/60_let_web.pdf.

екта СОФЭ, а также математические и методологические аспекты его обеспечения. Эскизный проект должен содержать:

- «принципиальные схемы оптимального планирования и управления народным хозяйством и отдельными его звеньями;
- главные направления научно-исследовательских и экспериментальных работ;
- этапы разработки и внедрения системы оптимального планирования и управления».

Эскизный проект развития народного хозяйства должен представлять единую целостную систему, и все механизмы планирования, контроля и распределения должны занимать строго определенное место в СОФЭ. Определив цели поэтапного внедрения принципов оптимального планирования на основе экономико-математических методов, Н. П. Федоренко писал: «Следующее направление связано с разработкой общих проблем оптимального функционирования социалистической экономики. Эти работы знаменуют собой новый этап в развитии экономико-математических исследований. Главное внимание здесь уделяется разработке теоретических основ оптимального планирования, выявлению методологических предпосылок, на которых должна создаваться стройная экономическая теория социализма... Основные экономические и организационные условия перехода народного хозяйства на режим оптимального функционирования предусматривали обеспечение органического сочетания централизованного планового руководства и экономической самостоятельности отдельных хозяйственных ячеек, согласование интересов хозяйственных звеньев с целями развития всей экономики, всемерное использование экономических инструментов (цен, прибыли, финансов, кредита и др.) в разработке и реализации народно-хозяйственных планов, определение путей и форм широкого внедрения в планирование и управление экономико-математических методов и вычислительной техники».

О. О. Смирнова, пишет по этому поводу, что разработка математического аппарата позволила в 70-х гг. XX в. создать систему долгосрочного планирования на основе программно-целевого метода, который интенсивно развивался в ЦЭМИ АН СССР и НИЭИ при Госплане СССР. В 1976 г. в Госплане СССР была создана рабочая группа с целью подготовки методологий по разработке комплексных программ. Были разработаны Методические указания по разработке государственных планов экономического и социального развития (1980 г.) с разделом «Основные методические положения по разработке целевых комплексных программ». Методологией было определено, что целевые программы не заменяют государственный план, а дополняют его, определяя наиболее приоритетные направления, обеспечивающие решение наиболее назревших проблем, прежде всего межотраслевых, требующих концентрации материальных и финансовых ресурсов. Разработка комплексных целевых программ усложняла процесс планирования, т. к. требовала согласования временных рамок программ и планов отдельных отраслей, что в свое время повышало требования к системам управления данными отраслями и их качеству. Комплексное планирование позволяло сбалансировать планы отраслей на стратегическом уровне. С начала 1970-х гг. в СССР система управления экономическим развитием, формируемая Госпланом СССР, отставала от динамики развития экономики, что не позволяло полноценно реализовывать разработанные комплексные и аналогичные программы.

В середине 1980-х гг. были утверждены Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986–1990 гг. и на период до 2000 г. В качестве самостоятельной стадии планового решения была выделена концепция экономического и социального развития страны на 15 лет⁷⁹.

Идеи академика В. С. Немчинова были взяты за основу в статье Н. П. Федоренко «Цены и оптимальное планирование», в которой доказывалось, что учение о потребительной стоимости в рамках трудовой теории стоимости не противоречит принципу СОФЭ о необходимости соизмерения полезных эффектов предметов потребления.

В рамках СОФЭ также использовались совместные наработки лауреата Нобелевской премии, академика АН СССР Л. В. Канторовича и В. Л. Макарова, некоторые положения которых приведены ниже.

⁷⁹ Смирнова О. О. Основы стратегического планирования Российской Федерации: монография / О. О. Смирнова. М.: Издательский дом «Наука», 2013.

Начнем с описания общей линейной динамической модели оптимального планирования.

Основные ингредиенты. Заметим сразу, что степень детальности модели и степень учета различных факторов, влияющих на оптимальность, определяются в основном номенклатурой ингредиентов, используемой в модели.

Выделяются такие виды «продукции» и производственных факторов:

I. Различные виды сырья, продукции, услуг, степень агрегации которых определяется степенью детальности модели. Их измерители, как правило, натуральны. Могут быть использованы условно натуральные измерители (тонны условного топлива, тонна-километр, 15-сильные тракторы, кормовые единицы), а также стоимостные (в неизменных ценах).

II. Виды труда, различающиеся по производственным профессиям и квалификации, в некоторых случаях также по половозрастным признакам.

III. Производственные мощности. Производственные мощности разных видов различаются по отрасли, техническим параметрам, степени изношенности.

IV. Природные ресурсы. Земля, леса, водные ресурсы, месторождения полезных ископаемых также различаются по качеству.

Далее предполагается, что территория страны разбита на районы, а планируемый период — на ряд интервалов времени. Чем более детальна модель, тем более мелка разбивка по месту и времени.

Ингредиентами модели будем называть виды благ, перечисленные в пунктах I–IV, с указанием того, к какому месту (району) и времени они относятся.

Таким образом, отдельный ингредиент характеризуется тремя индексами (k, i, t) , где k — номер вида благ, i — номер района, t — период времени. Отметим, что при математической формулировке задачи могут появиться вспомогательные ингредиенты, используемые для записи различных дополнительных условий.

Производственные (технологические) способы. Производственный способ $a^{(s)}$ характеризуется трехмерной матрицей $\|a_{k,i,t}^{(s)}\|$ ($k = 1, 2, \dots, K; i = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, T$) или, если эту матрицу вытянуть в строку, вектором $a_{1,1,1}^{(s)}; \dots; a_{k,i,t}^{(s)}; \dots; a_{K,n,T}^{(s)}$, где $a_{k,i,t}^{(s)}$ есть количество ингредиента (k, i, t) , затрачиваемое или получаемое в зависимости от знака при единичной интенсивности применения способа $a^{(s)}$.

Заметим, что такое определение технологического способа не совпадает с обычным, т. к. один и тот же способ в обычном понимании описывается в нашей записи различными векторами в зависимости от того, в каком месте и в какой период времени он применяется (возможны случаи, когда $a_{k,i,t}^{(s)}$ не зависят от i и от t).

Ресурсы. Указываются объемы имеющихся к начальному моменту благ, запасы продукции, производственные мощности, производительность и запасы освоенных природных источников, ресурсы рабочей силы, строящиеся объекты и т. д. Далее на весь период указываются размеры возможного расширения (освоения) природных источников, а также ограничения и требования к их использованию. Определяются ресурсы рабочей силы на все периоды на основании прогноза роста населения и доли производительного труда, подлежащей использованию в производственной сфере.

Потребление. Должен быть указан в основном состав конечной продукции, необходимой для личного и общественного потребления, и намеченный рост ее по годам на весь планируемый период (темп роста может быть уточнен в процессе решения). Могут быть указаны допустимые изменения в составе конечной продукции и эквиваленты замены одних видов предметов потребления другими и т. д. В потребление могут включаться не только собственно предметы потребления, но и средства производства, необходимые для непромышленных секторов общества (наука, оборона), а также задания по созданию специальных видов производственных мощностей.

Затраты на личное потребление могут быть заданы независимо от формы использования рабочей силы либо в зависимости от ее распределения по профессиям и отраслям (например, посредством учета уровня зарплаты).

Критерии оптимальности. Оптимальность плана может характеризоваться различным образом.

Например, как оптимальный может рассматриваться план, обеспечивающий при заданных ресурсах и удовлетворении заданных размеров потребления достижение максимальной производительности на последний год, либо обеспечивающий при данном составе потребления достижение в кратчайший срок заданных норм его, либо обеспечивающий заданные темпы роста выпуска продукции и потребления при минимальных затратах труда — например, снижении рабочего дня. При любом из перечисленных и многих других критериях оптимальности (за исключением критерия максимального темпа роста потребления) формально задача нахождения оптимального плана сводится к выбору интенсивностей располагаемых производственных способов при условии, чтобы были выполнены все требуемые ограничения и суммарная величина некоторого ингредиента принимала максимальное значение.

Задача нахождения оптимального плана описанной модели представляет собой задачу линейного программирования с технологической матрицей $\|a_j^{(s)}\|$, где j пробегает все тройки чисел (k, i, t) , соответствующим образом упорядоченные, и вектором ограничений b_j , получающимся на основе данных о ресурсах и потреблении.

Мы не останавливаемся здесь на конкретной записи различных видов ограничений, а также на приемах, с помощью которых учитывается, например, возможная взаимозаменяемость различных продуктов потребления, т. к. техника учета различных факторов в линейных моделях уже довольно хорошо известна. Запишем для примера условия, которым удовлетворяет план, обеспечивающий максимальный темп роста производства фиксированных наборов потребления.

План характеризуется заданием интенсивностей применения способов $x^{(s)}$. Балансы в плане по отдельным ингредиентам определяются по формуле $y_j = \sum_S a_j^{(s)} x^{(s)}$.

Пусть $j_1^t, j_2^t, \dots, j_{k_t}^t (t = 1, 2, \dots, T)$ — номера ингредиентов, участвующих в конечном потреблении. Задание по потреблению в период t можно записать с помощью способа $(0, \dots, -C_{j_1^t}, \dots, -C_{j_{k_t}^t}, \dots, 1_{m+t})$.

Этот способ описывает получение из ингредиентов $j_1^t, \dots, j_{k_t}^t$ потребительского набора, которому в каждый период времени соответствует свой ингредиент. Обозначим интенсивность способа, создающего потребительский набор в период t , через x_{m+t}^s . Тогда условие, требующее наибольшего темпа увеличения выпуска продуктов потребления в заданных пропорциях, запишется следующим образом:

Найти максимальное α , при котором неравенства $x_{m+t}^s \geq (1 + \alpha)^t, y_j \geq b_j$ совместны (здесь j пробегает номера остальных ингредиентов).

Эта задача может быть разрешена последовательным решением нескольких задач линейного программирования.

Необходимо сразу же сказать об одной принципиальной трудности, возникающей при применении экстремальных математических моделей для составления оптимального народно-хозяйственного плана.

Понятие оптимальности включает в себя два момента: получение продукции, наиболее полно удовлетворяющей потребности общества, и получение ее при наименьших затратах при заданных ресурсах. Если второе условие достаточно отчетливо количественно формулируется и хорошо поддается математическому описанию, то первое требование поддается математическому описанию гораздо труднее, тем более что оно наряду с экономическими включает в себя и ряд внеэкономических требований и критериев.

Эта трудность в первом приближении может быть обойдена благодаря следующему соображению. Если бы был составлен план, оптимальный во всех отношениях и по потреблению, и по производству, то он был бы, в частности, и оптимальным производственным планом, т. е. принятая конечная продукция потребления производилась бы с наименьшими в данных условиях затратами. Поэтому если мы поставим более упрощенную задачу получения уже выбранного (не экстремальными методами) состава конечной продукции с наименьшими затратами при задан-

ных ресурсах, то такой оптимальный производственный план может служить и шестым приближением к плану, оптимальному во всех отношениях. И во всяком случае закономерности, найденные при анализе оптимального производственного плана, полностью применимы и к плану, оптимальному во всех отношениях. Ниже мы указываем и некоторые дальнейшие пути приближения оптимального производственного плана к плану, оптимальному во всех отношениях.

Возможны и другие формы условия оптимизации. Во всяком случае, при любом из указанных и многих других возможных выборах критерия оптимума построенный план будет оптимальным как производственный в том смысле, что не существует плана, который бы обеспечивал такую же продукцию для потребления во все периоды и такие же фонды на конец периода при меньшем расходовании ресурсов (или, наоборот, при тех же ресурсах большую продукцию). Этого достаточно, чтобы имела место следующая теорема о характеристике оптимального плана.

Оптимальный производственный план $\{\bar{x}^s\}$ при условиях $(\sum_s a_j^{(s)} x^{(s)} \geq b_j)$ характеризуется системой объективно обусловленных оценок, соответствующих всем ингредиентам, π_j (решений двойственной задачи) такой, что выполнены следующие условия:

1. Все использованные в плане способы оправданны (рентабельны) по этим оценкам $\sum_j a_j^{(s)} \pi_j = 0$, если $\bar{x}^s \neq 0$.
2. Все допустимые технологические способы не более чем оправданны $\sum_j a_j^{(s)} \pi_j \leq 0$.
3. $\pi_j \geq 0$, $\sum_j \pi_j > 0$.
4. Если для некоторого ингредиента $[j]$ в ограничениях имеет место строгое неравенство, то $\pi_j = 0$.

Наличие для плана системы объективно обусловленных оценок, удовлетворяющих перечисленным условиям 1–4, является необходимым и достаточным для того, чтобы план был оптимальным.

В дальнейшем изложении мы будем ссылаться на эту теорему. Условия 1–4 в различных конкретных ситуациях часто приводят к полезным экономическим выводам.

Остановимся на принципиальном экономическом заключении, которое следует на основании данной теоремы для перспективного планирования. Оно состоит в том, что оптимальный план характеризуется наличием для всех ингредиентов динамической системы оценок, обусловленной самим оптимальным планом и порождающими его условиями (ресурсы, технология, направление развития экономики, критерий оптимальности).

Эти оценки дают соотношения эквивалентности для различных видов ингредиентов в отношении их эффективности в условиях оптимального плана. Таким образом, наличие объективно обусловленных оценок, в частности, дает средство приведения к единому эквиваленту не только разнокачественных видов продукции и затрат, но и разновременных. Экономический смысл этих оценок продукции при соответствующем выборе критерия оптимальности плана состоит в том, что они характеризуют соотношение затрат труда общества, необходимых для производства единицы продукции того или иного вида. При этом имеются в виду затраты дифференциальные, т. е. затраты, приходящиеся на единицу продукции, связанные с увеличением или, соответственно, уменьшением выпуска данной продукции.

Приведение разновременных затрат к единому эквиваленту, выполняемое посредством динамической системы оценок, становится особенно экономически наглядным, если на основе системы оценок определить обобщенный показатель — норму эффективности капитальных вложений. Именно выбирая некоторый стандартный набор продукции и производственных факторов $\bar{Y}_{11}, \dots, \bar{Y}_{k,n}$, установим масштаб цен так, чтобы цена этого набора оставалась неизменной. Введем множители λ_t из условия

$$\sum_{k,i} \bar{Y}_{k,i} \pi_{i,k,t} = \lambda_t \sum_{k,i} \bar{Y}_{k,i} \pi_{i,k,1}$$

Тогда величина $\frac{\lambda_t}{\lambda_{t+1}} - 1$ будет характеризовать норму эффективности капиталовложений в каждый период, а отношение $\frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t}$ даст коэффициент приведения затрат и продукции следующего года к предыдущему. Отметим, что базисный набор продукции может быть непостоянным и приведение может проводиться так называемым цепным способом.

Проанализируем структуру матрицы $\|a_j^{(s)}\|$. Для этого классифицируем все технологические способы по группам в соответствии с их экономическим содержанием.

I. Текущие производственные способы. Эти способы описывают и текущий процесс производства, и, может быть, небольшие изменения в производстве. Они действуют в течение одного временного интервала и в основном включают в себя ингредиенты, связанные с одним временным интервалом.

II. Многопериодные производственные способы. Эти способы затрагивают ряд интервалов времени. К ним относятся способы, описывающие процесс капитального строительства, когда затраты производятся в течение нескольких периодов и создаваемая производственная мощность действует на протяжении длительного промежутка времени. К этой группе принадлежат, например, способы хранения продукта; способы, описывающие процесс модернизации производственного оборудования (эти способы переводят один вид мощности в другой); способы освоения природных источников; способы, описывающие обучение и подготовку рабочей силы.

III. Способы транспортировки. Эти способы затрагивают ингредиенты, относящиеся к различным районам.

Итак, способы первых двух групп действуют только внутри одного района. Такие способы, как, например, строительство железной дороги, которые, строго говоря, не относятся к одному району, часто можно скомпоновать из способов, уже принадлежащих одному району. Способы группы III осуществляют связь между районами.

Заметим, что описанные способы всех трех групп отражают и технический прогресс. Действительно, все способы изменяются в зависимости от интервала времени, в котором они функционируют. Поэтому один и тот же производственный процесс, или процесс транспортировки, потребления и т. д., характеризуется, вообще говоря, несколькими различными векторами в разные интервалы времени. Технический прогресс за счет создания принципиально новой техники описывается с помощью обычно записанных технологических способов и дополнительных условий, разрешающих использование новых способов лишь с определенного момента времени.

В записи технологических способов амортизационные отчисления на реновацию основных фондов не включаются в текущие затраты, поскольку включены затраты на создание фондов, а в случае их износа — на восстановление в соответствующий момент. Аналогично включаются в затраты по ожидаемому времени его выполнения капитальный ремонт. Впрочем, часто его можно включать и через средние затраты в виде амортизационных отчислений.

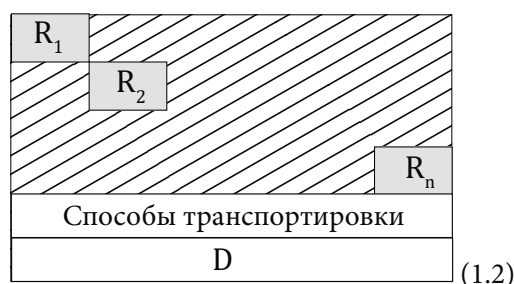
Легко заметить, что если записать технологические способы один под другим в соответствующем порядке, то матрица задачи, описывающая производство в районе i , будет иметь следующую структуру:

$$\begin{array}{|c|} \hline A_1^i \\ \hline A_2^i \\ \hline \vdots \\ \hline A_T^i \\ \hline B^i \\ \hline \end{array} \quad (1.1)$$

Здесь исключен столбец, относящийся к ингредиенту, который следует максимизировать.

A_t^i — матрица текущих производственных способов района i в период t . B^i — матрица многопериодных способов. Заштрихованная часть состоит полностью из нулей.

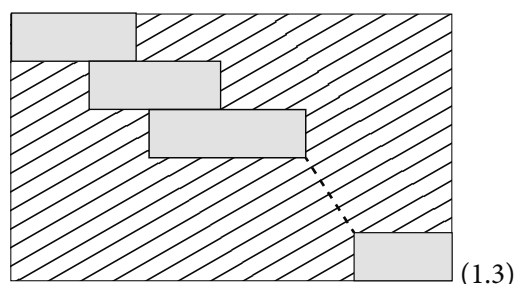
Общая технологическая матрица модели будет иметь вид:



Здесь R_i — матрица района i . Матрица D состоит из способов, затрагивающих ингредиенты различных районов. Такие способы описывают, например, строительство транспортных магистралей (железных дорог, газо- и нефтепроводов, линий электропередачи и т. п.). В некоторых случаях можно способы строительства транспортных магистралей рассматривать внутри одного района, тогда матрица D отсутствует.

Заметим теперь, что мы еще почти не использовали экономического содержания технологических способов по существу.

Ясно, что если даже ограничиться одним районом и интервалом времени, то каждый отдельный технологический способ будет затрагивать только очень небольшое число ингредиентов. Действительно, различные отрасли внутри одного района связываются между собой только по части ингредиентов. При этом часто эти общие для двух отраслей ингредиенты уже не встречаются ни в какой третьей отрасли. Поэтому у матриц A_t^i некоторая часть может иметь такую структуру:



Например, таким образом соединяются отрасли, упорядоченные по глубине переработки сырья. Самый верхний блок относится к добывающей отрасли.

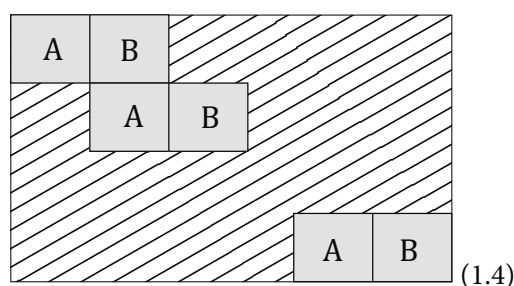
Следующий блок относится к отрасли первичной обработки сырья, добываемого первой отраслью и т. д.

Кроме того, естественным образом группируются способы, использующие один и тот же вид производственной мощности или выпускающие один и тот же вид продукта. Это обстоятельство также приводит к тому, что технологическая матрица имеет некоторую специфическую структуру. Можно привести еще ряд признаков, по которым группируются способы.

Общий вывод из этого рассмотрения таков.

Технологическая матрица описанной модели имеет весьма специфическую структуру. Эта матрица составлена из ряда вложенных друг в друга матриц, каждая из которых принадлежит одному из немногих типов.

Результатирующим вариантом является следующая матрица:



К этому же выводу можно прийти из других соображений.

Народно-хозяйственный план более или менее естественным образом распадается на части — например, план для одного периода времени, план для одного района, одной отрасли, предприятия или фирмы и т. д. Каждый частный план связан с другими планами — как правило, по значительному меньшему числу ингредиентов по сравнению с общим числом, которые в нем участвуют. Кроме того, связи между частными планами описываются небольшим числом стандартных способов. Поэтому если выделить все части народно-хозяйственного плана и проследить все типы связей между ними, то опять приходим к выводу, что общая технологическая матрица имеет описанную специфическую структуру.

Общее требование к динамической модели отрасли, района, группы отраслей, вообще к частной модели состоит в том, что она должны быть частью, элементом общей народно-хозяйственной модели. Другими словами, конструкция модели должна быть такой, что считаются заданными и фиксируются только связи с другими отраслями (в случае модели отрасли), именно материальные потоки, которые идут из данной отрасли другим отраслям, и денежные потоки, идущие из других отраслей в моделируемую отрасль. Производство и потребление внутри отрасли описываются технологическими способами и определяются в результате решения. Естественно потребовать, чтобы критерий оптимальности для этой частной модели, во-первых, был выражен в терминах и ингредиентах, связывающих данную отрасль с другими, а во-вторых, был таким, чтобы оптимальный по этому критерию план как можно меньше отличался от того оптимального плана, который бы получился из решения общей народно-хозяйственной модели. В качестве иллюстрации к выдвинутым положениям, а также с целью более наглядного описания техники построения моделей мы изложим динамическую модель развития энергетики и топливной промышленности (в частности, топливно-энергетический баланс) и наметим ее возможные расширения за счет присоединения смежных отраслей. Эта модель имеет, конечно, самостоятельный интерес, она и разрабатывалась в плане ведущихся в стране работ по оптимизации топливно-энергетического баланса. Однако здесь мы излагаем ее именно как часть модели народного хозяйства и акцентируем внимание на технике расширения модели.

Энергетические отрасли представляют собой удобный и важный объект для математического моделирования и применения оптимальных методов по двум причинам. С одной стороны, эти отрасли оперируют со сравнительно небольшой номенклатурой продуктов, поэтому получаемая модель имеет обозримый вид и сравнительно проста: малое число видов продукции позволяет использовать натуральное измерение их, избавляя от недостатков стоимостных измерителей.

С другой стороны, энергетика и топливная промышленность являются первичными, добывающими отраслями, занимающими центральное место в народно-хозяйственном плане. Объем их продукции в общественном продукте весьма велик, поэтому даже сравнительно небольшие изменения в плане их развития связаны с многомиллиардными суммами. Существенно также то обстоятельство, что в этих отраслях имеется особенно большое число разнообразных путей и средств получения одной и той же конечной продукции.

Поэтому работу по составлению полной народно-хозяйственной модели уместно начать именно с энергетики и топливной промышленности. Порядок расширения, присоединения новых отраслей, как можно видеть из дальнейшего, определяется естественным образом и позволяет охватить значительную часть народного хозяйства. Кроме того, поскольку в энергии нуждается любая отрасль народного хозяйства, в полной народно-хозяйственной модели топливно-энергетическая модель будет играть важную связующую роль. В частности, эти разработки будут способствовать совершенствованию методики расчета важного показателя энергоемкости продукции, который полезен во многих экономических вопросах, поскольку энергия почти в такой же мере, как и труд, является производственным фактором, имеющим почти универсальное применение.

Мы воспроизводим описание довольно развитой и полной динамической модели развития энергетики и топливной промышленности, вводя лишь некоторые упрощения, связанные с об-

легчением изложения, однако попутно указываем и некоторые промежуточные, более простые модели, которые также имеют самостоятельное значение и практически более просто осуществимы.

Примерный перечень основных видов продукции энергетики и топливной промышленности, участвующих в модели, которые определяют соответствующие ингредиенты продукции, входящие в технологические способы:

- электроэнергия (иногда с указанием напряжения и силы тока, а также графика потребности);
- тепло (горячая вода, пар);
- бурые угли;
- антрациты (с более или менее подробным разделением по маркам);
- каменные угли коксующиеся (разделение по маркам);
- каменные угли энергетические (разделение по маркам);
- природный газ;
- попутный газ:
- мазут сернистый;
- мазут малосернистый;
- дизельное топливо;
- бензин;
- керосин;
- флотский мазут и соляр;
- сырая нефть;
- дистилляты;
- сланцы,
- торф;
- дрова.

Эта классификация произведена по потреблению, т. е. различными продуктами считаются такие, которые различны для потребителей. Ингредиенты модели получают из данной номенклатуры продуктов указанием дополнительно места и времени, а для некоторых видов продукции и способа их получения. Например, для углей дополнительно указывается, открытым, шахтным или гидроспособом они добываются. Также ясно, что перечень ингредиентов зависит от того, как разбивается плановый период на интервалы времени и как разделяется территория страны на районы. Степень детальности модели и точности учета различных факторов определяется в основном набором ингредиентов и технологических способов. В частности, чем меньшие интервалы времени и размеры районов будут взяты, тем более точной будет модель. Действительно, конструкция модели такова, что для одного интервала времени производство и потребление задаются только в суммарной форме и не учитывается, каков режим производства и потребления внутри временного интервала. Поэтому в модели, которая должна, например, учитывать сезонную неравномерность в потреблении, следует плановый период разбивать на интервалы меньше года (год разбивки по числу сезонов).

В нашем описании модели мы не будем уточнять разбивки планового периода на временные интервалы и деления территории страны на районы.

Мы описали ингредиенты, которые относятся к собственно энергетике и топливной промышленности, т. е. такие, которые с той или иной степенью детальности присутствуют в любой динамической модели этих отраслей. Далее требуется определить набор ингредиентов, с помощью которых энергетика и топливная промышленность связаны с другими отраслями народного хозяйства и с природными источниками, а также ингредиенты, относящиеся к производственным мощностям, в частности к действующим. Все эти ингредиенты нужны для того, чтобы записать вектор ограничений задачи, а также затраты и эффект в других отраслях, связанных с энергетикой, т. е. задать, во-первых, требования других отраслей, предъявляемые к энергетике-

ке и топливной промышленности, во-вторых, задать объемы средств других отраслей, которые поступают в моделируемые отрасли, и, в-третьих, охарактеризовать производственную базу самой энергетики и топливной промышленности, т. е. имеющиеся природные ресурсы различных видов, объемы наличных производственных мощностей, а также объемы и степень готовности строящихся производственных объектов.

Набор ингредиентов, с помощью которых энергетика и топливная промышленность связаны с другими отраслями, определяет границу, отделяющую моделируемые и оптимизируемые отрасли от остальной части экономики. Другими словами, эти ингредиенты определяют, что отнесено к энергетике и топливной промышленности, что варьируется, определяется в результате решения и что не относится, т. е. задано, зафиксировано заранее или определяется по некоторому известному правилу.

Опишем сначала ингредиенты, которые поступают в моделируемые отрасли из других отраслей. Таких ингредиентов, вообще говоря, огромное число, и установление их номенклатуры для модели определяется многими, иногда противоположно действующими мотивами. Ясно, что если мы уже имеем оптимальную модель какой-то отрасли, то продукты ее производства, которые поступают в энергетику и топливную промышленность, должны быть взяты в той номенклатуре, которая принята в модели этой отрасли. Однако мы предполагаем, что оптимальная модель энергетики и топливной промышленности предшествует развернутым моделям для других отраслей. Поэтому нецелесообразно принимать для входных ингредиентов слишком подробную номенклатуру, т. к. все равно невозможно сколько-нибудь точно определить интенсивность входных потоков, которые участвуют в формировании вектора ограничений задачи. Наиболее простой путь выбора номенклатуры ингредиентов входных потоков состоит в том, что для каждого интервала времени устанавливаются лишь два вида ингредиентов в обобщенной стоимостной форме: текущие затраты и капитальные затраты.

Таким образом, все многообразие продуктов, которые поступают в энергетику и топливную промышленность из других отраслей, сводится к двум качествам благодаря использованию некоторых коэффициентов приведения одного продукта к другому. Как правило, такими коэффициентами являются действующие цены.

В некоторых случаях текущие и особенно капитальные затраты, кроме различия по времени, целесообразно различать еще по месту и по виду строительно-монтажных работ и оборудования. В более полных вариантах, когда в модели имеется в виду учесть ограниченность производственных возможностей некоторых отраслей-поставщиков, продукция этих отраслей показывается в явном виде с помощью введения соответствующих ингредиентов. Видами поставок, которые учитываются в явном виде, могут быть, например, трубы для строительства газопроводов и нефтепроводов, некоторые виды энергетического оборудования (турбины, котлы некоторых типов) для строительства электростанций и т. п., объемы строительно-монтажных работ. В особенности это целесообразно по отношению к производствам, в основном обслуживающим топливно-энергетические отрасли.

Обсудим теперь вопрос о выходных ингредиентах, т. е. о том, в каком виде представлять материальные потоки, идущие из энергетики и топливной промышленности в другие отрасли народного хозяйства.

Номенклатура выходных ингредиентов определит в основном широту модели, уточнит, что отнесено и что не отнесено к модели. Именно с помощью выходных ингредиентов осуществляется расширение уже построенной модели путем привлечения смежных отраслей, являющихся основными потребителями энергетических продуктов. Техника этого расширения описывается ниже. Здесь мы только укажем на естественность расширения модели отрасли или группы отраслей народного хозяйства с помощью привлечения смежных отраслей, определенных по выходным потокам продуктов, а не по входным, т. е. мы подтверждаем положение о том, что модель народного хозяйства целесообразно строить последовательным расширением моделей группы

отраслей, начиная с добывающих, с последующим присоединением все более далеких от первичного сырья отраслей.

Расширение модели с помощью присоединения смежных по входным потокам отраслей обычно менее удобно, т. к. номенклатура входных потоков, как правило, более обширна и сразу захватывает многие отрасли, так что сразу возникает вопрос о том, какую отрасль присоединять первой. Другими словами, связей между отраслями по выходным ингредиентам меньше, и они более просты, т. е. имеют меньше разветвлений и циклов, чем связи по входным ингредиентам. Впрочем, и некоторые связи по входным ингредиентам выделяются как естественные и первоочередные (производство специфического оборудования и сырья).

Мы коснемся двух вариантов установления номенклатуры выходных ингредиентов в модели энергетики и топливной промышленности. Возможен вариант модели, в котором выходными потоками считается полезное тепло, произведенное с помощью продукции топливной промышленности на различных топливопотребляющих установках.

Остановимся на другом варианте, принимаемом нами в качестве основного. Перечень выходных ингредиентов определяется тем, в каком виде задаются требования других отраслей к энергетике и топливной промышленности.

Примерная классификация потребителей электроэнергии:

1. Черная металлургия:
 - а) ферросплавные печи;
 - б) дуговые печи для производства стали;
 - в) электропечи нагревательные:
 - а) на принципе сопротивления,
 - б) индукционные;
 - г) прочее.
2. Цветная металлургия:
 - а) производство алюминия;
 - б) прочее.
3. Химическая промышленность.
4. Машиностроение (классификация может быть произведена как в 1 плюс электродвигатели).
5. Транспорт.
6. Сельское хозяйство:
 - а) электродвигатели;
 - б) прочее.
7. Жилищно-коммунальное хозяйство и общественное питание:
 - а) пищеприготовление;
 - б) освещение;
 - в) прочее.
8. Прочие потребители электроэнергии.

Примерная классификация потребителей топлива:

1. Районные котельные со слоевым сжиганием топлива.
2. Районные котельные с камерным сжиганием топлива.
3. Промышленные котельные со слоевым сжиганием топлива.
4. Промышленные котельные с камерным сжиганием топлива.
5. Доменные печи.
6. Плавильные печи:
 - а) мартеновские металлургические;
 - б) мартеновские прочие.

7. Нагревательные печи.
8. Обжиговые печи (без цементных и агломерационных).
9. Цементные печи.
10. Агломерационные печи.
11. Коммунально-бытовые нужды городов (без отопительных и домовых котельных).
12. Отопительные и домовые котельные городов.
13. Коммунально-бытовые нужды села.
14. Коксогазовое производство.
15. Стационарные двигатели внутреннего сгорания дизельные.
16. Стационарные двигатели внутреннего сгорания карбюраторные.
17. Железнодорожный транспорт.
18. Водный транспорт (отдельно дизели и карбюраторы).
19. Автотранспорт (отдельно дизели и карбюраторы).
20. Воздушный транспорт.
21. Сельское хозяйство — дизели.
22. Сельское хозяйство — карбюраторы.

Главная трудность — формирование ингредиентов по такой классификации потребителей, поскольку, кроме дальнейшей разбивки по районам и интервалам времени, требуется еще определить единицы измерения для каждого вида потребности. Например, для цементной печи потребность может задаваться в единицах условного топлива, в единицах необходимого полезного тепла и, наконец, в единицах основной продукции — цемента.

Безусловно, лучше всего задавать потребность в единицах основной продукции, т. к. в этом случае сохраняется больше вариантов и меньшее число решений приходится принимать заранее. Действительно, если задана потребность в условном топливе, то сразу отбрасываются все варианты, связанные с заменой топлива электроэнергией или наоборот, т. е. заранее принимается, что в данном районе рассматриваемое производство должно ориентироваться на топливо или, наоборот, на электроэнергию, тогда как это типичный вопрос, который должен найти свое разрешение в модели. Такая форма задания облегчает и возможность сопряжения топливно-энергетической модели с моделями других отраслей.

Поскольку не во всех энергопотребляющих установках можно легко выделить основную продукцию, которую она создает (ибо эта установка может являться частью какого-нибудь сложного агрегата, не относящегося к энергопотребляющим установкам в принятой классификации), мы и считаем эту трудность основной при составлении выходных ингредиентов.

Такая единица измерения, как полезное тепло, взятое в качестве продукции энергопотребляющей установки, может оказаться целесообразной в тех случаях, когда трудно определить основную продукцию установки и сравнительно просто исчислить величину полезного тепла. Заметим здесь, что в нашей конструкции модели развития энергетики единицы измерения могут избираться по-разному. Не требуется какой-то унификации всех единиц измерения, нет необходимости принимать одно из двух положений, считать выходной продукцией либо полезное тепло, либо основную продукцию установки. Для каждого конкретного потребителя этот вопрос может быть решен по-своему.

Далее — приведенная классификация потребителей электроэнергии и отдельно топлива применима только к действующим (существующим) установкам и частично к строящимся объектам.

Для проектируемых установок возникающая в связи с ними потребность, которая может быть удовлетворена и с помощью топлива, и с помощью электроэнергии, показывается одним ингредиентом.

На этом мы закончим описание ингредиентов модели и перейдем к изложению производственной части модели, т. е. главным образом технологических или производственных способов. По ходу описания групп производственных способов мы будем указывать различные факторы,

которые учитываются в модели. Яснее станет и необходимость введения тех или иных выходных ингредиентов. Ингредиенты, относящиеся к производственным мощностям, вводятся при описании технологических способов.

Чтобы описать процесс производства с помощью технологических способов, необходимо разбить его на некоторые элементарные, неразложимые в данной модели акты или процессы. Естественно, что чем детальнее такая разбивка, тем точнее модель. Любые изменения процесса производства, а также процесс капитального строительства также разлагаются на элементарные процессы.

Производство электроэнергии естественным образом разбивается по электростанциям. Причем имеется в виду нормальное функционирование электростанций. Изменения в величине мощности, в технологическом процессе описываются особыми технологическими способами.

Классификация электростанций:

- районные электростанции, каждая индивидуально (перечень всех существующих, строящихся, проектируемых и возможных станций; типовые проекты);
- другие крупные электростанции;
- прочие электростанции района, рассматриваемые в общей массе суммарно или с разбивкой на несколько групп (гидростанции выделяются отдельно);
- промышленные тепловые электростанции с разделением по отраслям и видам используемого топлива, а также с указанием принадлежности энергосистеме.

Производственный способ, описывающий функционирование элементарного процесса по производственной классификации, характеризуется вектором, компонентами которого являются выделенные ингредиенты. Так, например, способ, описывающий нормальное функционирование тепловой электростанции в течение ряда лет, затрачивает (если интервал времени — год) топливо определенного вида в количестве годовой потребности для каждого года, затрачивает годовые суммы других текущих затрат, а выдает электроэнергию и тепло в соответствии с уровнем производства по годам.

Если $Y_{i,t}^s$ — потребность в топливе i -го вида в год t , c_t^s — остальные текущие затраты в год t (без затрат на реновацию), выраженные в неизменных ценах, \mathcal{E}_t^s — производство электроэнергии в год t , T_t^s — производство тепла в год t , то s -й способ — вариант функционирования электростанции — характеризуется вектором

$$(0, \dots, -1^s, 0, \dots, -Y_{i,1}^s, -Y_{i,2}^s, \dots, -Y_{i,t_1}^s; \dots, -c_{t_1}^s, \dots, -c_{t_1}^s, \dots, \mathcal{E}_1^s; \dots, \mathcal{E}_{t_1}^s; \dots, T_{t_1}^s, \dots, T_{t_1}^s \dots),$$

где -1^s показывает затраты особого ингредиента, характеризующего само наличие и использование данной электростанции. Любой другой вариант функционирования той же самой электростанции, например работа в другом режиме или на другом виде топлива, тоже описывается некоторым вектором. Если данная электростанция наращивает свою мощность, то в способе, описывающем этот вариант, в качестве затрат будут фигурировать капиталовложения в денежном выражении и иногда в натуральном выражении — например, затрата турбины определенного типа, в случае когда входные ингредиенты модели учитывают данный тип турбины. Аналогичным образом описываются варианты строительства электростанций в том или ином районе, в том или ином году, при тех или иных сроках строительства. Легко заметить, что исходные данные для формирования способов требуются в том виде, в каком они вообще описывают варианты функционирования и строительства объектов, т. е. не требуется никаких предварительных расчетов и преобразований. Ясно также, что в условиях принятой гипотезы линейности любой возможный вариант может быть описан с помощью технологического способа, ибо каждый способ только показывает, сколько и какого ингредиента затрачивается или получается в течение интервала времени. В частности, группа мелких электростанций района, рассматриваемая суммарно, описывается способом, в котором затрачиваются все виды топлива, которые группа потребляет, их текущие и капитальные затраты, и получается суммарное производство электроэнергии и тепла. Всевозможные изменения в группе тоже описываются подобными способами.

Производство топлива разбивается на элементарные процессы аналогичным образом.

Функционирование мелких угольных бассейнов, месторождений нефти, газа, сланцев описывается суммарно, одним технологическим способом. Варианты в изменении объема добычи, затратах и пр. рассчитываются для всего бассейна в целом. Крупные бассейны могут показываться более детально. Например, некоторые технологические способы будут описывать варианты функционирования отдельных шахт, варианты их реконструкции и дальнейшего развития.

Каждый вариант характеризуется годовыми выпусками угля каждой марки, в том числе энергетических углей, а также текущими и капитальными затратами, показанными в годовом разрезе. Варианты обогащения углей также весьма просто описываются технологическими способами.

В настоящем разделе мы не можем описывать динамическую модель энергетики и топливной промышленности сколько-нибудь полно. Наша цель — показать структуру модели, так сказать, логику ее конструкции. Поэтому некоторые, вообще говоря, важные вопросы здесь опущены.

Коснемся еще формирования так называемых способов потребления, предназначенных для учета затрат и эффекта от использования того или иного энергетического продукта у потребителя. Потребители в модели характеризуются в первую очередь выходными ингредиентами и их объемами. Объем выходного ингредиента может быть получен различными путями — в частности, с помощью использования разных видов топлива или с помощью использования электроэнергии. Таким образом, потребление энергетических продуктов описывается технологическими способами, которые учитывают затраты, связанные с этим потреблением.

Из рассмотренной конструкции динамической модели можно заключить следующее.

Для формирования технологических способов могут использоваться как подробные первичные данные для конкретных объектов, так и обобщенные, сведенные (средние) данные. Не нужно, следовательно, проводить дополнительную расчетную работу по приданию исходной информации некоторого стандартного вида.

Кроме того, не требуется, как может показаться на первый взгляд, предварительно рассчитывать массу первичных исходных вариантов для элементарных в модели процессов, многие из которых не попадут в оптимальный план. Действительно, достаточно включить в первоначальный расчет только немногие контрольные варианты, которые будут указывать лишь наиболее вероятные направления возможных изменений.

Получающиеся вместе с оптимальным планом объективно обусловленные оценки позволяют в дальнейшем оценить, какие новые варианты следует разрабатывать как эффективные с точки зрения этого оптимального плана. Тогда процесс получения окончательного оптимального плана будет представлять ряд последовательных решений задачи линейного программирования с одновременным пополнением экономической и проектной (технологической) информации.

Несколько слов о критерии оптимальности и о способах расширения рассмотренной модели. Выше было отмечено, что критерий оптимальности для модели отрасли или другой части народного хозяйства должен выбираться так, чтобы оптимальный по этому критерию план как можно меньше отличался от оптимального плана этой отрасли, полученного как часть общего народно-хозяйственного плана.

Идеальным в этом смысле критерием для частной модели (при заданном потреблении ее продукции) является минимальная сумма текущих и капитальных затрат, которые поступают из остальной части народного хозяйства. Причем эти текущие и капитальные затраты исчислены в объективно обусловленных оценках оптимального плана общей народно-хозяйственной модели по критерию оптимальности, например «минимум суммарных затрат труда». Можно показать, что при таком критерии для частной модели (и правильном указании потребности) оптимальный план этой модели даст те же результаты, что и оптимальный план ее как части общей модели. Поэтому приведенная сумма текущих и капитальных затрат на весь период будет тем лучшим критерием, чем ближе цены, по которым она исчислена, к объективно обусловленным оценкам общей народно-хозяйственной модели. В частности, отсюда ясно, что и текущие,

и капитальные затраты следует приводить к одному месту и моменту времени, прежде чем суммировать.

Другой критерий оптимальности, который может быть предложен для частной модели, есть минимальная сумма текущих затрат при фиксированных ограничениях по капитальным затратам. Этот критерий при определенных условиях и при определенных ценах, по которым рассчитываются текущие и капитальные затраты, может оказаться лучше первого, если достаточно хорошо выбраны сами ограничения по капиталовложениям. Ограничения по капиталовложениям могут корректироваться после решения в соответствии с тем, в каком отношении находятся полученные объективно обусловленные оценки капиталовложений с общей нормой эффективности капитальных вложений, которая определена в результате решения общей народно-хозяйственной модели.

Наконец, может быть использован такой критерий. Он удобнее при оптимизации плана отрасли при принятых уже цифрах общего народно-хозяйственного плана. Пусть заданы заранее некоторые суммы текущих и капитальных затрат по годам C_t и K_t ($t = 1, 2, \dots, T$).

Например, в случае если имеется некоторый допустимый план развития моделируемых отраслей (предварительные наброски Госплана), эти суммы определяются из имеющегося допустимого плана. Функция, принимаемая в качестве целевой, есть суммарное отклонение (снижение) получаемых из плана текущих затрат от C_t . Если обозначить текущие затраты в год t , получающиеся при плане H , через $C_t(H)$ то функция может иметь вид $\sum_t (1 + \rho)^{-t} (C_t - C_t(H))$. Ограничения по капиталовложениям либо принимаются равными K_t ($t = 1, \dots, T$), либо $K_t + C_t - C_t(H)$. В последнем случае принимается, что если достигнута в некоторый год t экономия в текущих затратах по сравнению с начальным вариантом в размере $C_t - C_t(H)$, то эта экономия может быть использована в качестве капиталовложений. В оптимальном плане величина $\sum_t (1 + \rho)^{-t} (C_t - C_t(H))$ принимает максимальное значение. Возможны некоторые вариации в последнем критерии. Например, можно считать оптимальным планом тот, в котором достигает максимума $C_T - C_T(H)$ или $\sum_{t=t_1}^T (1 + \rho)^{-t} (C_t - C_t(H))$, где $t_1 > 1$ при дополнительных ограничениях, что $C_t(H) \leq C_t$ для всех t . Более подробное обоснование и обсуждение критериев оптимальности для частных народно-хозяйственных моделей мы здесь опускаем.

Теперь несколько слов о расширении динамической модели энергетики и топливной промышленности. Техника этого расширения частично уже использовалась выше при описании разных вариантов определения выходных ингредиентов.

Основной прием при расширении модели состоит в замене способов потребления более развернутым описанием способов производства той отрасли, которая присоединяется к модели.

Действительно, отрасль, потребляющая энергетические продукты, представлена в первоначальной топливно-энергетической модели способами потребления, т. е. способами, затрачивающими продукты энергетических отраслей и выпускающими свою продукцию, продукцию данной отрасли. Текущие и капитальные затраты в способах потребления указаны только в той части, которая непосредственно связана с потреблением энергетических продуктов. Впрочем, для некоторых способов даются затраты и неэнергетического происхождения — в частности, не только в той части, в которой они варьируются в зависимости от формы энергопотребления; затраты, непосредственно не связанные с энергопотреблением, указываются для потребителей, у которых имеется возможность подсчитать внеэнергетический эффект или потери от использования того или иного энергопродукта. Выпуск продукции, получаемой с помощью способа потребления, был строго задан во всех районах и на все периоды времени. Ясно теперь, что для присоединения модели некоторой энергопотребляющей отрасли к модели энергетики и топливной промышленности надо описанные способы потребления заменить способами производства и в наиболее простом случае вместо объема производства продукции присоединяемой отрасли по районам указать размеры порайонной потребности в этой продукции отраслей народного хозяйства, не принадлежащих модели. И этом случае учитывается и возможность вариации в способах и объемах производства присоединяемой отрасли. Способы производства присоединяе-

мой отрасли отличаются от соответствующих способов потребления прежде всего тем, что в них указаны полные затраты на производство продукции, а не только те, которые непосредственно связаны с энергопотреблением.

Часть затрат, которая ранее указывалась в числе прочих в денежном выражении, может теперь показываться отдельно в натуральном выражении. Таким образом, номенклатура входных ингредиентов расширенной модели более разнообразна. В связи с этим претерпевают изменения и технологические способы энергетики и топливной промышленности. Затраты в них показываются более детально в соответствии с новой номенклатурой входных ингредиентов. Кроме того, естественно, что затраты продукции присоединяемой отрасли показываются отдельно в натуральном выражении.

Разумно начинать расширение модели энергетических отраслей с присоединения наиболее энергоемких производств, прежде всего некоторых отраслей цветной и черной металлургии (производство алюминия, электростали, доменное производство и т. д.).

Присоединение алюминиевого производства к описанной динамической модели энергетики и топливной промышленности усложнит последнюю несущественно. В себестоимости алюминия затраты электроэнергии составляют подавляющую часть, так что другие затраты можно считать в целом в денежном выражении. Само производство алюминия даст мало побочных продуктов, поэтому количество ингредиентов в расширенной модели почти не увеличится. Так что вся дополнительная информация будет состоять в указании вариантов строительства и размещения алюминиевых заводов, вариантов использования существующих заводов и определения потребности в алюминии. Варианты отличаются друг от друга в основном текущими и капитальными затратами в денежном приращении. Дальнейшее усложнение модели состоит в учете потребительского эффекта, т. е., как и в случае потребления энергетических продуктов, вводятся способы потребления алюминия, в которых указывается, например, эффект или потери от использования алюминия взамен других продуктов.

Все дальнейшее изложение посвящено более подробному обсуждению пути «сверху» построения оптимальной динамической народно-хозяйственной модели.

Будем предполагать, что технологическая матрица рассматриваемой модели записана в форме (1.4), т. е. матрицы A и B не зависят от времени. Это означает, что технологические способы и ингредиенты, относящиеся к одному временному интервалу, остаются неизменными на протяжении всего планового периода. Третье преобразование позволяет утверждать, что к форме (1.4) можно привести любую технологическую матрицу динамической задачи линейного программирования. Поэтому допущение постоянства матриц A и B во все периоды времени не является сужением класса рассматриваемых динамических моделей. К примеру, если некоторый технологический способ может использоваться только начиная с некоторого периода $t > 1$, то в представлении матрицы (1.4) ему соответствует особый ингредиент, который он затрачивает. Ограничения по этому ингредиенту равны нулю во все периоды времени, если они меньше t .

Введем новые понятия.

I. Состоянием модели в период t будем называть вектор $X(t)$ количеств всех ингредиентов модели, имеющих к началу периода t .

II. Пусть $Y = (Y(1), Y(2), \dots, Y(T), Y(T+1))$ — вектор ограничений для матрицы (1.4) модели, $Y(t)$ — вектор количеств ингредиентов, поступающих в систему или изымаемых из нее в начале периода t . $Y(1) = X(1)$. Будем называть $Y(t)$ внешним вектором, или «нагрузкой» в период t .

III. $H(t) = (h^1(t), \dots, h^Y(t))$ — вектор интенсивностей технологических способов в период t , называемый планом модели в период t .

IV. Связь между $H(t)$ и $X(t+1)$ дается соотношением $X(t+1) = BH(t) + Y(t+1)$.

V. $H(t)$ называется допустимым планом, если $AH(t) \leq X(t)$.

VI. $\bar{H} = (\bar{H}(1), \dots, \bar{H}(T))$ называется оптимальным планом модели, если он является решением задачи линейного программирования с матрицей (1.4), ограничениями Y и некоторым за-

данным ассортиментным набором в период T в качестве оптимизируемой функции (может быть и другой критерий оптимальности).

VII. Вектор объективно обусловленных оценок ингредиентов, соответствующий оптимальному плану, будем обозначать через $\pi = (\pi(1), \dots, \pi(T + 1))$.

VIII. Технологический (натуральный) темп роста модели $\alpha(t)$ при оптимальном плане в период времени t определяется так:

$$\alpha(t) = \frac{(X(t+1), \pi(t))}{(X(t), \pi(t))}, \quad (1.5)$$

где (x, y) — обозначение скалярного произведения векторов x и y .

IX. Экономический темп роста модели $\beta(t)$ при оптимальном плане в момент t

$$\beta(t) = \frac{(X(t+1), \pi(t))}{(X(t+1), \pi(t+1))}. \quad (1.6)$$

Другими словами, $\alpha(t)$ есть средневзвешенный по объективно обусловленным оценкам темп роста накопления ингредиентов, $\beta(t)$ — средневзвешенный по количествам ингредиентов темп снижения оценок.

X. Будем называть модель замкнутой в первом смысле, если $Y(t) = 0$ для всех $t = 2, \dots, T$. Другими словами, все, что модель потребляет, она и производит. Условие замкнутости в первом смысле, вообще говоря, нереально экономически применительно к модели большой экономической системы (народного хозяйства), т. к. воспроизводство некоторых факторов (труд, природные ресурсы) не может быть удовлетворительно описано линейными технологическими способами. Такими способами можно описать создание рабочей силы определенной квалификации из рабочей силы низшей квалификации, но нельзя описать создание трудовых ресурсов вообще.

Однако условие замкнутости в первом смысле присутствует в некоторых моделях экономических систем, в частности в модели Дж. Неймана (*J. von Neumann*), поэтому в целях сравнения нашей модели с неймановской мы рассматриваем это условие, тем более что в некоторых частных экономических ситуациях это условие соблюдено.

Замкнутость модели во втором смысле понимается обычным образом, как это часто употребляется в экономической науке, т. е. модель замкнута тогда, когда она не имеет связей с остальным «внешним миром». Величина импорта и экспорта во все периоды времени равна нулю.

Можно называть еще несколько условно замкнутость в первом смысле математической замкнутостью, поскольку она формулируется как чисто математическое требование (равенство нулю вектора ограничений), а замкнутость во втором смысле — экономической замкнутостью, поскольку она формулируется содержательно экономически. Ведь с математической точки зрения безразлично, откуда поступает в систему некоторый продукт: либо извне — как импорт, либо изнутри — как не воспроизводимый технологическими способами. С экономической же точки зрения здесь существенная разница.

Учитывая определение замкнутости в двух смыслах, легко понять, что $\alpha(t)$ и $\beta(t)$ недостаточно полно характеризуют возможности развития динамической модели. $\alpha(t)$ показывает фактический темп роста модели, однако из него не видно, какими внутренними возможностями развития обладает сама модель, так как $\alpha(t)$ сильно зависит от «нагрузки» $Y(t)$. Поэтому мы введем еще дополнительные показатели темпа роста.

Пусть $Y(t) = Y(t) + Y'(t)$, где $Y'(t)$ — вектор ресурсов и конечного потребления, $Y''(t)$ — вектор сальдо экспорта и импорта.

$$\alpha'(t) = \frac{((X(t+1) - Y(t+1)), \pi(t))}{(X(t), \pi(t))}, \quad (1.7)$$

$\alpha'(t)$ — собственно технологический темп роста, ибо $(X(t+1) - Y(t+1))$ есть количества продуктов, созданные в течение периода t технологическими способами.

$$\alpha''(t) = \frac{((X(t+1)-Y''(t+1)), \pi(t))}{(X(t), \pi(t))}, \quad (1.8)$$

$\alpha''(t)$ — внутренний технологический темп роста модели, т. е. не учитывающий влияния импорта и экспорта.

Легко установить соотношения между различными темпами роста при одном и том же плане в зависимости от величины вектора «нагрузки» $Y(t)$.

1. Неравенство $(Y(t+1), \pi(t)) > 0$ ($= 0, < 0$) влечет $\alpha(t) > \alpha'(t)$ ($=, <$).
2. Неравенство $(Y''(t+1), \pi(t)) > 0$ ($=, <$) влечет $\alpha(t) > \alpha''(t)$ ($=, <$).

Аналогично устанавливаются соотношения между $\alpha'(t)$ и $\alpha''(t)$ и между всеми тремя видами темпов роста модели.

Рассмотрим более тонкий вопрос о соотношении между $\alpha(t)$ и $\beta(t)$. Для этого предварительно установим такой факт: $(X(t), \pi(t)) = (X(t+1), \pi(t+1)) - (Y(t+1), \pi(t+1))$ $t = 1, 2, \dots, T-1$ (1.9).

Действительно, по теореме о характеристике оптимального плана имеем $(\pi(t)a^s) = (\pi(t+1)b^s)$ для всех $[s]$, участвующих в оптимальном плане в период времени t .

Отсюда

$$\left(\sum_s a^s h^s(t), \pi(t)\right) = \left(\sum_s b^s h^s(t), \pi(t+1)\right), \quad \text{а} \quad \sum_s a^s h^s(t) = X(t), \quad \sum_s b^s h^s(t) = X(t+1) - Y(t+1).$$

Вспомним теперь определения (1.5) и (1.6). Уравнение (1.6) можно, используя (1.9), переписать в таком виде:

$$\beta(t) = \frac{(X(t+1), \pi(t))}{(X(t), \pi(t)) + (Y(t+1), \pi(t+1))}.$$

Отсюда ясно, что если $(Y(t+1), \pi(t+1)) > 0$ ($=, <$), то $\alpha(t) > \beta(t)$ ($=, <$).

Далее мы выясним экономическую природу показателя $\beta(t)$. Определим в терминах нашей модели понятие нормы эффективности капитальных вложений. При этом мы будем исходить из следующего определения: норма эффективности капиталовложений ρ_t в период t показывает, какой относительный прирост обеспечивает достаточно малая сумма средств Z_t , добавленная в период t , при наиболее рациональном использовании ее к началу следующего $(t+1)$ -го периода. Иначе говоря, норма эффективности отражает эквивалентность суммы Z_t в период t с суммой $Z_t(1 + \rho_t)$ в период $(t+1)$. Посмотрим, что это означает в терминах нашей модели.

Z_t есть некоторый набор материальных благ в объективно обусловленных оценках $\pi(t)$, т. е. $Z_t = (\pi(t), X)$. Рациональное использование средств Z_t понимается в том смысле, что их надо затрачивать в технологических способах, участвующих в период t в оптимальном плане. Определим теперь увеличение средств X в натуральном выражении за период. Пусть для простоты $X = \lambda a^{s_0}$, где $[s_0]$ — некоторый способ, участвующий в оптимальном плане в период t . Тогда способ $[s_0]$ переработает набор X в течение одного временного интервала в набор Y , $Y = \lambda b^{s_0}$.

Следовательно, темп прироста при исчислении в ценах $\pi(t)$ будет равен

$$\frac{(\pi(t), Y) - (\pi(t), X)}{(\pi(t), X)}, \quad \text{или} \quad \frac{(b^{s_0}, \pi(t))}{(a^{s_0}, \pi(t))} - 1.$$

По теореме о характеристике оптимального плана $(a^{s_0}, \pi(t)) = (b^{s_0}, \pi(t+1))$, что как раз и отражает эквивалентность наборов a^{s_0} и b^{s_0} в смысле их влияния на оптимальный план.

Поэтому

$$\frac{(b^{s_0}, \pi(t))}{(a^{s_0}, \pi(t))} = \frac{(b^{s_0}, \pi(t))}{(b^{s_0}, \pi(t+1))} = \frac{(Y, \pi(t))}{(Y, \pi(t+1))}.$$

Итак, мы определили норму эффективности капиталовложений в период t , используя набор средств X или набор средств Y . Легко заметить, что если взять другой набор, то значение нормы эффективности может оказаться другим. Поэтому окончательно будем писать так:

$$\rho_t(X) = \frac{(X, \pi(t))}{(X, \pi(t+1))}.$$

Однако действующие цены даже в системе оптимального планирования не обязательно строить в соответствии с объективно обусловленными оценками. Во всяком случае, возможно, сохраняя их пропорциональность объективно обусловленным оценкам в пределах каждого периода, изменить их соотношения в разные периоды, осуществляя таким путем политику цен, снижение цен или некоторую инфляцию и т. д. Целесообразно поэтому дать способ исчисления нормы эффективности при наличии подобного рода изменений в масштабе цен, связанных с ценовой политикой.

Вообще объективно обусловленные оценки определяются с точностью до постоянного множителя. Масштаб объективно обусловленных оценок можно ввести и посредством некоторого положительного (временного) вектора $Z = (Z_1, \dots, Z_T)$, через который определяется затем норма эффективности капиталовложений.

Введем его следующим образом. Обозначим через $Z_t (t = 1, \dots, T)$ стоимость всех исходных средств к началу периода t , т. е. набора $X(t)$ в действующих ценах. Тогда вектор оценок $\pi = (\pi(1), \dots, \pi(T))$, определенный с точностью до множителя, окончательно нормируется из условия $(\pi(1), X(1)) = Z_1$.

Далее для остальных моментов заменим $\pi(t)$ на пропорциональный ему вектор $\pi(t)$, определенный из условий: $\pi(t) = \lambda_t \pi(t)$; $(\pi(t), X(t)) = Z_t$, откуда

$$\lambda_t = \frac{(\pi(t), X(t))}{Z_t}.$$

Таким образом, чтобы можно было пользоваться при расчете эффективности технологических способов оценками $\pi(t)$, их надо привести к объективно обусловленным оценкам с помощью коэффициентов λ_t . Отсюда легко вычислить значение нормы эффективности ϱ_t^Z , зависящей теперь уже не от произвольного набора благ x , а от масштабного вектора Z .

А именно, имеем $\lambda_{t+1} = (\varrho_1^Z + 1)(\varrho_2^Z + 1) \dots (\varrho_t^Z + 1)$.

Отсюда

$$\varrho_t^Z = \frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t} - 1.$$

Ясно, что для любого набора X найдется такой вектор Z , что $\varrho_t(X) = \varrho_t^Z$. Обратное, конечно, верно не всегда. Набор средств $X(t)$ замечателен не только тем, что он характеризует состояние модели в момент t , но и тем, что на нем достигается равенство $\varrho_{t-1}(X) = \beta(t-1)$.

Тем самым яснее становится смысл показателя экономического роста.

Укажем еще одно соотношение, связывающее норму эффективности капиталовложений с темпом роста модели: $\varrho_t(x(t+1) - Y(t+1)) = \alpha'(t)$.

Итак, мы ввели глобальные характеристики линейной динамической модели, которые описывают скорость роста системы и зависимость скорости от связи с «внешним миром» («нагрузки»).

Отметим еще связь введенных понятий с понятием прибыли. Пусть в нашей модели в качестве действующих цен взяты объективно обусловленные оценки, причем масштаб их установлен в соответствии с некоторым вектором $z = (z_1, \dots, z_T)$. Вычислим для какого-нибудь способа $[a^s, b^s]$ участвующего в оптимальном плане, его прибыль в период t : $[(b^s, \bar{\pi}(t+1)) - (a^s, \bar{\pi}(t))] \bar{x}^s(t)$, где $\bar{\pi}$ действующие цены, $\bar{x}^s(t)$ — интенсивность способа $[s]$ в оптимальном плане в период t . При этом норма прибыли равна $\frac{(b^s, \bar{\pi}(t+1))}{(a^s, \bar{\pi}(t))} - 1$, т. е. норма прибыли для любого способа, участвующего в оптимальном плане, в период t совпадает с нормой эффективности капиталовложений ϱ_t^Z .

Итак, в оптимальном плане норма прибыли для всех участников процесса производства одинакова. Более того, процесс нахождения оптимального плана (метод разрешающих множителей) заключается в уравнивании нормы прибыли у различных технологических способов (если имеется способ, для которого норма прибыли выше, чем у остальных, то, увеличивая интенсивность его применения, можно улучшить план). Поэтому в оптимальном плане действует закон, внешне аналогичный закону равной нормы прибыли. Более того, можно установить известное внешнее сходство объективно обусловленных оценок с ценами производства.

Рассмотрим соотношение объективно обусловленных оценок и цен производства более подробно.

Чтобы сопоставить цены производства с объективно обусловленными оценками, наиболее удобно рассмотреть динамическую модель несколько менее общую по сравнению с излагаемой. А именно, будем предполагать, что каждый текущий технологический способ выпускает только один продукт. Хотя исчисление объективно обусловленных оценок дает естественный и, по-видимому, единственно правильный способ установления цен на комплексную продукцию, мы оставляем этот вопрос в стороне как более частный.

Все технологические способы нашей упрощенной модели записаны в форме (1.4). Пусть мы имеем оптимальный план \bar{H} модели на период времени T . Рассмотрим часть этого плана $\bar{H}(t)$, относящуюся к одному интервалу планового периода t . Любой текущий технологический способ $[s]$, выпускающий продукт с номером 1, имеет вид:

$$a^{(s)} = (1 - a_{1,s}^t; -a_{2,s}^t; \dots, -a_{n_1,s}^t; -\omega_{n_1+1,s}^t \dots, -\omega_{n_2,s}^t; -b_{n_2+1,s}^t, \dots, -b_{n_3,s}^t; \\ -d_{n_3+1,s}^t \dots -d_{n_4,s}^t, \dots, b_{n_2+1,s}^{t+1}, \dots, b_{n_3,s}^{t+1}, d_{n_3+1,s}^{t+1}, \dots, d_{n_4,s}^{t+1} \dots),$$

где $a_{i,s}^t$ ($i = 1, \dots, n_1$) — текущие затраты продукта i для производства единицы продукта первым способом $[s]$; n_1 — число проектов; $\omega_{j,s}^t$ ($j = n_1 + 1, \dots, n_2$) — удельные затраты рабочей силы вида j в способе $[s]$; $(n_2 - n_1)$ — число видов рабочей силы; $b_{\kappa,s}^t$ ($\kappa = n_2 + 1, \dots, n_3$) — удельные затраты фондов вида κ в способе $[s]$; $(n_3 - n_2)$ — число видов фондов (основных и оборотных) с указанием степени их изношенности; $d_{l,s}^t$ ($l = n_3 + 1, \dots, n_4$) — удельные затраты земельных и других угодий вида l в способе $[s]$; $(n_4 - n_3)$ — число видов угодий (разделение по качеству и местоположению); $b_{\kappa,s}^{t+1}$ — количество фондов вида κ на единицу продукта 1, остающееся к началу следующего $(t+1)$ -го временного интервала после использования в способе $[s]$; $d_{l,s}^{t+1}$ угодий вида l на единицу продукта 1, остающееся к началу $(t+1)$ -го временного интервала после использования в способе $[s]$.

Содержательно технологический способ характеризует следующее.

Чтобы была произведена единица продукта 1, необходимо затраты, материалы в количествах $a_{i,s}^t$, рабочую силу в количествах $\omega_{j,s}^t$, располагать основными и оборотными фондами в количествах $b_{\kappa,s}^t$ и земельными угодьями в количествах $d_{l,s}^t$.

Фонды, земельные и другие угодья не затрачиваются полностью в технологическом процессе — они как бы присутствуют в нем, подобно катализатору в химической реакции. Однако $b_{\kappa,s}^t$ и $b_{\kappa,s}^{t+1}$, а также $d_{l,s}^t$ и $d_{l,s}^{t+1}$, и могут не совпадать между собой. Это происходит в силу того, что фонды и природные ресурсы изменяют свои качества в результате применения способа $[s]$. Фонды, в частности, изнашиваются.

Предположим, что способ $a^{(s)}$ используется в оптимальном плане. Тогда по теореме о характеристике оптимального плана $(a^{(s)}, \pi) = 0$. Запишем это уравнение в развернутом виде:

$$\pi_1(t) = \sum_{i=1}^{n_1} a_{i,s}^t \pi_i(t) + \sum_{j=n_1+1}^{n_2} \omega_{j,s}^t \pi_j(t) + \\ + \sum_{k=n_2+1}^{n_3} (b_{\kappa,s}^t - b_{\kappa,s}^{t+1}) \pi_k(t+1) + \sum_{l=n_3+1}^{l=n_4} (d_{l,s}^t - d_{l,s}^{t+1}) \pi_l(t+1) + \\ + \sum_{k=n_2+1}^{n_3} b_{\kappa,s}^t (\pi_k(t) - \pi_k(t+1)) + \sum_{l=n_3+1}^{l=n_4} (b_{l,s}^t (\pi_l(t) - \pi_l(t+1))). \quad (1.10)$$

В правой части уравнения (1.10) первая сумма есть объективно обусловленная оценка затраченных материалов, вторая сумма — объективно обусловленная оценка использованного труда,

третья сумма есть износ фондов, исчисленный в объективно обусловленных оценках следующего периода, четвертая сумма — потери из-за изменения (ухудшения) качества использованных природных ресурсов, исчисленные в объективно обусловленных оценках следующего периода. Таким образом, первые четыре слагаемых дают себестоимость единицы продукта 1. Причем третье слагаемое представляет собой амортизацию, т. е. затраты, связанные с износом (выбытием) фондов в течение периода t . Этот износ, однако, исчисляется в объективно обусловленных оценках следующего, $(t + 1)$ -го периода, поскольку фонды до использования в способе $[s]$ и после использования в этом способе сравниваются в начале $(t + 1)$ -го периода. Ущерб от износа проявляется только с $(t + 1)$ -го периода времени. Последнее, четвертое слагаемое в себестоимости почти никогда в обычных расчетах не учитывается, хотя необходимость его учета обоснована так же, как и учета амортизации.

Следует заметить, что возможны случаи, когда это четвертое слагаемое отрицательно, т. е. качество природных ресурсов от использования в способе $[s]$ улучшается. Например, качество земли улучшается после посева некоторых культур. Поэтому себестоимость этих культур в действительности будет ниже себестоимости, рассчитанной обычным способом.

Перейдем к оставшимся составляющим объективно обусловленной оценки продукта, т. е. составляющим, отражающим учет фактора времени и ограниченности природных ресурсов. Предпоследняя сумма правой части уравнения (1.10) есть прокатная оценка основных и оборотных фондов, последняя сумма — дифференциальная рента за использование природных ресурсов.

Выражение

$$\sum_{k=n_2+1}^{n_3} b_{k,s}^t (\pi_k(t) - \pi_k(t+1))$$

означает, что прокатная оценка фондов представляет собой некоторую долю этих фондов. Эта доля равна снижению оценки фондов с учетом фактора времени в течение единичного периода времени $b_{k,s}^t (\pi_k(t) - \pi_k(t+1)) = \rho_t(0, \dots, b_{k,s}^t, 0, \dots, 0) \times b_{k,s}^t \pi_k(t+1)$ где ρ_t — норма народнохозяйственной эффективности, для которой в качестве единицы измерения взяты фонды вида $[k]$.

Сопоставим теперь уравнение (1.10) определения объективно обусловленной оценки продукта 1 с формулой цены производства. Формула, определяющая цену производства, имеет вид

$$z_1 = \sum_{i=1}^{n_1} a_{i,s}^t z_i + \sum_{j=n_1+1}^{n_2} \omega_{j,s}^t z_j + \sum_{k'} \frac{b_{k',s}^t z_{k'}}{T_{k'}} + \eta \sum_k b_{k,s}^t z_k + \sum_l d_{l,s}^t z_l, \quad (1.11)$$

где индекс k' пробегает только виды основных фондов; η — единая норма прибыли; z_i — цена продукта i ; z_j — размер оплаты труда вида j ; z_k — цена единицы фондов вида k' ; $T_{k'}$ — срок службы фондов вида k' ; Z_l — дифференциальная (плюс абсолютная) рента на природные ресурсы вида l .

Мы не будем останавливаться здесь на обсуждении возможности расчета цен $z_j z_k$ и z_b , а также η в рамках концепции цен производства. Выясним лишь различие между объективно обусловленными оценками и ценами производства, проистекающими из того факта, что при исчислении цен производства доля цены фондов, входящая в цену производства, неизменна и не зависит от индивидуальности фондов. Из уравнения (1.10) видно, что в объективно обусловленной оценке продукта доля объективно обусловленной оценки фондов варьируется в зависимости от структуры фондов. Именно эта доля определяется тем, насколько быстро обесценивается данный вид фондов. Экономически совершенно бесспорно, что все виды фондов не могут обесцениваться одинаково.

Например, для фондов, создание которых связано с большими затратами труда, оценка снижается медленнее, чем для фондов с меньшими относительными затратами труда на их создание. Медленно снижается также оценка фондов, в состав которых входят продукты ограниченных природных источников и т. д.

Поэтому в производствах, использующих трудоемкие фонды, цена производства будет выше объективно обусловленной оценки — при условии, конечно, что остальные элементы цены опре-

делены примерно одинаково. В производствах с капиталоемкими фондами произойдет обратное. Это положение о различии цен производства и объективно обусловленных оценок в зависимости от структуры фондов особенно наглядно, если перейти от уравнений (1.10) и (1.11) к эквивалентным им уравнениям, характеризующим полные затраты труда на единицу производимого продукта.

Для простоты, чтобы не рассматривать проблему редукции труда, предположим, что имеется всего один вид труда ω и, чтобы не касаться амортизации, что фонды не изнашиваются. Кроме того, не умаляя общности, можно считать, что в оптимальном плане из рассматриваемого периода t каждый продукт выпускается одним способом.

Обозначим матрицу прямых затрат продуктов в этих способах $\|a_i^t\|$ через A .

$\pi(t) = (\pi_1(t), \dots, \pi_{n_1}(t))$ — оценки продуктов;

$W = (\omega_1, \dots, \omega_{n_1})$;

$d = (d_1, \dots, d_{n_1})$ — вектор удельных дифференциальных рент;

$b_k = (b_{k,1}, \dots, b_{k,n_1})$ — вектор удельных затрат фондов вида k ;

$\varrho_t(0, \dots, b_{k,s}, \dots, 0) = \varrho_t^k$;

$$\pi(t) = (E - A)^{-1}\omega + \sum_k \varrho_t^k b_k \pi_{n_2+k}(t+1) + d. \quad (1.12)$$

Из формулы (1.12) видно, что объективно обусловленная оценка продукта складывается из полных текущих затрат труда на его изготовление, некоторой доли фондов и дифференциальной ренты. Эти рассуждения, примененные к фондам, показывают, что $\pi_{n_2+k}(t+1)$ складывается из полных затрат труда на создание фондов вида k (оценки фондов) и дифференциальной ренты. Поэтому $\pi_i(t)$ есть полные затраты труда плюс дифференциальная рента, если таковая имеется. $z = (z_1, \dots, z_{n_1})$ получается из соотношения

$$z = (E - A)^{-1}\omega + \eta \sum_k z_k b_k + d.$$

Таким образом, если в объективно обусловленной оценке полные затраты труда на создание фондов участвуют в разной доле в зависимости от их структуры, то в цене производства доля полных затрат труда одинакова для всех видов фондов.

Вывод относительно рассмотренной части соотношения между объективно обусловленными оценками и ценами производства должен быть таков. В ценах производства дополнительные затраты распределены в соответствии с размерами основных и оборотных фондов, т. е. независимо от размера затрат живого труда.

В объективно обусловленных оценках дополнительные затраты распределены не только в зависимости от размера фондов, создающих продукцию, но и в зависимости от размера фондов, создающих первые фонды, и т. д., и притом с учетом структуры этих фондов и дифференциации нормы эффективности. Полностью эту зависимость проследить довольно трудно. Фигурально выражаясь, можно сказать, что в ценах производства дополнительные затраты распределены в соответствии с «прямыми» затратами фондов, а в объективно обусловленных оценках — в соответствии с «полными» затратами фондов и их структурой. Еще раз заметим, что это лишь одно из отличий объективно обусловленных оценок от цен производства, хотя последние ближе к объективно обусловленным оценкам, чем другие стоимостные образования. Достаточно сказать, что такие проблемы, как установление цен на новую продукцию, исчисление ренты, амортизации, цен на фонды как на продукты, создаваемые в течение длительного интервала времени, цен на сопряженную продукцию, решаются в рамках концепции цен производства неудовлетворительно.

Наконец, заметим, что имеется случай специфических условий, которые в действительности, вообще говоря, никогда не реализуются, когда цены производства совпадают с объективно обусловленными оценками. Эти условия таковы: 1) номенклатура ингредиентов и технологических способов неизменна относительно времени; 2) модель либо математически замкнута, либо

темпа роста «нагрузки» совпадает с технологическим темпом роста системы; 3) модель находится в оптимальном, по Нейману, состоянии равновесия⁸⁰.

Опыт разработки в ЦЭМИ АН СССР системы оптимального функционирования экономики как универсального инструмента оптимального функционирования экономики нашел свое продолжение в разработке в ЦЭМИ РАН методов имитационного моделирования децентрализованных, сетевых и полицентрических систем с помощью агент-ориентированных моделей в условиях трансформационного развития квазирыночных систем.

1.3. Уроки построения больших автоматизированных систем для целей управления экономикой: Общегосударственная автоматизированная система учета и обработки информации (ОГАС) и Единая государственная сеть вычислительных центров (ЕГСВЦ) в СССР

В современных условиях, по мнению ученых ЦЭМИ РАН, концептуальной основой антикризисной экономической политики в нашей стране должна стать архитектура цифровой инфраструктуры экономики, включающая в себя методологию использования цифровых технологий, в т. ч. общие архитектурные принципы и систему стандартов, что гарантирует полноценное информационное обеспечение управленческих основ стабилизации в экономических механизмах России.

В нашей стране имеется большой опыт разработки таких систем. Как описано в книге «Пионеры цифровизации», работы над созданием электронных счетных машин велись в СССР с 1948 г., а в 1950 г. заработала первая советская ЭВМ МЭСМ.

В 1955 г. создатель ЭВМ серии «М» И. С. Брук в журнале «Природа» опубликовал статью «Об управляющих машинах», где поставил вопрос о передаче ЭВМ функций управления технологическими процессами, а также кратко отметил потенциал машин для разгрузки человека от рутинных операций: подготовки документов, учета, составления сводок. В октябре 1956 г. на пленарном заседании АН СССР он предложил создать иерархическую сеть управляющих машин для сбора, передачи и обработки экономических данных и для содействия принятию решений путем компьютерного моделирования. В 1958 г. под руководством Брука была разработана проблемная записка «Разработка теории, принципов построения и применения специализированных вычислительных и управляющих машин», в которой обосновывалась необходимость использования вычислительных машин для управления экономикой, включая расчет межотраслевых балансов, оптимальных перевозок и ценообразования⁸¹.

Инженер-полковник А. И. Китов⁸² разработал собственный план создания общенациональной компьютерной сети в СССР. В мае 1954 г. он возглавил созданный им головной вычислительный центр Министерства обороны СССР (ВЦ № 1 МО СССР), а в 1958 г. выпустил брошюру «Электронные вычислительные машины», где изложил программу автоматизации обработки информации и административного управления путем создания сети вычислительных центров по всей стране⁸³. Китов писал о насущной необходимости создания в стране множества вычислительных центров (ВЦ) для осуществления на них производственных, экономических и плановых расчетов. Он подчеркивал: «Наличие Единой сети информационных и вычислительных машин позволит быстро и оперативно собирать и обрабатывать необходимые статистические сведения о состоянии отдельных предприятий, наличии материалов, денежных средств, рабочей силы и т. д. и оперативно использовать результаты обработки для планирования и руковод-

⁸⁰ Канторович Л. В., Макаров В. Л. Оптимальные модели перспективного планирования / Применение математики в экономических исследованиях. М.: Мысль, 1965. Т. 3. С. 7–86.

⁸¹ Пионеры цифровизации / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. https://ac.gov.ru/uploads/pdf/About_Documents_01/60_let_web.pdf.

⁸² Доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, инженер-полковник Анатолий Иванович Китов (1920–2005) в 1954 г. создал и возглавил первый советский вычислительный центр (ВЦ-1 Министерства обороны СССР), где были выполнены баллистические расчеты запусков всех первых спутников и первых четырех пилотируемых космических полетов. В ВЦ-1 была разработана ЭВМ «М-100», в то время самая быстродействующая в СССР. А. И. Китов известен также своей настойчивой деятельностью по реабилитации кибернетики: в 1954 г. выступлением на заседании Московского математического семинара и в 1955 г. публикацией в соавторстве с А. А. Ляпуновым и С. Л. Соболевым первой позитивной статьи о кибернетике в СССР.

⁸³ Китов А. И. Электронные цифровые машины. М.: Советское радио, 1956.

ства хозяйством». В перспективе все вычислительные центры страны должны быть объединены в Единую государственную сеть вычислительных центров⁸⁴.

Убежденный сторонник полномасштабного применения ЭВМ для решения многочисленных задач национальной экономики СССР, А. И. Китов 7 января 1959 г. обратился с письмом в ЦК КПСС на имя Н. С. Хрущева. В этом письме он говорил высшему руководству страны о необходимости коренной перестройки всей системы управления экономикой СССР за счет замены существующего в стране административно-командного стиля руководства на научный, базирующийся на масштабном применении во всех регионах страны экономико-математических методов и ЭВМ, поэтапно объединяемых в ЕГСВЦ. Предложение А. И. Китова о необходимости создания ЕГСВЦ — глобальной компьютерной сети всей страны (прообраза современного Интернета) — было первым в мире. Рассмотрение этого письма Н. С. Хрущев поручил Л. И. Брежневу, который благосклонно отнесся к предложениям А. И. Китова и создал для его подробного анализа правительственную комиссию, которую возглавил знаменитый кибернетик А. И. Берг. Данной комиссией все предложения письма Китова были одобрены. Почти все они были также одобрены и руководителями СССР, но за исключением самого главного предложения — предложения создать в СССР для решения задач национальной экономики в масштабах всей страны ЕГСВЦ⁸⁵.

**...отдельные вычислительные центры должны быть связаны
в единую систему автоматической информационной и
вычислительной службы, которая будет обеспечивать нужды всех учреждений
и организаций в необходимой научной,
технической, экономической и другой информации
и выполнение вычислительных работ...
Помимо вычислительных машин, важное значение
в создании такой системы будут играть автоматизированные
линии связи нового типа, использующие телефонную,
телеграфную, радиотехническую, телевизионную и другую аппаратуру.
А. И. Китов (1958)⁸⁶**

В тот же год (осенью 1959 г.) А. И. Китов направили Н. С. Хрущеву второе письмо, которое содержало 200-страничный проект «Создание национальной сети вычислительных центров для совершенствования управления народным хозяйством и Вооруженными Силами». Он также известен как проект «Красная книга». Как пишут по этому поводу, О. В. Китова и В. А. Китов, в этом проекте содержались предложения и описания задач и структуры Единой государственной сети вычислительных центров «двойного назначения». Двойное назначение подразумевало создание на всей территории Советского Союза ЕГСВЦ для централизованного управления национальной экономикой в мирное время и вооруженными силами страны в случае возникновения «особого периода». Предложение двойного назначения было выдвинуто Китовым в целях существенной экономии средств при создании этой глобальной сетевой компьютерной системы автоматизированного управления на всех государственных уровнях (от отдельных предприятий до Правительства СССР). Проект руководством СССР принят не был. Более того, за критику Министерства обороны СССР автор проекта «Красная книга» А. И. Китов был исключен из членов Коммунистической партии, что автоматически влекло за собой увольнение с престижной должности научного руководителя ВЦ № 1 МО СССР⁸⁷.

⁸⁴ Китова О. В., Китов В. А. Они были первыми — основополагающий вклад в отечественную цифровую экономику А. И. Китова и В. М. Глушкова // Цифровая экономика. 2019. № 1. С. 5–16.

⁸⁵ Китова О. В., Китов В. А. Они были первыми — основополагающий вклад в отечественную цифровую экономику А. И. Китова и В. М. Глушкова // Цифровая экономика. 2019. № 1. С. 5–16.

⁸⁶ Китов А. И. Электронные вычислительные машины. М.: Знание, 1958. С. 24–25.

⁸⁷ Китова О. В., Китов В. А. Они были первыми — основополагающий вклад в отечественную цифровую экономику А. И. Китова и В. М. Глушкова // Цифровая экономика. 2019. № 1. С. 5–16.

1 октября 1959 г. председателем Госплана СССР А. Н. Косыгиным был подписан приказ № 597 о создании Вычислительного центра при Госплане СССР «в целях использования электронно-вычислительной техники для выполнения планово-экономических работ».

Первой задачей ВЦ были расчеты межотраслевого баланса. В книге «Пионеры цифровизации» описано, как в ноябре 1959 г. правительство поручило Центральному статистическому управлению (ЦСУ) и Госплану СССР организовать работы по составлению межотраслевого баланса производства и распределения продукции в народном хозяйстве СССР. ЦСУ должно было взять на себя составление отчетного, а Госплан — планового баланса. Эту задачу Госплан перепоручил Научно-исследовательскому экономическому институту и ВЦ Госплана⁸⁸.

В 1963 г. было принято решение о реорганизации ВЦ в ГВЦ Госплана СССР, что делало его центральным звеном комплекса работ. ГВЦ Госплана СССР поручалась разработка «единой системы планирования, учета и оперативного управления народным хозяйством на основе применения математических методов и вычислительной техники». Одновременно устанавливался ряд заданий множеству организаций по разработке новых типов ЭВМ, автоматизированных систем обработки информации и внедрению их во все отрасли народного хозяйства, подготовке специалистов и т. п.⁸⁹

Для обеспечения разработки методологии моделирования советской экономики в 1963 г. был создан Центральный экономико-математический институт АН СССР.

С целью развертывания исследований по разработке научных основ планирования и организации общественного производства, создания АСУ народным хозяйством на основе применения ЭВТ, разработки методов обоснования долгосрочных экономических решений и др. не только в центре, но и на местах в составе института постановлением Президиума АН СССР по согласованию с соответствующими государственными органами были созданы:

- в 1964 г. — Эстонский филиал ЦЭМИ АН СССР в городе Таллине на базе Отдела разработки автоматизированных систем планирования и управления хозяйством республики;
- в 1966 г. — Ленинградское отделение ЦЭМИ АН СССР на базе ВЦ Ленинградского отделения Математического института АН СССР (ныне Санкт-Петербургский экономико-математический институт РАН);
- в 1968 г. — Краснодарский сектор социологических исследований ЦЭМИ АН СССР.

С течением времени внутри ЦЭМИ АН СССР сформировались научные коллективы, которые впоследствии выделились в качестве самостоятельных структурных образований Российской академии наук и высшей школы:

- в 1966 г. — Отделение автоматизированных процессов управления материально-техническим снабжением народного хозяйства ЦЭМИ АН СССР при Госкомитете Совета Министров СССР по материально-техническому снабжению;
- в 1986 г. — Институт экономики и прогнозирования научно-технического прогресса АН СССР (ныне Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН);
- в 1988 г. — Институт социально-экономических проблем народонаселения АН СССР (ныне Институт социально-экономических проблем народонаселения РАН);
- в 1990 г. — Институт проблем рынка АН СССР (ныне Институт проблем рынка РАН)⁹⁰.

В 1962 г. по заданию А. Н. Косыгина (тогда первого заместителя Председателя Совета Министров СССР) академик В. М. Глушков начал разработку проекта, который позже получил название Общегосударственной автоматизированной системы сбора и обработки информации для учета, планирования и управления народным хозяйством⁹¹ (рисунок 1.1).

⁸⁸ Пионеры цифровизации / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. https://ac.gov.ru/uploads/pdf/About_Documents_01/60_let_web.pdf.

⁸⁹ Сафронов А. В. Мираж оптимальности: внедрение математических методов в экономику как ответ на проблемы реформы управления промышленностью 1957 г. // Экономическая история. 2016. № 1. С. 76–86.

⁹⁰ Как создавался ЦЭМИ. http://www.cemi.rssi.ru/about/how/?section=about_link.

⁹¹ Глушков В. М. Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС. М.: Статистика, 1975.

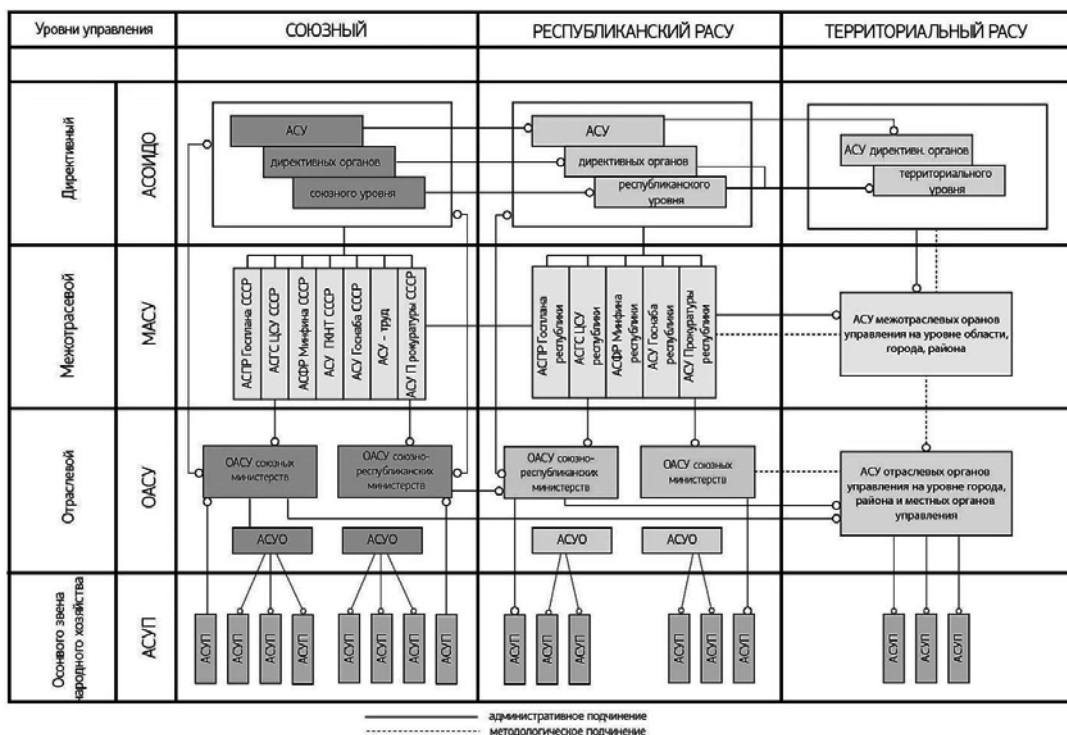


Рисунок 1.1. Функциональная структура ОГАС⁹²

В сентябре 1964 г. специально созданной межведомственной комиссией, состоящей из 24 известных в стране IT-специалистов (В. М. Глушков — председатель комиссии, А. И. Китов, В. С. Михалевич, А. А. Стогний, Н. П. Бусленко, Н. И. Ковалев, В. В. Александров и др.), был подготовлен предэскизный проект Единой государственной сети вычислительных центров. Этот предэскизный проект ЕГСВЦ предполагал создать в стране порядка 100 базовых ВЦ в крупных промышленных городах и центральных экономических региональных субъектах, объединив их широкополосными каналами связи (рисунок 1.2).

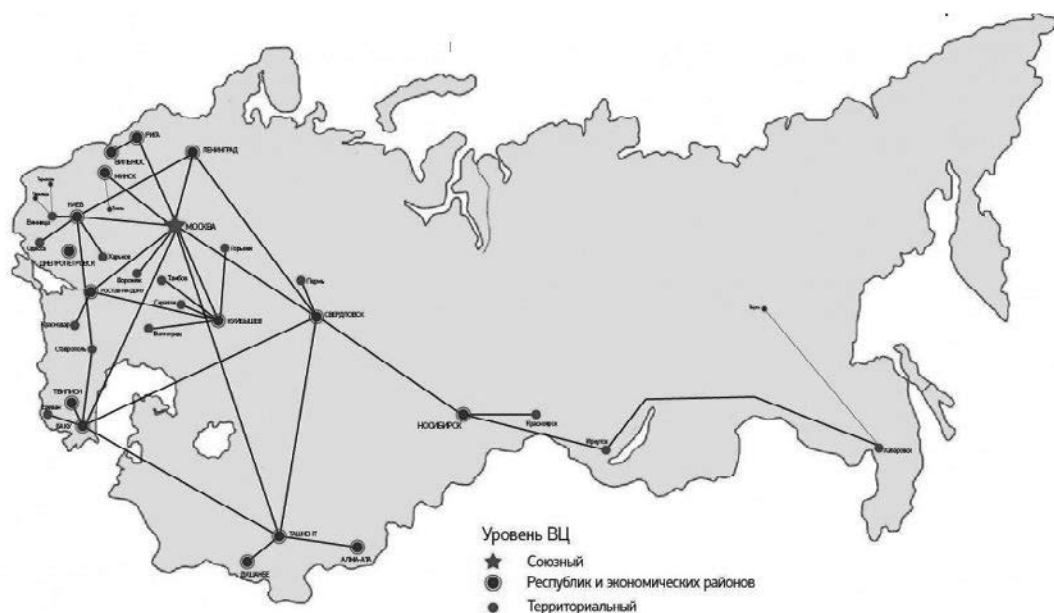


Рисунок 1.2. Схема размещения базовых центров ГСВЦ и связей между ними к 1990 г.

⁹² Михеев Ю. А., Лисицин В. Г. Эскизный проект. Сводный том. Общегосударственная автоматизированная система сбора и обработки информации для учета, планирования и управления народным хозяйством (ОГАС) // Государственный комитет СССР по науке и технике. Всесоюзный научно-исследовательский институт проблем организации и управления. Гос. рег. № 75052902.

Эти 100 базовых ВЦ, распределенных по территории всей страны, в свою очередь, должны были быть объединены с более мелкими ВЦ (порядка 20 тыс.), назначением которых должна быть обработка экономической информации на местах. Т. е. в сетевой структуре ЕГСВЦ комиссией В. М. Глушкова предлагалось объединить ВЦ совнархозов и крупных предприятий, а также кустовые центры, призванные обслуживать небольшие предприятия. Данный предэскизный проект ЕГСВЦ в высших государственных инстанциях из-за снятия 14 октября 1964 г. руководителя СССР Н. С. Хрущева и последовавших за этим принципиальных изменений в структуре хозяйственного управления страны так нигде и не докладывался и потому не был принят к дальнейшему развитию⁹³.

Между тем позднее стало известно, что «американцы еще в 1966 г. сделали эскизный проект информационной сети» и на 1969 г. запланировали «пуск сети АРПАНЕТ» — предшественника Интернета. Это резко подстегнуло усилия СССР в этом направлении.

Во время прошедшего в марте 1964 г. экономического совещания, материалы которого были изданы книгой «Экономисты и математики за круглым столом», заместитель директора ЦЭМИ АН СССР Ю. А. Олейник говорил, что «основной целью развития и применения экономико-математических методов должно быть построение Единой государственной системы оптимального планирования и управления народным хозяйством (ЕГСПУ) на базе автоматизированной системы сбора, передачи и переработки экономической информации». Он прямо указал, что рассматривает ЕГСВЦ как техническую базу ЕГСПУ, а ЕГСПУ — как новую систему управления, к которой надо будет перейти от существующей системы руководства хозяйством⁹⁴.

К началу 1968 г. были созданы автоматизированные подсистемы баланса денежных доходов и расходов населения, баланса кормов, производства и использования общественного продукта и национального дохода, баланса трудовых ресурсов, объема продукции связи и т. д. К концу 1968 г. функционировало 15 подсистем плановых расчетов. Кроме того, началось тестирование системы электронного документооборота, следящей за выполнением поручений Совета Министров СССР и руководства Госплана СССР.

У проекта было немало противников как в СССР, так и за рубежом. Например, на страницах «Вашингтон пост» тогда появилась статья украинского эмигранта Виктора Зорзы⁹⁵ «Перфокарта управляет Кремлем», в которой говорилось: «Царь советской кибернетики академик В. М. Глушков предлагает заменить кремлевских руководителей вычислительными машинами»⁹⁶. Статья была четко ориентирована на компрометацию проектов Глушкова в глазах высшего партийного руководства. Была запущена целая информационная кампания в западных СМИ. В военных и разведывательных структурах стран НАТО были серьезно озабочены тем, что СССР по этой теме обгонит страны Запада.

Сейчас западные специалисты по-разному оценивают этот проект, в том числе и положительно. Например, Бенджамин Петерс в книге «Как в Советском Союзе изобрели Интернет и почему он не заработал» (“How not to network a nation: The Uneasy History of the Soviet Internet” (MIT Press, 2016) написал: *«Идея Глушкова состояла в том, чтобы дать старт эре электронного социализма... Глушков стремился упорядочить и технологически модернизировать всю плановую экономику. Эта система будет по-прежнему принимать экономические решения на основе Госплана, но быстрее благодаря компьютерному моделированию и прогнозированию равновесия — до того, как оно возникнет... Сеть была смоделирована по образу иерархической трехуровневой пирамидальной структуры государства и экономики: один главный*

⁹³ Китова О. В., Китов В. А. Они были первыми — основополагающий вклад в отечественную цифровую экономику А. И. Китова и В. М. Глушкова // Цифровая экономика. 2019. № 1. С. 5–16.

⁹⁴ Экономисты и математики за круглым столом / Под ред. Ю. Давыдова и Л. Лопатникова. М.: Экономика, 1965.

⁹⁵ Виктор Зорза (настоящее имя Израэль Вермут) родился в селе Коломыя, Польша (теперь Западная Украина). <https://www.livelib.ru/author/313116-viktor-zorza>.

⁹⁶ Глушков В. М. Что скажет история? Отрывок из воспоминаний // Малиновский Б. Н. История вычислительной техники в лицах. Киев, 1995. С. 154–168.

компьютерный центр в Москве будет соединен с 200 компьютерными узлами среднего уровня в крупных городах, которые, в свою очередь, будут связаны с 20 000 терминалов, распределенных по ключевым производственным площадкам народного хозяйства. В соответствии с большим опытом Глушкова в сфере жизнедеятельности страны, архитектура сети не случайно содержала в себе принципы децентрализованного дизайна. Это означало, что, хотя в Москве и можно будет указать, кому какие разрешения предоставить, любой авторизованный пользователь мог связаться с любым другим пользователем через пирамидальную сеть — без прямого разрешения от материнского узла. По мнению Глушкова, сетевые вычисления могли приблизить страну к эпохе, которую Френсис Спаффорд назвал «красным изобилием». Это был способ, с помощью которого медленная основа централизованной экономики — квоты, планы и сборники отраслевых стандартов — превратится в нейронную сеть нации, движимую невероятной скоростью электричества. Проект претендовал не меньше чем на установление «электронного социализма»⁹⁷.

В 1968 г. в докладе Н. И. Ковалева (руководителя ВЦ/ГВЦ Госплана СССР) по проблемам использования ЭВМ в планировании отмечалось: если бы инвестиции в топливно-энергетический комплекс в 1961–1965 гг. были оптимальными, то к 1970 г. это дало бы экономию капвложений, эксплуатационных и транспортных затрат на 400 млн рублей.⁹⁸

По мере налаживания системы передачи и обработки экономической информации у ГВЦ Госплана СССР появилась новая функция — аналитическое сопровождение косыгинской реформы. Была механизирована обработка данных от 580 предприятий, переведенных с 1966 г. на новую систему планирования и экономического стимулирования. Это позволяло ГВЦ Госплана СССР проводить мониторинг реформы практически в режиме реального времени и оперативно информировать Госплан о ее ходе.

В то же время резко дали о себе знать проблемы, которые не решались техническими или организационными мерами. Госплан использовал результаты оптимизационных расчетов, чтобы урезать заявки министерств и ведомств на выделение средств. Те в ответ начинали саботировать и тормозить внедрение методов оптимального планирования и вычислительную технику. Н. И. Ковалев требовал запретить предоставлять в Госплан заявки, не подкрепленные расчетами с использованием экономико-математических методов.

Базой оптимизации должна была стать система научных нормативов и технико-экономических показателей. Система нормативов позволяла преодолеть саботаж других ведомств, всеми силами стремившихся не предоставлять необходимую для оптимизационных расчетов информацию. Н. И. Ковалев писал, что номенклатура статистических показателей, разрабатываемых ЦСУ, не соответствует номенклатуре плановых показателей, разрабатываемых Госпланом⁹⁹.

К середине 1960-х гг. в СССР работы по внедрению машинных методов приняли широкий масштаб.

К концу 1960-х гг. советское правительство констатировало отставание в области вычислительной техники, и 30 декабря 1967 г. приняло постановление «О дальнейшем развитии разработки и производства средств вычислительной техники», которое фактически лишило отечественные разработки будущего и сделало стратегией использования западных прототипов официальной технологической политикой. Эффекты постановления оказались противоречивыми. С одной стороны, «постановление явилось, по существу, постановлением о создании в стране отрасли вычислительной техники, т. к. охватывало решение всех проблем — от разработки и освоения производства материалов и элементной базы до обеспечения производства нового поколения ЭВМ и повышения эффективности его использования в народном хозяйстве». С другой стороны, оно предусматривало прекращение отечественных конкурирующих разрабо-

⁹⁷ Можегов В. Кто помог СССР проиграть в компьютерной гонке? <https://infocus.press/kto-pomog-sssr-proigrat-v-kompyuternoi-gonke/>.

⁹⁸ Ковалев Н. И. Совершенствование планирования и вычислительная техника // Плановое хозяйство. 1968. № 9. С. 52–60.

⁹⁹ Сафронов А. В. Автоматизированная система плановых расчетов Госплана СССР как необходимый шаг на пути к общегосударственной автоматизированной системе учета и обработки информации (ОГАС) // Экономическая история. 2019. Т. 15, № 4. С. 395–409.

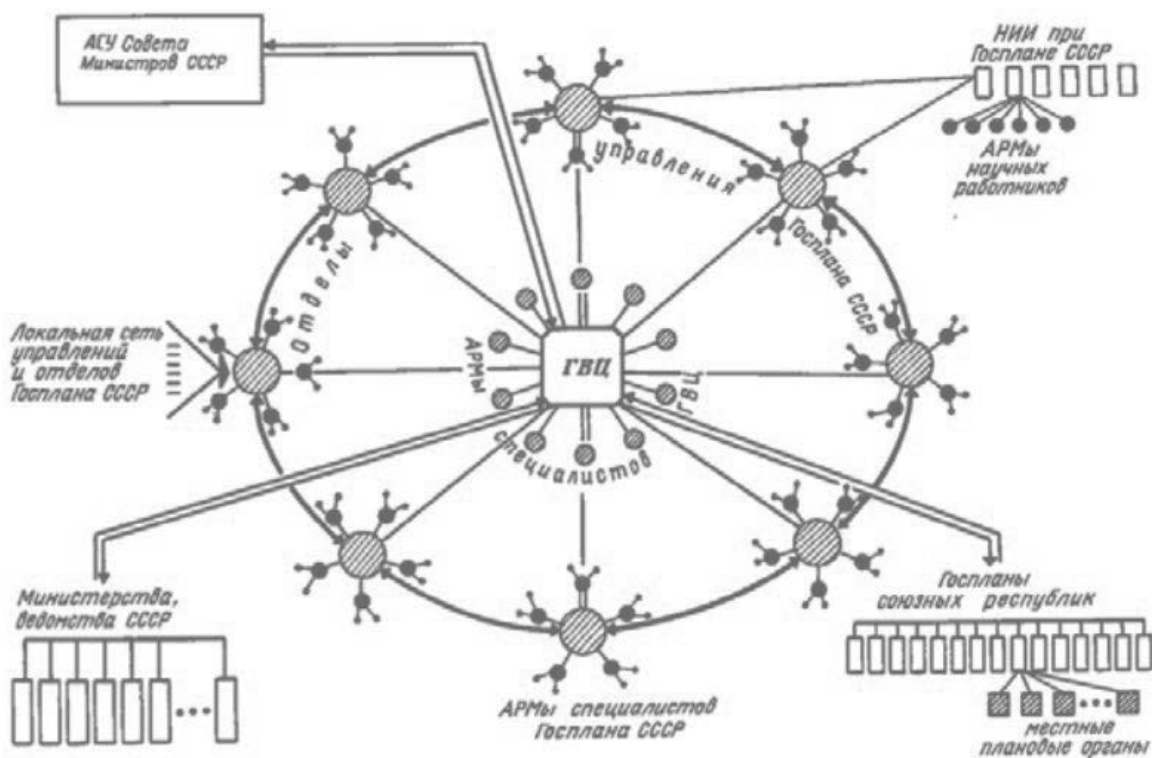


Рисунок 1.3. Структура информационной системы ГВЦ Госплана СССР¹⁰¹

ток в области программирования и архитектуры ЭВМ и переход советских исследовательских и инженерных работ в фарватер западных исследований. Было решено ориентироваться на разработки IBM и DEC, в частности заимствовать аппаратную архитектуру IBM-360 для создания отечественного Единого семейства ЭВМ¹⁰⁰.

С начала 1970-х гг. ГВЦ Госплана СССР приступил к формированию автоматизированной системы плановых расчетов (АСПР; рисунок 1.3).

А. В. Сафронов описывает, как было принято решение организовать в ближайшие годы примерно 50 опорных вычислительных центров в союзных республиках и экономических районах, а также Главный вычислительный центр в Москве. В зоне каждого опорного центра должны были быть созданы кустовые вычислительные центры для обслуживания прикрепленных к ним предприятий и организаций по сбору, обработке и передаче в опорный пункт необходимой информации¹⁰².

В составе первой очереди автоматизированной системы плановых расчетов (АСПР) было принято в эксплуатацию более 1100 задач, решаемых на ЭВМ в Госплане СССР, и около 2200 задач, решаемых на ЭВМ в госпланах союзных республик. Из общего объема расчетов прямые плановые расчеты составляли порядка 80%, а оптимизационные — порядка 20%. Относительно небольшой удельный вес оптимизационных расчетов был обусловлен несколькими причинами.

Во-первых, большинство плановых задач, связанных с разработкой социальных аспектов, планированием развития отраслей непромышленной сферы, науки и техники, охраны окружающей среды и др., формализовать не удалось. Уровень потребления задавался руководящими органами, а затем разрабатывались варианты планов, которые позволяли его достичь.

Во-вторых, не в полной мере удалось увязать разработанные модели в единую систему.

¹⁰⁰ Абрамов Р. Н. Советские технократические мифологии как форма «теории упущенного шанса»: на примере истории кибернетики в СССР // Социология науки и технологий. 2017. № 2. С. 63–79.

¹⁰¹ Пионеры цифровизации / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. https://ac.gov.ru/uploads/pdf/About_Documents_01/60_let_web.pdf.

¹⁰² Сафронов А. В. Мираж оптимальности: внедрение математических методов в экономику как ответ на проблемы реформы управления промышленностью 1957 года // Экономическая история. 2016. № 1. С. 76–86.

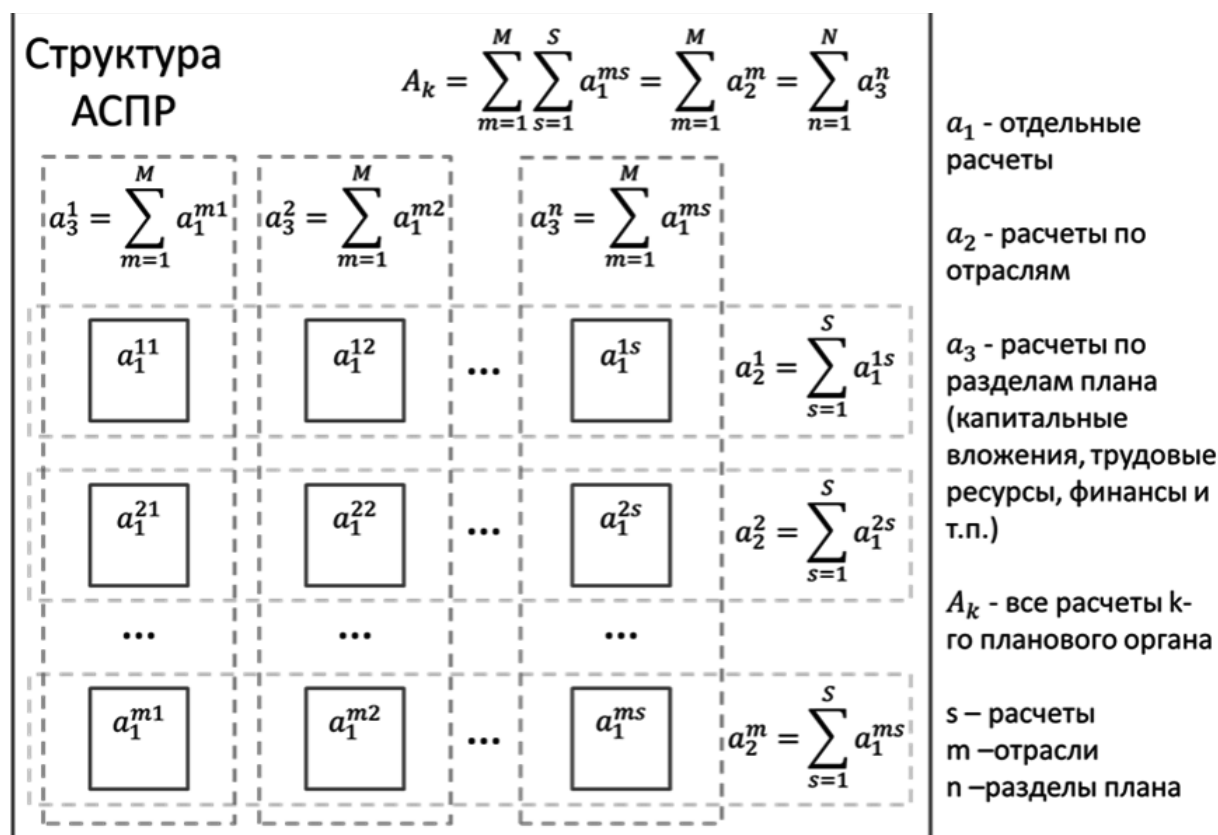


Рисунок 1.4. Принципиальная схема АСПР¹⁰⁴

В-третьих, народное хозяйство из-за постоянного изменения приоритетов (внешнеполитические факторы, природные явления, развитие техники) оставалось системой с высокой степенью неопределенности.

Еще одна причина слабого применения оптимизационных задач заключалась в прямом саботаже министерств. Министерства не подчинялись Госплану СССР и могли игнорировать требования, которые разрабатывал ГВЦ. Важным отличием второй очереди АСПР стало создание Центрального комплекса задач (ЦКЗ). Он объединил 254 важнейшие задачи в единое целое, позволив связать между собой балансовые расчеты ресурсов, фондов, производственных мощностей, капитальных вложений, товарооборота и его материального покрытия. ЦКЗ позволял оценивать макроэкономические пропорции и просматривать горизонт на 15 лет вперед¹⁰³.

В 1974 г. Госплан СССР выпустил Методические указания к разработке государственных планов развития народного хозяйства СССР. В них было заявлено: «АСПР (автоматизированная система плановых расчетов Госплана СССР) должна стать главным звеном Общегосударственной автоматизированной системы сбора и обработки информации для учета, планирования и управления народным хозяйством, создаваемой по решению XXIV съезда КПСС» (рисунок 1.4).

В рамках разработки и создания ОГАС в 1976 г. академик В. М. Глушков предложил диалоговую систему планирования ДИСПЛАН¹⁰⁵. Диалоговая система ДИСПЛАН представляла собой комплекс математических, технических, общесистемных и специальных программных средств, предназначенных для автоматизации плановых расчетов на разных уровнях управления. ДИСПЛАН объединяла балансовые методы с методами программно-целевого управления, да-

¹⁰³ Пионеры цифровизации / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. https://ac.gov.ru/uploads/pdf/About_Documents_01/60_let_web.pdf.

¹⁰⁴ Волчков Б. А. Автоматизированная система плановых расчетов (некоторые вопросы создания и внедрения). М.: Экономика, 1970.

¹⁰⁵ Глушков В. М., Олейрш Г. Б. Диалоговая система планирования ДИСПЛАН // Управляющие системы и машины. 1976. № 6. С. 123–124.

вая возможность производить быструю корректировку и оптимизацию межотраслевых балансов. По замыслу В. М. Глушкова ДИСПЛАН должна была стать «ядром новой технологии всего планирования»¹⁰⁶. Одна из работающих версий ДИСПЛАНА позволяла управлять параметрами балансовой модели с количеством позиций до 1200 и числом ресурсов до 100¹⁰⁷. ДИСПЛАН была внедрена в Республиканскую автоматизированную систему управления (РАСУ) Украинской ССР¹⁰⁸.

В июне 1985 г. коллегия Госплана СССР рассмотрела и одобрила Основные направления развития АСПР в 1986–1990 гг. и на период до 2000 г. Согласно Основным направлениям на первом этапе (1986–1989 гг.) должна была продолжаться интеграция задач внутри АСПР и различных информационных систем между собой, обмен данными проектировался преимущественно на машинных носителях. На этапе 1991–1995 гг. создание внутриведомственной сети плановых органов (Госплан СССР и республиканские госпланы) с персональными терминалами, подключенными к серверам в вычислительных центрах, должно было быть завершено, а обмен информацией между АСПР и ведомственными АСУ проходил бы как на машинных носителях, так и по каналам связи.

Наконец, на третьем этапе (1996–2000 гг.) планировалось ввести в действие объединяющую внутриведомственные сети Госплана СССР и госпланов союзных республик вычислительную сеть АСПР, взаимодействующую в режиме реального времени с вычислительными системами директивных органов, министерств и ведомств. Все это должно было обеспечить переход к единой автоматизированной технологии народно-хозяйственного планирования. Таким образом, к 2000 г. АСПР должна была стать ОГАС¹⁰⁹.

Советский опыт автоматизации системы государственного управления активно изучался за рубежом.

Таким образом, опыт создания Общегосударственной автоматизированной системы учета и обработки информации и Единой государственной сети вычислительных центров, а также автоматизированной системы плановых расчетов Госплана СССР позволил связать между собой балансовые расчеты ресурсов, фондов, производственных мощностей, капитальных вложений, товарооборота и его материального покрытия. Сейчас, дополнив этот опыт анализом стратегий ведущих стран в этой сфере, можно уточнить программы построения цифровой экономики в России как основу повышения эффективности стратегического планирования.

1.4. Советские подходы к прогнозированию темпов социально-экономического роста и планированию НТП и пути управления научно-техническим развитием в СССР

К 1964 г. в ВЦ Госплана СССР были составлены плановые балансы за 1962 и 1963 гг. и межотраслевые балансы на 1964 и 1965 гг., причем результаты расчетов этих балансов при сопоставлении с народно-хозяйственным планом показали определенную напряженность по ряду видов продукции, а в отдельных случаях также несбалансированность потребностей и ресурсов. ВЦ, таким образом, оказался способен указывать Госплану на узкие места планов. Вторым направлением работы ВЦ стали оптимизационные расчеты, первоначально базировавшиеся на линейном программировании. К середине 1961 г. ВЦ уже разработал оптимальную загрузку оборудования машиностроительных предприятий и отдельных отраслей машиностроения. В начале 1960-х гг. были выполнены первые расчеты по оптимизации развития и размещения производства угольной и химической промышленности, транспортная задача по рациональному прикреплению поставщиков к потребителям черных металлов, расчеты по оптимизации топливно-энергетиче-

¹⁰⁶ Глушков В. М. ДИСПЛАН — новая технология планирования // Управляющие системы и машины. 1980. № 4. С. 5–11.

¹⁰⁷ Глушков В. М., Олейриш Г. Б. Вопросы построения диалоговой системы планирования ДИСПЛАН. Киев (Препринт / ИК АН УССР).

¹⁰⁸ Китова О. В., Китов В. А. Они были первыми — основополагающий вклад в отечественную цифровую экономику А. И. Китова и В. М. Глушкова // Цифровая экономика. 2019. № 1. С. 5–16.

¹⁰⁹ Пионеры цифровизации / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. https://ac.gov.ru/uploads/pdf/About_Documents_01/60_let_web.pdf.

ского баланса. Были начаты работы по определению потребности в черных металлах, по демографическим расчетам¹¹⁰.

Предметом исследований в ЦЭМИ АН СССР в этот период являлись все ключевые аспекты развития воспроизводственных процессов в народном хозяйстве страны, в том числе проблемы уровня жизни населения, воспроизводство экономического потенциала, межотраслевые связи, международные экономические отношения, научно-технический прогресс. В качестве первого прикладного исследования подобного рода по праву следует рассматривать подготовленную в 1971–1972 гг. работу, в рамках которой под руководством А. И. Анчишкина, С. С. Шаталина и Ю. В. Яременко впервые была предпринята попытка разработки альтернативной концепции развития народного хозяйства на период с 1976 по 1990 г.

Во главу угла разработчики этой концепции поставили идею повышения эффективности функционирования экономики на основе прогрессивных структурных сдвигов, более полного использования достижений научно-технического прогресса, роста прямой заинтересованности работников в конкретных результатах своего труда и адекватных изменений в организационно-хозяйственном устройстве¹¹¹.

Однако эта концепция не была востребована партийным руководством страны.

В результате в 80-х гг. XX в. в СССР усилились проблемы, постепенно переросшие в фактический экономический и политический кризис.

Для преодоления последствий экономического кризиса, по мнению М. С. Горбачева, прежде всего был необходим «существенный рост производительности труда посредством внедрения прогрессивного оборудования, автоматики»¹¹². А это означало на практике увеличение в ближайшие годы темпов роста машиностроительных отраслей СССР в 1,5–2 раза. Причем приоритет здесь связывался с ускорением развития станкостроения, приборостроения, электротехники и электроники. Иными словами, речь шла об активной инвестиционной политике в отношении отраслей машиностроительного комплекса, что совпадало с интересами наиболее влиятельной части хозяйственной бюрократии того времени — представителей ВПК. Эта тема была продолжена в июне 1985 г. на совещании в ЦК КПСС по вопросам ускорения научно-технического прогресса, который был объявлен ключевым рычагом ускорения экономики. Главный технологический рывок предполагалось осуществить в машиностроении, которое генеральный секретарь ЦК КПСС М. С. Горбачев назвал магистральным направлением нашего развития. С этой целью предполагалось в двенадцатой пятилетке (1986–1990) «увеличить капиталовложения для гражданских отраслей машиностроительных министерств в 1,8–2 раза в сравнении с одиннадцатой пятилеткой»¹¹³.

То есть, как отмечает В. С. Сулягин, ситуация была во многом аналогичная современной: сейчас для реализации модернизации и новой индустриализации, а также построения цифровой экономики, которая смогла бы конкурировать с ведущими экономиками мира, необходимы масштабные государственные инвестиции.

В течение 80-х гг. XX в. в АН СССР в рамках работ над Комплексной программой научно-технического прогресса (КП НТП) была разработана конструктивная концепция последовательного перехода хозяйства на новые принципы организации и функционирования. Она содержала развернутые предложения по возможному содержанию и направленности социальной, структурно-инвестиционной и научно-технической политики.

Особое внимание уделялось изменениям в системе управления, включая переход на новую организационную структуру, расширение сферы прав и ответственности хозяйствующих субъ-

¹¹⁰ Пионеры цифровизации / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. https://ac.gov.ru/uploads/pdf/About_Documents_01/60_let_web.pdf.

¹¹¹ Сулягин В. С. Комплексная программа научно-технического прогресса СССР на 1991–2010 годы. <https://ecfor.ru/publication/kompleksnaya-programma-nauchno-tehnicheskogo-progressa-sssr/>.

¹¹² Горбачев М. С. Избранные речи и статьи: в 6 т. М.: Политиздат, 1987. Т. 2. С. 147.

¹¹³ Горбачев М. С. Коренной вопрос экономической политики перестройки: Доклад на совещании в ЦК КПСС по вопросам ускорения научно-технического прогресса 11 июня 1985 года. М.: Политиздат, 1985. С. 3, 14.

ектов, усиление роли финансовых регуляторов и т. д. Иными словами, речь шла о расширении арсенала средств регулирования за счет включения в практику методов, присущих рыночной экономике. Вместе с тем постоянно подчеркивалось и обосновывалось, что формирование сферы рыночного регулирования должно происходить строго по мере созревания необходимых социальных и структурно-технологических предпосылок. В противном случае прогнозировалось резкое обострение народно-хозяйственных проблем. Именно поэтому предполагалось длительное сосуществование двух секторов в экономике: последовательно сужающегося государственного и расширяющегося рыночного (позднее именно такой подход был реализован в рамках китайских экономических реформ).

При разработке Комплексной программы научно-технического прогресса были обоснованы такие фундаментальные характеристики отечественной экономики того периода, как неизбежность стагнации, структурно-технологическая несбалансированность, черные дыры, качественная дифференциация инвестиционных ресурсов, скрытая инфляция, инфляционный навес, непомерная военная (внеэкономическая) нагрузка на экономику и др., показана их деструктивная роль в развитии воспроизводственного процесса, намечены пути нейтрализации этих воздействий¹¹⁴.

Под руководством Н. П. Федоренко ЦЭМИ АН СССР стал лидером в области разработки и применения программно-целевых методов управления решением сложных социально-экономических и научно-технических проблем. Эти методы, создававшиеся параллельно и в США, и в СССР, первоначально зарождались как способы управления разработкой и созданием систем вооружений. США всячески охраняли от возможного копирования и использования методические наработки в этой области. Поэтому отечественные разработчики методов программно-целевого управления были вынуждены опираться на собственные теоретические исследования и практические разработки моделей, механизмов и методик. На основе результатов этих исследований были предприняты попытки усовершенствовать сложившуюся планово-директивную систему путем ее дополнения социальными разделами государственного плана, а также плановыми заданиями по решению научно-технических проблем. Опыт разработки и реализации Комплексной программы научно-технического прогресса продемонстрировал первоочередную важность формирования инвестиционной базы для модернизационных преобразований на базе отечественных инноваций.

Инициатива широкомасштабных научных исследований в нашей стране в этой области знаний принадлежит Отделению экономики Академии наук СССР и научно-исследовательским институтам отделения, и прежде всего ЦЭМИ АН СССР. Академиком-секретарем Отделения экономики АН СССР и директором ЦЭМИ в то время был академик Николай Прокофьевич Федоренко. В 1972 г. вышло Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О разработке долгосрочного перспективного и пятилетнего (на 1976–1980 гг.) планов развития народного хозяйства СССР (п. 26)»: Академии наук СССР и Государственному комитету Совета Министров СССР по науке и технике с привлечением академий наук союзных республик, ВАСХНИЛ, Академии педагогических наук СССР, Академии медицинских наук СССР, Госстроя СССР, научно-исследовательских организаций министерств и ведомств СССР и союзных республик было поручено разработать и в декабре 1972 г. представить Совету Министров СССР (и в копии в Госплан СССР) Комплексную программу научно-технического прогресса и его социально-экономических последствий на 1976–1990 гг. с обоснованиями и расчетами. Далее Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 1979 г. «Об улучшении планирования и усилении воздействия хозяйственного механизма на повышение эффективности производства и качества работы» установило, что Академия наук СССР, Государственный комитет СССР по науке и технике и Госстрой СССР разрабатывают Комплексную программу научно-технического прогресса СССР на 20 лет (по пятилетиям)

¹¹⁴ Сутягин В. С. Комплексная программа научно-технического прогресса СССР на 1991–2010 годы. <https://ecfor.ru/publication/kompleksnaya-programma-nauchno-tehnicheskogo-progressa-sssr/>.

и представляют эту программу в Совет Министров СССР и Госплан СССР не позднее чем за два года до очередной пятилетки. Каждые пять лет в Комплексную программу научно-технического прогресса вносятся необходимые дополнения и уточнения, и она составляется на новое пятилетие¹¹⁵.

В этих условиях наиболее заметным направлением научной деятельности сотрудников ЦЭМИ АН СССР стала разработка Комплексной программы научно-технического прогресса СССР на 20 лет (по пятилетиям). В ее разработке принимала участие почти треть сотрудников Института, а многие из них затем стали сотрудниками выделившегося из ЦЭМИ АН СССР Института проблем экономики и прогнозирования науки и техники АН СССР¹¹⁶ (1986 г.). Всего было разработано три варианта КП НТП: в 1974, 1983 и 1988 гг. Разработка КП НТП СССР завершила конструкцию системы планирования управления экономикой СССР путем включения в нее регулярно выполняемых долгосрочных прогнозов в общую схему обоснования и подготовки плановых заданий. Если долгосрочные прогнозы имели справочный, информационный характер, а их принятие ограничивалось их рассмотрением на уровне ГКНТ СССР, АН СССР и Госплана СССР, то схема развития и размещения, принимавшаяся на десятилетний период, утверждалась Советом Министров СССР¹¹⁷.

Горизонт сценариев, которые рассматривались в рамках КП НТП, составлял 20 лет, при этом числовые оценки давались с разбиением по пятилетиям. Всего в свет было выпущено три комплексных программы¹¹⁸.

Программа была закончена в апреле 1973 г. и в целом благосклонно встречена Правительством СССР. В начале 1974 г. Госплан СССР принял специальное постановление о том, чтобы учесть данные КП НТП при составлении плановых документов на предстоящую десятую пятилетку. Однако это указание фактически было проигнорировано. КП НТП осталась «экспертным мнением», а обязательные к выполнению пятилетние и годовые планы продолжали составляться своим чередом. Впоследствии до распада СССР были подготовлены еще три комплексные программы с горизонтом до 2000, 2005 и 2010 гг., однако их постигла та же участь¹¹⁹.

К началу 1970-х гг., после десятилетия открытого соревнования двух систем, стало ясно, что экономические прогнозы должны не только опираться на прогнозы научно-технического прогресса (НТП), но и включать в себя все наиболее эффективные его направления. Только в этом случае можно было реализовать преимущества социалистического хозяйства и плановой экономики. Задача разработать методы отражения НТП в экономических прогнозах стала особенно актуальной.

В первой половине 1970-х гг. одновременно разрабатывались два новых направления. Первое — эконометрические макроструктурные модели межотраслевых взаимодействий — разрабатывали сотрудники ЦЭМИ АН СССР: Ю. В. Яременко, Э. Б. Ершов и А. С. Смышляев (1975). Это направление, по сути, представляло собой балансово-эконометрическое моделирование процессов формирования межотраслевой структуры экономики в планово-распределительной системе с учетом качественной неоднородности ресурсов и приоритетности отраслей. В рамках второго направления получили развитие идеи программно-целевого планирования и изучения комплексов взаимосвязанных отраслей. Программно-целевой метод был признан в системе Госплана СССР¹²⁰.

¹¹⁵ Варшавский А. Е., Яркин А. П. Ведущая роль ЦЭМИ АН СССР в организации, управлении и разработке комплексных программ научно-технического прогресса // Экономика и математические методы. 2018. Т. 54, № 3. С. 68–89.

¹¹⁶ Сейчас — Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН.

¹¹⁷ Комков Н. И. К 100-летию со дня рождения Николая Прокофьевича Федоренко — прогрессивного руководителя перспективного научного направления: применение математики в экономике. <https://ecfor.ru/wp-content/uploads/2018/02/portrety-uchenyh-5-2017.pdf>.

¹¹⁸ Сутягин В. С. Комплексная программа научно-технического прогресса СССР на 1991–2010 годы. <https://ecfor.ru/publication/kompleksnaya-programma-nauchno-tehnicheskogo-progressa-sssr/>.

¹¹⁹ Сафронов А. В. Мираж оптимальности: внедрение математических методов в экономику как ответ на проблемы реформы управления промышленностью 1957 года // Экономическая история. 2016. № 1. С. 76–86.

¹²⁰ Клепач А. Н., Куранов Г. О. Развитие социально-экономического прогнозирования и идеи А. И. Анчishкина. <https://institutions.com/personalities/2241-razvitie-socialno-ekonomicheskogo-prognozirovaniya-idei-anchishkina.html>.

**Экономика (СССР. — Прим. авт.) держалась
на массовых инвестициях, а качество
этих массовых инвестиций не только не росло,
оно падало. Снижался технический уровень...
Кроме того, вырождались производственные мощности.
По производимой продукции было ясно, что
вырождаются сами характеристики этих мощностей,
падает производственный потенциал гражданских отраслей.
Происходил также физический износ мощностей,
сказывалось отсутствие научных, конструкторских
заделов. И, конечно, шло очень сильное разрушение
трудового потенциала.
Ю. В. Яременко (1998)¹²¹**

Как отмечает Н. И. Комков, во многих проблемных и сводных разделах КП НТП были отражены результаты комплексных исследований, в которых отмечались реальные причины ограничения экономического роста. К числу выявленных и своевременно не решенных комплексных проблем относились регулярная избыточность создаваемого валового национального продукта, включая энергоматериало- и трудоизбыточность, значительные потери продуктов при добыче, переработке, обработке и конечном потреблении тепловой энергии в домохозяйствах и др. Возможности решения этих проблем, по мнению многих специалистов и экспертов КП НТП, руководимых академиками Н. П. Федоренко и Н. Я. Петраковым, были связаны с коренными изменениями хозяйственного механизма и учета интересов потребителей. Принципы «социалистической уравниловки» в оплате труда отрицательно влияли на качество результатов труда: по словам родоначальника ЦЭМИ АН СССР академика В. С. Немчинова, «низкой зарплатой можно разорить даже богатую страну».

Тот факт, что только количественными методами измерения плановых и хозяйственных решений нельзя решить коренных проблем развития страны, стал очевиден для многих исследователей в начале 70-х гг. Использованию этих методов противодействовали сложившиеся догмы руководства экономикой, структурные противоречия в организации взаимодействия многих отраслей и ведомств, различия в интересах регионов и отраслей, несогласованность интересов научных организаций и предприятий при внедрении научных достижений, в наличии ведомственных барьеров при формировании рациональных технологических цепочек и др.

Для обеспечения сбалансированности планов требовалось уточнение исходной информации и проведение новых расчетов.

Все это отодвигало возможность широкого и регулярного использования органами руководства страной экономико-математических методов и формировало новые проблемы как в создаваемых и используемых методах (многокритериальность, нелинейность, целочисленность, сходимость и др.), так и при их массовом использовании (быстродействие ЭВМ, хранение больших объемов информации, организация проведения расчетов в реальном масштабе времени и др.). Позже, в 90-х гг. XX в. и в XXI в., многие из этих трудностей были преодолены на основе разработки и развития персональных компьютеров и суперЭВМ¹²².

В 1985 г. в ЦЭМИ АН СССР были подготовлены Методические рекомендации по разработке уточнения Комплексной программы научно-технического прогресса СССР на 1991–2010 гг., которые определяли ее задачи, структуру, исходные принципы, порядок и организацию разработки, а также основные требования к организации ее разделов (ответственные исполнители — академик А. И. Анчишкин и А. Е. Варшавский).

¹²¹ Яременко Ю. В. Экономические беседы / Запись С. А. Белановского. М.: Центр исследований и статистики науки, 1998. С. 43.

¹²² Комков Н. И. К 100-летию со дня рождения Николая Прокофьевича Федоренко — прогрессивного руководителя перспективного научного направления: применение математики в экономике. <https://ecfor.ru/wp-content/uploads/2018/02/portrety-uchenyh-5-2017.pdf>.



А. И. Анчишкин и Ю. В. Яременко

Разработка комплексной программы была связана с решением многих задач, среди которых были выделены пять важнейших:

- определение основных перспектив развития научного потенциала страны, в том числе обоснование приоритетов главнейших направлений научных исследований и разработка прогноза формирования и распределения ресурсов науки;
- обоснование распределения ресурсов производства по направлениям технического прогресса исходя из целей социально-экономического развития страны и системы приоритетов, направлений и масштабов внедрения важнейших достижений науки и техники в отраслях народного хозяйства;
- получение на основе прогнозов удельных технико-экономических показателей, оценок влияния сдвигов в технологиях на эффективность и структуру производства;
- обоснование рекомендаций по совершенствованию хозяйственного механизма и организационной структуры народного хозяйства с целью

создания более благоприятных условий для проведения единой технической политики;

- разработка первоочередных мероприятий для включения их в пятилетний план с целью проведения долгосрочной политики в области развития науки и техники.

Эти задачи в значительной степени определяли главную методологическую проблему комплексной программы — согласование научно-технических и социально-экономических аспектов развития общества.

1.5. Проблемы барьеров на пути внедрения новых механизмов планирования и управления в экономике как одна из ключевых причин деградации государственного управления и последующего распада СССР

Вернемся по временной шкале немного назад: еще на XX съезде КПСС отмечалась необходимость повышения роли союзных республик в управлении производством. 30 мая 1956 г. появилось Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О реорганизации министерств в связи с передачей ряда отраслей народного хозяйства в ведение союзных республик». Как пишет по этому поводу В. С. Сутягин, основное наступление на отраслевые министерства развернулось в декабре 1956 г. на очередном пленуме ЦК КПСС. Февральский пленум ЦК КПСС 1957 г. первоначально поддержал идеи Н. С. Хрущева. 22 марта проект тезисов его доклада «О дальнейшем совершенствовании организации управления промышленностью и строительством» был одобрен Президиумом ЦК КПСС без изменений. Однако по мере его проработки у многих представителей высшего руководства стали возникать сомнения в целесообразности изменений. Так, отрицательную позицию в отношении реформы занял председатель Госплана СССР Н. К. Байбаков. Он предвидел трудности в координации поставок между территориальными управлениями и опасался невозможности проводить согласованную научно-техническую политику. Против реформы выступали также отраслевые министры и директора крупных предприятий, пользовавшихся приоритетным материально-техническим снабжением.

Согласно реформе территория СССР делилась на экономические районы, имевшие специальные органы управления — советы народного хозяйства. Они отвечали за руководство расположенными на территории каждого из районов промышленными предприятиями всех отраслей. Структура совнархозов — управления и отделы — фактически воспроизводила в миниатюре структуру союзного правительства. По итогам реформы прекратило существование 141 общесоюзное, союзно-республи-

канское и республиканское министерство и ведомство, было сформировано 105 административно-экономических районов и советов народного хозяйства. Упраздняемые общесоюзные министерства вскоре возродились как государственные комитеты Совмина СССР по соответствующим отраслям промышленности. Они должны были отвечать за единообразное по всей стране научно-техническое развитие отраслей, однако не обладали необходимой для этого административной властью.

4 мая 1958 г. Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по улучшению планирования народного хозяйства» в пользу совнархозов был изменен порядок планирования: планы должны были теперь составляться на местах и только потом передаваться в госпланы, что еще больше затруднило работу последних по координации развития экономических районов.

Возникли условия для разрушения экономического единства страны. Резко сократились темпы роста показателей развития. Если в 1956–1960 гг. среднегодовой темп роста национального дохода составлял 13,3%, то в 1961–1965 гг. он сократился до 6,5%.

После отстранения Н. С. Хрущева от власти отраслевая система управления промышленностью была восстановлена. Одновременно оказалось, что выделить один обобщающий критерий оптимальности для всего народного хозяйства невозможно, как невозможно «сконструировать» цены, идеально отражающие общественно необходимые затраты труда (что являлось условием поиска оптимума на минимум этих затрат). Как следствие, математические методы постепенно перестали восприниматься как панацея от дезорганизации управления страной и заняли свою нишу в решении локальных задач (оптимальный раскрой материалов, рационализация транспортных перевозок, выбор размещения предприятий отдельных отраслей хозяйства, составление топливно-энергетических и региональных балансов, разработка прогрессивных нормативов и т. п.). Несмотря на многословные заверения в том, что новые министерства принципиально отличаются от старых, структура управления во многом вернулась на дореформенные позиции¹²³.

Правительство А. Н. Косыгина вынашивало амбициозные планы экономической реформы, подразумевавшей внедрение элементов рынка и даже «социалистические эквиваленты» предпринимательской деятельности. Реформа активно обсуждалась в академической печати и прессе. Идеологом одного из направлений реформ был профессор Харьковского государственного университета Е. Г. Либерман, который предлагал повышение уровня самоуправления хозяйствующих субъектов и снижение директивного контроля над экономикой. Некоторые из его идей были частично реализованы, однако полноценная реформа советской экономики так и не состоялась¹²⁴.

**Впервые, пожалуй, вопросы экономических исследований
стали занимать важное народно-хозяйственное значение...
мы можем сказать, что только теперь у нас появились настоящие экономисты.**

А. Н. Косыгин (1968)

Суть реформы заключалась в децентрализации системы планирования в народном хозяйстве, увеличении экономической самостоятельности промышленных предприятий, повышении роли интегральных показателей экономической эффективности (прибыли и рентабельности) в управлении промышленностью. Как пишет по этому поводу А. А. Яник, в процессе реформы были ликвидированы созданные в 1957 г. по инициативе Н. С. Хрущева органы территориального хозяйственного управления — совнархозы (советы народного хозяйства) и восстановлена система управления промышленностью на основе общесоюзных, союзно-республиканских и республиканских министерств и ведомств. Основной хозяйственной единицей стали промышленные предприятия. В 3 раза было сокращено количество директивных плановых показателей. В сельском хозяйстве повышены в 1,5–2 раза закупочные цены, уменьшены ставки налога на доходы крестьян. На лиц, проживающих

¹²³ Сафронов А. В. Мираж оптимальности: внедрение математических методов в экономику как ответ на проблемы реформы управления промышленностью 1957 года // Экономическая история. 2016. № 1. С. 76–86.

¹²⁴ Абрамов Р. Н. Советские технократические мифологии как форма «теории упущенного шанса»: на примере истории кибернетики в СССР // Социология науки и технологий. 2017. № 2. С. 63–79.

в сельской местности, было начато распространение общегражданской паспортной системы. До этого времени большая часть сельских жителей СССР вообще не имели паспортов, и поэтому крестьяне не могли свободно перемещаться по стране. В годы «косыгинской реформы» среднегодовые темпы роста национального дохода в СССР, по официальным данным, достигали 7% (что было сравнимо с темпами роста в это время американской экономики), объем промышленного производства вырос на 50%, сельскохозяйственного производства — на 20%, было построено около 2000 новых промышленных предприятий¹²⁵.

За 70–80-е гг. резко снизилась эффективность существующей системы государственного управления. В частности, проявилось отсутствие в ней механизмов обратной связи, которые способны вовремя дать сигналы о назревших переменах и стимулировать начало реформ.

В результате экономика СССР столкнулась с ситуацией исчерпания оставшегося единственным финансового источника своего развития. Поддержание установившейся к этому времени в СССР системы экономических и политических отношений стало попросту невозможным. Таким образом, к середине 1980-х гг. в Советском Союзе сформировалась ситуация, когда друг на друга одновременно наложилось сразу несколько кризисов: кризис управления, вызванный резким снижением эффективности существовавшей системы государственного управления, структурный кризис, связанный с деградацией промышленного потенциала СССР, и экономический кризис, проявившийся в ухудшении объемных и финансовых показателей функционирования экономики Советского Союза. Любой из этих кризисов, взятый по отдельности, вряд ли мог быть угрозой для основ существования страны. Но проблема была в уникальной ситуации их одновременного проявления. Советский Союз столкнулся с системным кризисом своего развития¹²⁶.

Нечто аналогичное происходит сейчас с мировой экономикой вследствие системного кризиса в главном локомотиве и финансисте мировой экономической конъюнктуры, в США, и исчерпания эффективности действующей макроэкономической модели, базирующейся на эмиссии доллара. Неэффективность внедрения реализованных концептуальных стратегий и организационных механизмов реформирования советской экономики, которые не смогли предотвратить системный кризис управления экономикой и распад государства, позволяет сделать вывод о необходимости реорганизации современной системы управления российской экономикой на основе механизмов оптимизации мониторинга, анализа, прогнозирования и планирования.

В 1979 г. был подготовлен аналитический доклад о состоянии и перспективах советской экономики, заказанный Советом Министров СССР. Руководителем группы, работавшей над докладом, был заместитель председателя Совета Министров СССР академик В. А. Кириллин. В докладе содержалась реалистическая картина экономического положения страны, указывалось, что неизбежно будут нарастать финансово-экономические проблемы, что промышленность нуждается в радикальном структурном реформировании, что страна начинает безнадежно отставать в использовании передовых технологий. По данным доклада комиссии Кириллина, в 1978 г. телефонов в СССР было в 10 раз меньше, чем в США, компьютеров — в 100 раз меньше, в 5% городов и 15% поселков не было водопровода, а в 30% городов и 60% поселков — канализации. При нулевом приросте продукции сельского хозяйства в 1976–1985 гг. государственные капиталовложения в него составили 150 млрд долларов. СССР добывал железной руды в 7 раз больше, чем США, чугуна из нее выплавлял в 3 раза больше, чем США, а стали из этого чугуна — вдвое больше.

Учитывая нарастание отрицательных процессов, Госплан СССР направил в марте 1975 г. в ЦК КПСС специальный доклад, где давался объективный анализ состояния экономики и были сформулированы принципиальные вопросы о перспективах ее развития, требующие принятия неотложных мер. Отмечалось, что страна стала жить не по средствам. Шло неуклонное нарастание зависимости от импорта. К сожалению, доклад не получил практического отклика у властей. Более того,

¹²⁵ Яник А. А. История современной России: истоки и уроки последней российской модернизации (1985–1999). М.: Фонд современной истории; Издательство Московского университета, 2012.

¹²⁶ Яник А. А. История современной России: истоки и уроки последней российской модернизации (1985–1999). М.: Фонд современной истории; Издательство Московского университета, 2012.

Л. И. Брежнев заявил, что Госплан представил очень мрачный взгляд на положение дел в стране: «А мы столько с вами работали. Ведь это наша лучшая пятилетка»¹²⁷.

Все практические попытки реформирования планового механизма предприятий в начале 1980-х гг. не стали успешными. Предполагалось, с одной стороны, сократить число директивных показателей при разработке годового плана, а с другой — разрешить предприятиям использовать собственные средства на оплату труда, техническое перевооружение и другие инвестиции в рамках установленных пятилетних нормативов. Но в то же время сохранялся отраслевой принцип планирования и детализированное директивное планирование на всех уровнях управления. Остались без изменений жестко централизованные системы материально-технического снабжения и ценообразования. Академик В. С. Немчинов еще в 1964 г. предлагал перейти на систему оптовой торговли средствами производства, однако его идеи остались невостребованными. Эффективность работы предприятий по-прежнему оценивалась степенью выполнения валовых плановых заданий¹²⁸.

Директор ЦЭМИ АН СССР академик Н. П. Федоренко в книге «О разработке системы оптимального функционирования экономики» обосновывал использование целого ряда методов экономико-математического моделирования и системного анализа для улучшения планирования и доказывал, что это позволит освободить плановые органы высших уровней от огромной массы дополнительных расчетов и сосредоточиться на разработке решающих стратегических проблем экономического развития. Он также предложил обсудить необходимость коренного совершенствования работы Госплана СССР¹²⁹. Именно последнее предложение вызвало шквал нападок, прежде всего руководства журнала «Плановое хозяйство» и руководства Госплана СССР. Видимо, не случайно среди противников экономико-математического направления наиболее консервативную позицию в оценке содержания указанной монографии занял редактор журнала «Плановое хозяйство». В октябре 1974 г. журнал за подписью «Экономист» опубликовал большую пропагандистскую рецензию «Антисоветизм под маской научного исследования» на американский сборник материалов, посвященный советской экономике, «Перспективы развития советской экономики в 70-х гг.». Эта рецензия была использована для идеологических обвинений авторов экономико-математических исследований¹³⁰.

В ней отмечалось, что «буржуазные экономисты» в своих «наскоках на централизованное планирование в СССР» пытаются использовать имя академика Н. П. Федоренко, который «призывает к самой серьезной перестройке деятельности Госплана СССР и других планирующих органов». Далее утверждалось, что по этим вопросам в ряде выступлений он излагал лишь свою точку зрения и что «его взгляды по ряду вопросов планирования и политической экономии социализма были, как известно, подвергнуты справедливой научной критике»¹³¹. Интересно, что в этом же номере журнала под рубрикой «Применение экономико-математических методов и вычислительной техники в планировании» была опубликована статья В. В. Коссова (заместителя начальника отдела Госплана СССР) и В. Ф. Пугачева (заведующего отделом ЦЭМИ АН СССР). Они писали о том, что «оптимизировать народно-хозяйственный план нельзя ни с помощью одной сверхсложной модели, ни с помощью децентрализованного набора моделей. Нужен многоступенчатый комплекс оптимизационных экономико-математических моделей, соответствующий структуре планирующих органов»¹³². Поэтому понятно, что не только Н. П. Федоренко призывал к изменению всей системы планирования. Он решил обратиться за разъяснениями в ЦК КПСС (на его письме имеется резолюция секретаря ЦК КПСС П. Н. Демичева). В письме от 1 ноября 1974 г. Федоренко подчеркнул, что в обсуждении научных проблем недопустимо использовать подобные приемы и тем более выставлять его в нега-

¹²⁷ Застой в цифрах и фактах. <https://jlm-taurus.livejournal.com/39366.html>.

¹²⁸ Лежнева А. С. План, предприятие и Госплан СССР: планирование или плановая анархия? (1970-е — начало 1980-х годов) // Вестник ЮУрГУ. Серия «Социально-гуманитарные науки».

¹²⁹ Федоренко Н. П. О разработке системы оптимального функционирования экономики. М.: Наука, 1968. С. 177–188.

¹³⁰ Балакин В. С. Из социальной истории советской науки: академики В. С. Немчинов и Н. П. Федоренко защищают экономико-математические методы оптимального планирования (1960-е — середина 1970-х гг.) // Вестник Пермского университета. Серия «История». 2018. Выпуск 4. С. 88–97.

¹³¹ Экономист. Антисоветизм под маской научного исследования // Плановое хозяйство. 1974. № 10. С. 146–155.

¹³² Коссов В., Пугачев В. Многоступенчатая система оптимизационных расчетов перспективных народнохозяйственных планов // Плановое хозяйство. 1974. № 10. С. 12–20.

тивном свете и ставить его идеи вне советской экономической науки. Он также указал на то, что методы экономического моделирования и системного анализа народного хозяйства имеют нормативный характер и поэтому могут позволить улучшить практику планирования. Позиция же редколлегии журнала «Плановое хозяйство» была им определена «как еще один выпад в своей, по существу, групповой борьбе против широкого использования экономико-математических методов в советской экономической науке»¹³³.

По свидетельству Н. П. Федоренко, несмотря на то что составленная в стенах ЦЭМИ АН СССР в 1967 г. записка с прогнозом экономического развития страны до начала 80-х гг. была уничтожена, сама идея прогнозирования продолжала жить. Вскоре после этого эпизода Н. П. Федоренко представил А. П. Кириленко¹³⁴ новую записку — «О необходимости разработки долгосрочных прогнозов экономики СССР». Записка была направлена руководителям партии и государства и одобрена ими. АН СССР было дано поручение подготовить проект постановления Центрального Комитета КПСС и Совета Министров СССР по этому поводу. Однако вместо этого было подготовлено постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР о необходимости разработки Комплексной программы научно-технического прогресса¹³⁵.

Особое место в КП НТП занимал подраздел «Совершенствование системы управления и планирования как необходимое условие научно-технического прогресса». По сути дела, писал Н. П. Федоренко, он представлял собой «своеобразную программу экономической реформы, поскольку в нем определялись направления совершенствования административной системы, планирования, организационной структуры, ценообразования, финансов и кредита, управления внешнеэкономическими связями и пр., изложенную нами в соответствии с уже разработанной к тому времени ЦЭМИ АН СССР теорией СОФЭ»¹³⁶.

Видимо, не случайно тучи быстро стустились над представителями экономико-математических исследований. В мае 1975 г. Бюро Московского городского комитета КПСС (МГК КПСС) рассмотрело вопрос «О недостатках в подборе, расстановке и воспитании кадров в Центральном экономико-математическом институте (ЦЭМИ) АН СССР». В постановлении бюро отмечалось, что дирекция не проявляла должной активности и принципиальности в критике буржуазных экономических концепций. В центре критики оказался кадровый потенциал института. Основные его недостатки были якобы результатом того, что партбюро и дирекция недостаточно серьезно занимались подбором, расстановкой и воспитанием кадров. В частности, отмечалось, что «среди 63 ведущих лабораторий и секторами более 40% — беспартийные», а 8 сотрудников института участвовали «в подготовке писем антисоветского содержания»¹³⁷. В постановлении директору института Н. П. Федоренко и его заместителю С. С. Шаталину было указано на серьезные недостатки. В информационном письме, направленном в ЦК КПСС, Бюро МГК КПСС отметило, что Президиум Академии наук СССР освободил от должностей заместителя директора ЦЭМИ С. С. Шаталина и Н. Я. Петракова.

Позднее, в 1983 г., аналогичным образом критиковал ЦЭМИ АН СССР генеральный секретарь ЦК КПСС К. У. Черненко¹³⁸.

Пророка нет в отечестве своем...

С учетом опыта борьбы с проблемами внедрения новых механизмов планирования и управления в экономике СССР можно сформулировать возможности цифрового развития методов моделирования с использованием суперкомпьютерных технологий в России.

¹³³ Российский государственный архив новейшей истории. Ф. 5. Оп. 67. Д. 152. Л. 152–169.

¹³⁴ В 1966–1982 гг. секретарь ЦК КПСС, курировал промышленность, капитальное строительство, транспорт и связь.

¹³⁵ Федоренко Н. П. Вспоминая прошлое, заглядывая в будущее. М., 1999. С. 373–374.

¹³⁶ Федоренко Н. П. Вспоминая прошлое, заглядывая в будущее. М., 1999. С. 373–374.

¹³⁷ Российский государственный архив новейшей истории. Ф. 5. Оп. 69. Д. 543. Л. 1–2.

¹³⁸ Балакин В. С. Из социальной истории советской науки: академики В. С. Немчинов и Н. П. Федоренко защищают экономико-математические методы оптимального планирования (1960-е — середина 1970-х гг.) // Вестник Пермского университета. Серия «История» // 2018. Вып. 4. С. 88–97.

ГЛАВА 2. БАЗОВЫЕ ТРЕНДЫ ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

2.1. Перспективные тренды цифрового развития, которые могут обеспечить решение проблем управления экономикой России

Задачи построения в России цифровой экономики актуализируют теоретические и практические разработки в этой сфере, в основе чего лежат следующие положения.

Цифровая транзакция является инструментом быстрого (моментального) сбора информации об итоге конкретной финансово-хозяйственной операции, что позволяет более быстро и точно принять новое управленческое решение, а на его основе — следующее решение. Т. е. получается мультиплицирующий эффект для всей экономики в отличие от традиционной схемы управления, когда информация о ходе выполнения сделки и ее результатах растянута во времени.

Использование цифровых технологий в различных областях предметной (бизнес, государственное управление, социальное обслуживание, обеспечение личной и общественной безопасности и т. п.) деятельности за счет реализации соответствующих агентных моделей позволяет обеспечить со стороны государства общий мониторинг и контроль движения (финансовой и товарной транзакции) каждого конкретного товарного объекта, ценной бумаги и т. п. Использование пула ключевых цифровых технологий также позволяет качественно расширить возможности мониторинга и маркетинга с ранее недоступной степенью детализации и обновления данных для осуществления планирования и регулирования рыночного социально-экономического развития.

Сейчас в США происходит активная модернизация государственного и корпоративного управления на основе использования цифровых технологий (рисунок 2.1).

Советский опыт, а также опыт ведущих стран в этой сфере позволяют выделить перспективные тренды цифрового развития, которые могут обеспечить решение проблем управления экономикой России.

В сложившихся условиях необходимо организационное структурирование технологий, процессов и процедур анализа динамики генерации определенными лицами процессов движения товарных объектов, опосредуемых цифровыми транзакциями, во временной, корпоративной и пространственной разбивке для выяснения устойчивых связей с определенными структурами или процессами как основы перехода к принципиально новому этапу контроля и управления развитием экономических систем (компаний, отраслей, комплексов и т. п.) России. В результате создается возможность итогового выхода российской экономики на новое качество управления путем формирования многоуровневой совокупности информационных систем управления с увеличением объемов автоматизации и повышением количественных и качественных характеристик сбора, обработки, хранения, распределения информации, а также экономико-математического моделирования, используемых для поддержки принятия управленческих решений.

Такая система позволяет анализировать и прогнозировать деятельность экономических структур на качественно новом уровне. Это дает возможность получить итоговую резюмирующую информацию о хозяйствующих субъектах и их агрегированных группах, отсутствующую в явном виде в информационных источниках. На основе агентного моделирования и других методов создается возможность кластеризации динамично изменяющихся экономических систем и отдельных субъектов, обладающих комплексом разнородных экономических, организационных и т. п. характеристик в условиях высокого уровня стохастических информационно-статистических шумов и помех традиционным аналитическим методам в анализируемых процессах.

Принципиальная особенность предлагаемого механизма организации интеграции всех участников управленческой (в т. ч. фискальной и правоохранительной) деятельности в России заключается в использовании новых организационно-информационных возможностей для анализа динамики генерации определенными лицами движения товарных объектов и финансовых средств, опосредуемых цифровыми транзакциями на основе единых принципов управления

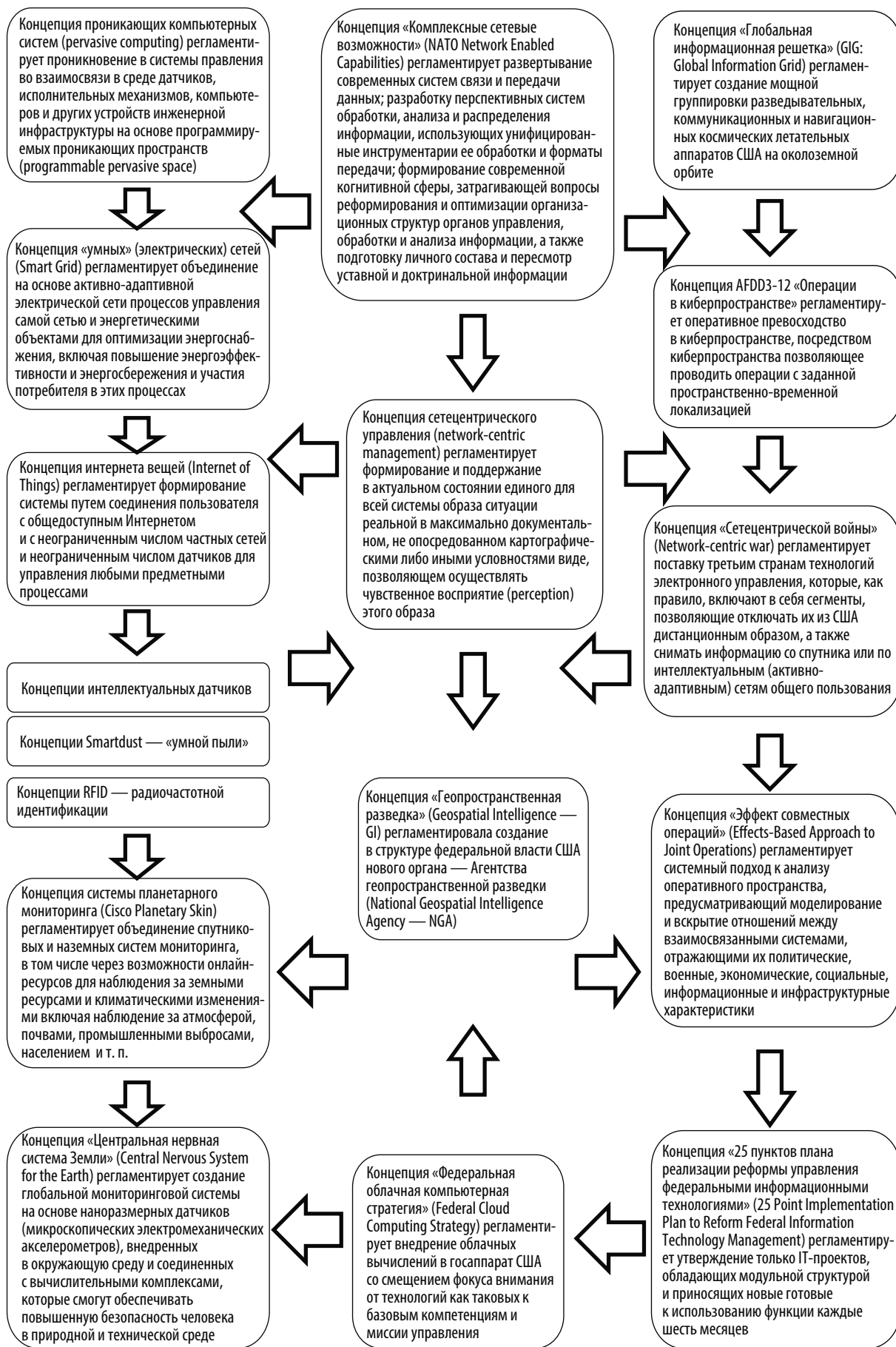


Рисунок 2.1. Тенденции модернизации государственного и корпоративного управления в США на основе использования цифровых технологий

с внедрением межведомственной конвергентной информационно-вычислительной платформы. Такая платформа является базой для мониторинга и управления группы ключевых министерств и ведомств с базовым центром управления информационной сетью, осуществляющей сбор данных для анализа трафика цифровых транзакций. Собираемая информация позволяет осуществлять построение информационной модели экономических связей, включающей в себя конкретные хозяйствующие субъекты и описание их взаимосвязей для организационной мультипликации, позволяющей многократно ускорить процессы оптимизации выработки и реализации организационно-управленческих решений.

Здесь прежде всего важны формы получения достоверной информации о деятельности российских коммерческих структур и их реальном влиянии на результаты экономического развития на разных уровнях российской экономики (федеральном, региональном, корпоративном) на базе цифровых технологий. Осуществление программы «Цифровая экономика Российской Федерации» в случае полноценной реализации позволит превратить их в интеллектуальное ядро инфокоммуникационной экономической инфраструктуры, отвечающее задачам повышения международной конкурентоспособности российской экономики до уровня наиболее развитых стран мира.

Реализация данного подхода требует организации интеграции всех участников управленческой (в т. ч. фискальной и правоохранительной) деятельности, создающей для российских государственных органов возможности обеспечить нужную степень контроля происходящих экономических процессов и деятельности экономических структур на основе единых принципов управления группы ключевых министерств и ведомств (с базовым центром управления информационной сетью), осуществляющей сбор данных для анализа трафика цифровых транзакций.

На рисунке 2.2 приведена общая схема формирования конвергентной информационной платформы, которая объединяет телематические, вычислительные и информационные сервисы в экономике.

Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» закладывает общие основы такой системы, пока не детализируя ее составляющие.

Некоторые более адаптированные для работы в особых условиях элементы необходимых информационных сервисов уже функционируют в России (система ситуационных центров, например, на уровне губернаторов или ФОИВ). Однако они также нуждаются в глобальной конвергентной настройке, улучшении интероперабельности и совместного взаимодействия¹³⁹.

Очень интересен опыт создания таких систем в советское время. Пока этот опыт практически не обнародован. Так, для устойчивого функционирования экономики страны в мирный, переходный и «особый» периоды с начала 1970-х гг. создавалась соответствующая система для высших звеньев управления страной: ЦК КПСС, Совет Министров СССР, Госплан СССР, ведущие министерства и ведомства. Система охватывала работу нескольких сотен предприятий с их номенклатурой продукции. У абонентов устанавливались специальные пункты приема и передачи информации. В «особый» момент страна переводилась на план работы особого времени (план расчетного года) с соответствующим «реинжинирингом» всей мирной и оборонной промышленности.

Для построения плана «реинжиниринга» были разработаны и реализовывались сложные математические модели, состоящие из тысяч дифференциальных и линейных разностных уравнений. В советское время считалось, что всю промышленность можно было детально описать, вплоть до «последнего гвоздя». Тогда это было на уровне полной уверенности, фетиш государственного плана был почти нерушимым. Сейчас трудно себе представить, но в этой системе (тогда не было персональных ЭВМ, геоинформационных систем, информация вводилась в машину с перфокарт) рельеф местности, дороги, маршруты, препятствия и пр. были введены параметрами в уравнения. Так что, как только происходило непредвиденное изменение обстановки, ущерб идентифицировался, и оптимальным образом готовилось решение о реструктуризации про-

¹³⁹ Логинов Е. Л., Грабчак Е. П., Григорьев В. В., Райков А. Н., Шкута А. А. Управление экономикой России в условиях с предельно большой компонентой неопределенности развития чрезвычайных ситуации и критического недостатка информации // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2019. № 4. С. 104–110.

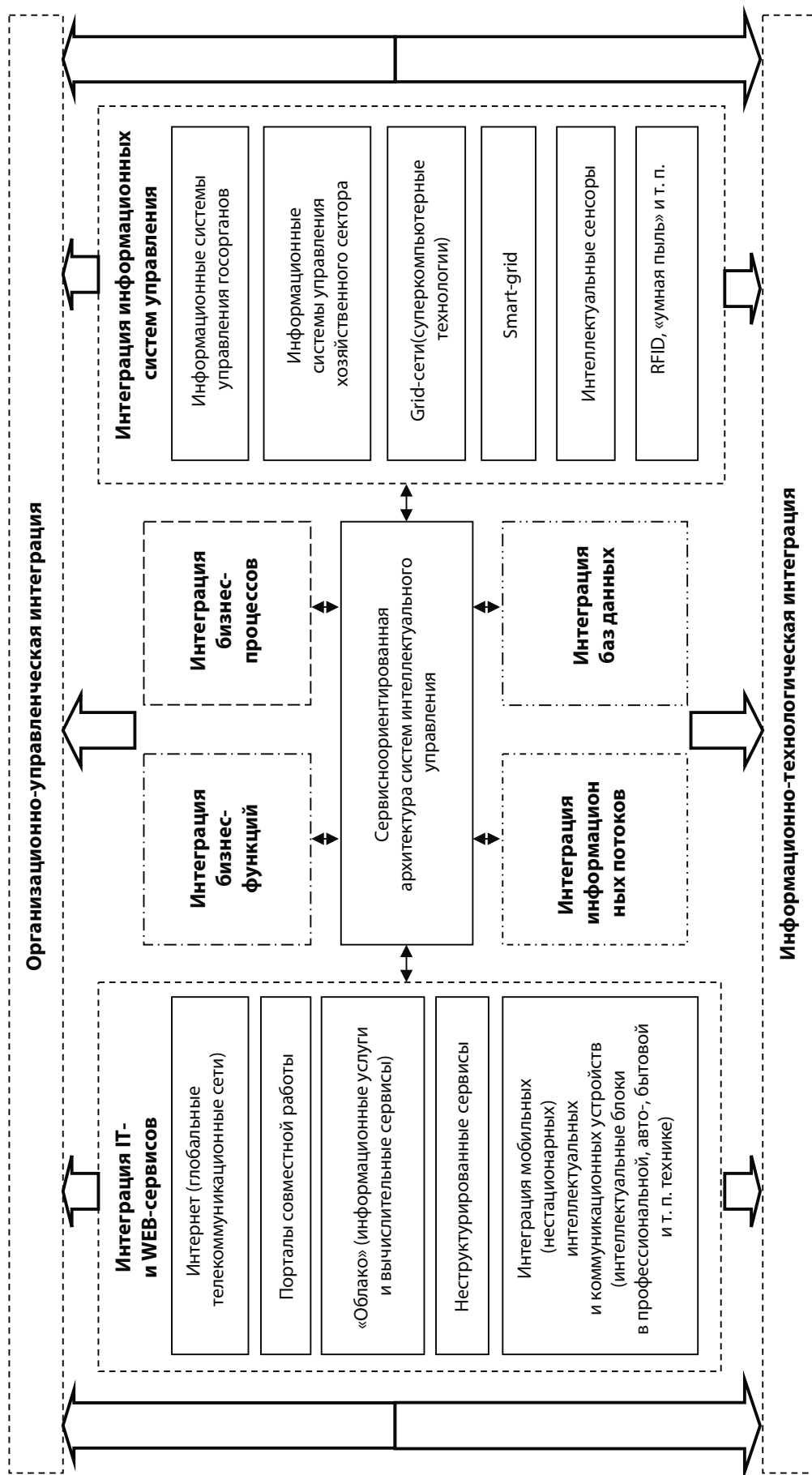


Рисунок 2.2. Общая схема формирования конвергентной информационной платформы, объединяющей телематические, вычислительные и информационные сервисы

мышленности, смене выпуска вида продукции, реконструкции изделий и пр. Несколько узловых наземных и подземных объектов с многомашинными вычислительными комплексами обеспечивали неуязвимость системы управления экономикой страны¹⁴⁰.

В рамках предлагаемой к разработке стратегической модели возникает возможность упрощения и ускорения процессов и процедур планирования, настройки, управления, оптимизации и восстановления параметров работы всего комплекса информационных систем. Для этого необходимо формирование как минимум квазиединого комплекса информационных систем на основе принципа оптимизации кооперативного поведения в нечетких средах для возможности сохранить за пределами зоны поражения (или снизить ущерб в самой зоне поражения) критически важные — для поддержания управления экономикой — цифровые мощности и массивы информации¹⁴¹.

С точки зрения обеспечения интероперабельности в архитектуру телематических, вычислительных и информационных сервисов следует включить компоненты, составляющие инвариантное ядро интеграции стандартизированных сетевых инфраструктур с применением интеллектуальных, облачных и туманных принципов (трансгранично удаленных, распределенных в Сети серверов, устойчивых к выпадению сегментов телекоммуникационных сетей или вычислительных мощностей). Эти принципы предполагают территориально распределенную обработку и хранение данных на основе взаимодействия и объединения корпоративных сетевых сред различных владельцев, интегрируемых из отдельных квазиавтономных элементов в сети распределенных центров облачных и туманных вычислений, принадлежащих структурам любой формы собственности¹⁴².

Необходима интеграция информационных систем различных компьютерных кластеров и их институционального обеспечения в рамках комплекса информационных систем государственных ведомств и социально значимых коммерческих структур, которая, формируя драйвер сетевого взаимодействия, обеспечивает возможность поддержания в каждой из них стандартного набора информационных, вычислительных и т. п. сервисов как составляющих динамического вычислительного мегакластера госведомств России¹⁴³. Предлагается формирование набора информационных, вычислительных и т. п. сервисов, рассчитанных как на обычные, так и на чрезвычайные условия, в том числе с возможностью поддержания выделенного контура управления и финансирования, способного функционировать в зоне поражения, вызывающего коллапс обычных систем и методов управления экономикой.

В этом случае создается возможность формирования временной, ресурсной или операционно-режимной матрицы с когнитивной семантической интерпретацией элементов создаваемых моделей изучаемого экономического процесса (например, поставок материальных ресурсов) с использованием принципов вариационного нормирования ресурсов и их распределения.

В рассматриваемой интегрированной информационной структуре управления экономикой создается возможность принципиального повышения эффективности организационных механизмов государственного и корпоративного управления с реализацией анализа взаимосвязей ключевых элементов с использованием многоаспектной интерпретации систематики связей и операционно-режимных управляющих транзакций^{144, 145}.

¹⁴⁰ Агеев А. И., Логинов Е. Л., Райков А. Н. Информационные системы управления в чрезвычайных ситуациях // Экономические стратегии. 2019. Т. 21, № 2 (160). С. 20–29.

¹⁴¹ Самонастраивающаяся система — кибернетическая (или динамическая) адаптивная система, в которой запоминание информации (накопление опыта) выражается в изменении тех или иных ее параметров, существенных для целей системы. <https://ru.wikipedia.org/wiki>.

¹⁴² Логинов Е. Л., Грабчак Е. П., Григорьев В. В., Райков А. Н., Шкута А. А. Планирование мер поддержания интерактивной коммуникации информационных систем с учетом угроз возможного коллапса управления экономикой в особый период // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2019. № 4. С. 111–118.

¹⁴³ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д. Ситуационное моделирование — эффективный инструмент для стратегического планирования и управления // Управленческое консультирование. 2016. № 6 (90). С. 26–39.

¹⁴⁴ Логинов Е. Л., Григорьев В. В., Бойко П. А., Сорокин Д. Д., Логинова В. Е. Использование интеллектуальных технологий мониторинга и моделирования для когерентно-резонансного балансирования инфляционных процессов при денежной эмиссии в экономике России // Вестник Московского университета МВД России. 2019. № 2. С. 230–235.

¹⁴⁵ Бахтизин А. Р., Макаров В. Л., Сушко Е. Д., Сушко Г. Б. Система проектирования масштабируемых агент-ориентированных моделей, включающих популяции агентов разных типов с динамически изменяющейся численностью и сложными многоэтапными взаимодействиями агентов, образующих социальные сети // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020612410, 20.02.2020. Заявка № 2020611366 от 06.02.2020.

2.2. Суперкомпьютерные технологии в моделировании социально-экономических систем

В последние годы в число приоритетных направлений в информационных технологиях уверенно вошли отдельные отрасли гуманитарных наук — в частности, создание систем краткосрочного и долгосрочного предсказательного моделирования социальных явлений и событий с использованием суперкомпьютерных технологий. Отметим, что развитие суперкомпьютерных технологий является приоритетным направлением модернизации экономики России, которая позволит поднять степень ее технологического развития до уровня мировых лидеров. На рисунке 2.3 показана суммарная производительность 500 самых мощных вычислительных систем мира. Как мы видим, она растет по экспоненте, и, по прогнозам, отдельные суперкомпьютеры достигнут эксафлопсной производительности на рубеже 2022–2023 гг.

На рисунке 2.4 показано распределение суперкомпьютеров из топ-500 по странам в 2021 г. Как мы видим, самые мощные системы функционируют в Китае и США. Что касается России, то, по последним данным рейтинга топ-500 от ноября 2021 г., в этот список вошли семь суперкомпьютеров: 1) Червоненкис («Яндекс»), 2) Галушкин («Яндекс»), 3) Ляпунов («Яндекс»), 4) Christofari Neo («Сбер»), 5) Christofari («Сбер»), 6) «Ломоносов-2» (МГУ), 7) MTS GROM (МТС).

На рисунке 2.5 приведены данные 2021 г. по производительности самых мощных суперкомпьютеров из топ-500 в разрезе наиболее заметных в этой сфере стран. США, Япония и Китай — в лидерах, но по данному показателю США и Китай поменялись местами, т. е. суммарная мощность суперкомпьютеров США выше китайских. На долю России приходится 2,43% (73,7 петафлопса).

Отметим, что если до начала 2000-х гг. превосходство США в гонке производительности суперкомпьютеров было практически абсолютным, то за последние 10 лет сильно прибавил Китай (рисунок 2.6), несмотря на некоторые усилия США приостановить этот рост. Так, в 2015 г. компания Intel подала заявку на экспорт процессоров для обновления китайского суперкомпьютера «Млечный путь — 2», который на тот момент возглавлял список топ-500, однако пра-

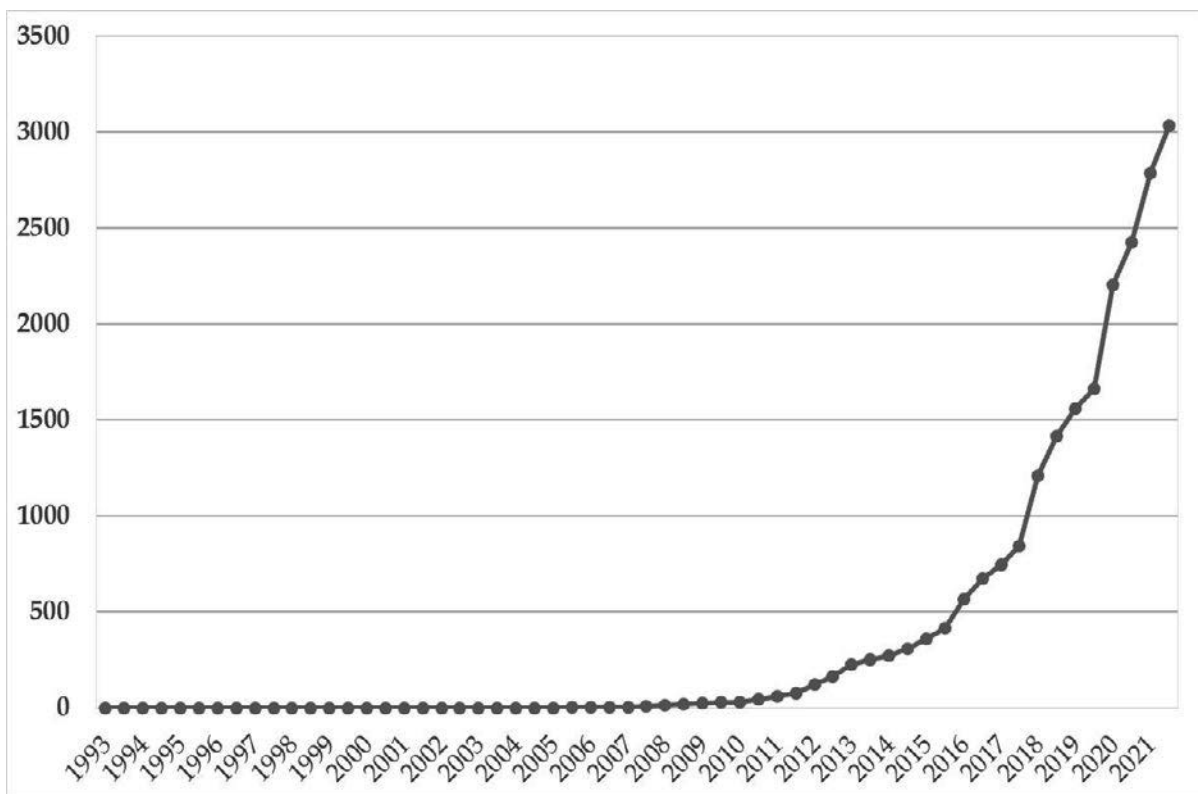


Рисунок 2.3. Суммарная производительность топ-500 суперкомпьютеров мира, петафлопс (по данным портала <https://www.top500.org>)

вительство США заблокировало данную инициативу из-за опасения развития ядерной программы КНР. Тем не менее уже в 2016 г. в Китае был введен в эксплуатацию суперкомпьютер Sunway TaihuLight, построенный на 260-ядерных процессорах собственного производства SW26010, причем он лидировал в списке с июня 2016 г. по июнь 2018 г., демонстрируя производительность на тесте Linpack в 93,01 петафлопса.

Что касается России, то на рисунке 2.7 показана доля России в суммарной производительности суперкомпьютеров из топ-500. Пики в 2011 и 2014 гг. обусловлены вводом в эксплуатацию суперкомпьютеров «Ломоносов» и «Ломоносов-2». Затем некоторое время доля снижалась, но запуск суперкомпьютеров от «Сбера» и «Яндекса» в 2021 г. вернула позиции России практически до 2,5%. Развитие суперкомпьютерных технологий является приоритетным направлением модернизации экономики России, и в дальнейшем планируется значительное увеличение мощности суперкомпьютеров Московского университета, что позволит дополнительно повысить рейтинг страны в списке топ-500.

С другой стороны, по оценкам аналитической компании IDC (International Data Corporation), общий объем данных в мире к 2025 г. достигнет 175 зеттабайт, что означает почти 150-кратный рост за 15 лет (1200 эксабайт в 2010 г.). Как полагают аналитики, наибольший вклад в этот огромный прирост внесут следующие сферы: Интернет (блоги, социальные сети и т. д.), финансы (биржевые индексы, аналитические материалы и т. д.), здравоохранение (данные о пациентах, лекарствах, способах лечения и т. д.), астрономия (детализированные изображения галактик), биоинформатика (данные о 3,3 млрд оснований нуклеиновых кислот в геноме человека, протеиновые последовательности и их анализ), библиотеки (текстовые данные, фото, карты и т. д.).

Необходимость обработки такого объема данных обуславливает появление аналитических систем нового поколения, включающих в себя усовершенствованные методы вычислений, распознавания образов, организации хранилищ, сбора статистики с целью извлечения смысла из данных и получения информационного контекста. Ставка делается в том числе и на агентоориентированные бизнес-модели (ABM), относящиеся к классу моделей, основанных на индивидуальном поведении агентов и создаваемых для компьютерных симуляций. Основная идея, реализуемая в ABM, заключается в построении вычислительного инструмента, представляющего собой совокупность агентов с определенным набором свойств и позволяющего проводить симуляции реальных явлений.

С помощью ABM можно смоделировать систему, максимально приближенную к реальности. Появление ABM следует трактовать как результат эволюции методологии моделирования: пере-

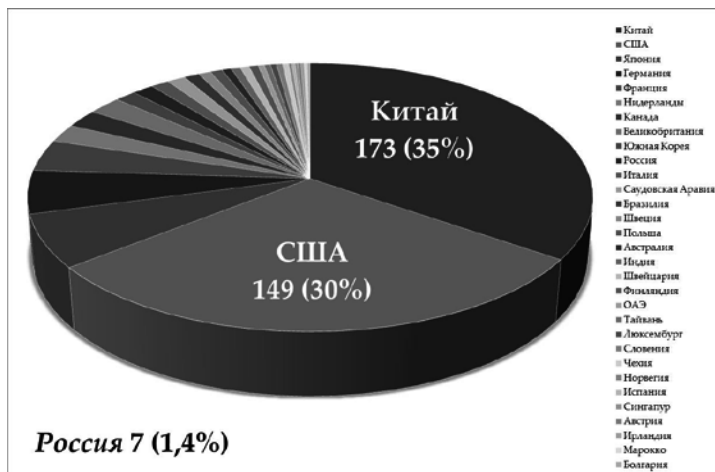


Рисунок 2.4. Распределение суперкомпьютеров из топ-500 в 2021 г. по странам (по данным портала <https://www.top500.org>)

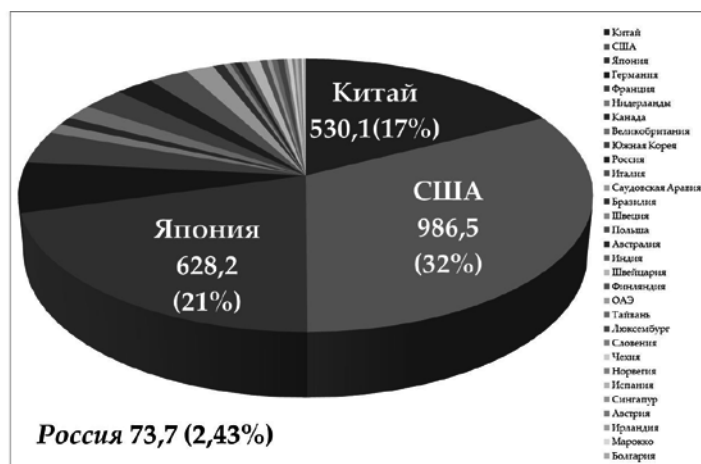


Рисунок 2.5. Производительность топ-500 суперкомпьютеров в 2021 г. по странам, петафлопс (по данным портала <https://www.top500.org>)

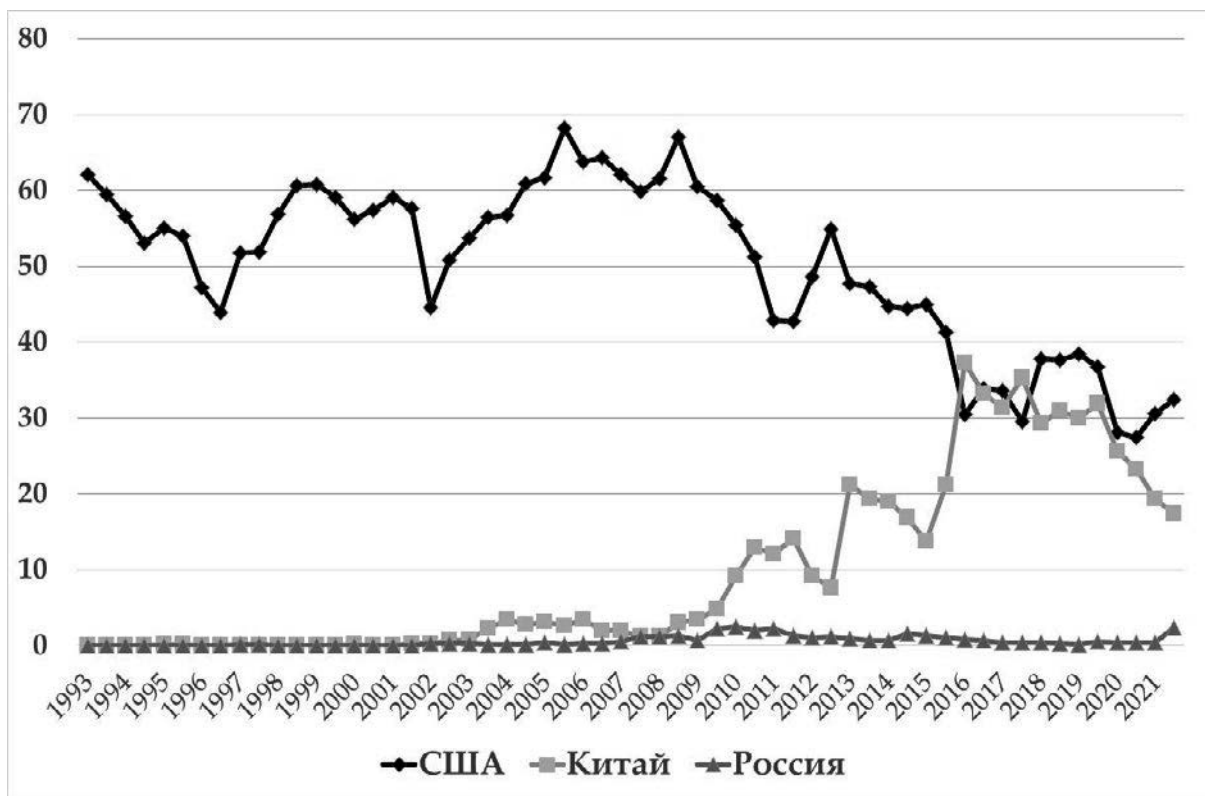


Рисунок 2.6. Доля стран в суммарной производительности суперкомпьютеров из топ-500 (по данным портала <https://www.top500.org>)

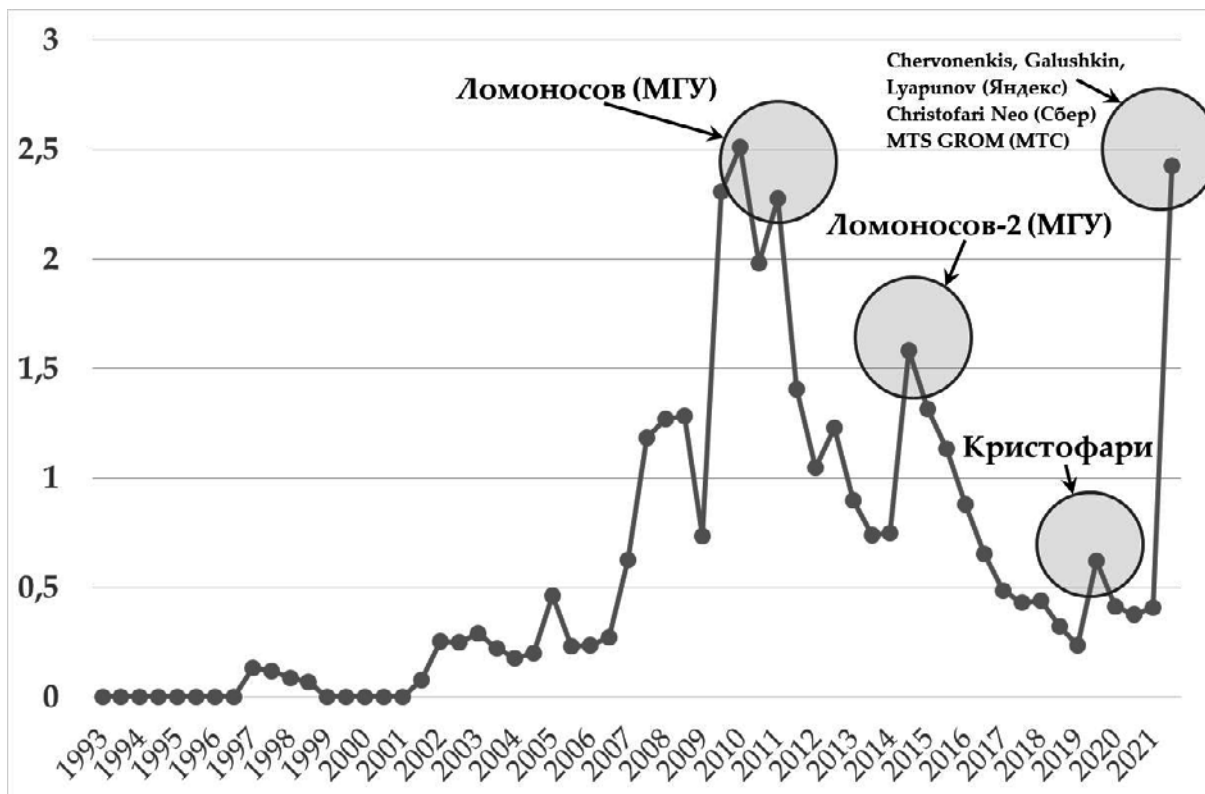


Рисунок 2.7. Доля России в суммарной производительности суперкомпьютеров из топ-500 (по данным портала <https://www.top500.org>)

ход от мономоделей (одна модель — один алгоритм) к мультимоделям (одна модель — множество независимых алгоритмов). При этом агент в АВМ является автономной сущностью, имеющей, как правило, графическое представление, с определенной целью функционирования и возможностью обучения в процессе существования до уровня, определяемого разработчиками соответствующей модели. В качестве примеров агентов могут рассматриваться: 1) люди (или иные живые организмы), роботы, автомобили и другие подвижные объекты; 2) недвижимые объекты; 3) совокупности однотипных объектов. В целом агентами в АВМ могут быть любые наблюдаемые в реальной жизни объекты, однако основной задачей учета этих объектов в рамках модели является их корректная спецификация. Отметим, что общая особенность и одновременно главное отличие всех АВМ от моделей других классов — наличие в них большого числа взаимодействующих друг с другом агентов.

Более подробно про агентные модели можно прочитать в монографиях авторов¹⁴⁶.

В силу фактически экспоненциального роста данных обозначается дальнейший тренд развития АВМ — построение АВМ с использованием суперкомпьютерных технологий (в том числе на базе геоинформационных систем). Это направление активно развивается, а на мировых конгрессах, посвященных АВМ, оно уже давно обсуждается не только на специализированных сессиях, но и в рамках пленарных выступлений.

Актуальность использования суперкомпьютерных технологий для разработки АВМ обусловлена тем, что оперативная память обычного персонального компьютера не способна вместить то количество объектов программной среды, которое соответствует, например, населению земного шара или даже отдельных густонаселенных стран. Запуск оригинальной модели в специализированных средах для разработки АВМ с количеством агентов, превышающим несколько миллионов, уже приводит к исчерпанию оперативной памяти персонального компьютера.

Подобным же образом дела обстоят и с производительностью. Для пересчета состояния масштабной системы с нетривиальной логикой поведения и взаимодействия агентов требуются значительные вычислительные ресурсы, сопоставимые с потребностями вычислительных методов математической физики с аналогичным количеством расчетных ячеек. Но в отличие от последних поведение агентов включает в себя элементы случайности, поэтому требуется провести целую серию расчетов и найти вероятностное распределение ключевых характеристик итогового состояния моделируемой среды.

Названные факторы обуславливают необходимость масштабных экспериментов с использованием суперкомпьютерных версий моделей, в которых популяция агентов распределяется по множеству узлов суперкомпьютера и расчеты выполняются параллельно. При этом возникает задача адаптации разрабатываемых в традиционных программных средах моделей для суперкомпьютеров.

Как и при создании суперкомпьютерных программ для решения многих физических задач, потенциал для распараллеливания многоагентных систем кроется в использовании локальности межагентного взаимодействия. В модели, как и в реальной жизни, большая часть взаимодействий происходит между субъектами, находящимися неподалеку. Это позволяет использовать подход распараллеливания «по пространству», т. е. разместить популяцию агентов на узлах суперкомпьютера наиболее равномерно и с учетом близости их географического положения. Таким образом, разбиение территории, на которой проживают агенты, на так называемые кварталы обеспечивает базовую возможность для распараллеливания задачи. Это наиболее часто встречающийся на практике подход для случаев, когда взаимодействие элементов моделируемой системы, будь то агенты в многоагентных системах или отдельные расчетные ячейки с усредненными параметрами моделируемой физической среды, удовлетворяет принципу пространственной локализации: связи и обмен данными имеют место преимущественно для элементов с близкими координатами и отрабатываются практически мгновенно в пределах каждого вычислительного узла.

¹⁴⁶ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р. Социальное моделирование — новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика, 2013.

Обратимся к зарубежным разработкам в области построения АВМ с использованием суперкомпьютерных технологий, преимущественно тех, которые направлены на моделирование социальных систем и процессов, связанных с их функционированием.

На основе анализа большого количества зарубежных научных публикаций были конкретизированы основные направления использования суперкомпьютерных технологий применительно к общественным наукам. Ниже перечислены наиболее цитируемые из них и с указанием конкретных проектов:

- прогнозирование развития социально-экономических систем — стран, регионов, городов (примеры: проекты EURACE и FuturICT);
- воспроизведение исторических событий (примеры: 1) исследование гоминидов (Университет Цюриха); 2) средневековые военные походы — например, поход византийской армии на Манцикерт, 1071 г. н. э. (Школа информатики Бирмингемского университета);
- моделирование миграционных процессов (примеры: проекты Pandora; EURACE и FuturICT);
- моделирование распространения эпидемий (примеры: 1) Центр социальной и экономической динамики Брукингского института — Глобальная агентная модель пандемии (Global-Scale Agent Model (GSAM)); 2) Институт биоинформатики Вирджинии — проект EpiFast);
- моделирование транспортных систем (примеры: 1) транспортный симулятор X10 от Токийской лаборатории компании IBM; 2) платформа POLARIS от Аргоннской национальной лаборатории);
- имитация и оптимизация пешеходного движения (пример: проект Университета Шеффилда);
- предсказание политических событий на основе сканирования новостей (пример: анализ контекстного содержания статей в Центре вычислительных наук Университета Теннесси);
- прогнозирование экологического состояния окружающей среды и т. д. (примеры: EURACE; FuturICT; оценка Сценария национального планирования № 1 — плана федерального правительства Соединенных Штатов на ядерную атаку (National Planning Scenario 1 (NPS1)).

Рассмотрим некоторые более подробно.

2.3. Зарубежный опыт реализации агентных моделей на суперкомпьютерах

FuturICT — беспрецедентный междисциплинарный проект по моделированию технологической, социальной и экономической систем мира, стартовавший в 2012 г. и вовлекший ученых практически из всех развитых стран. Срок его реализации составляет 10 лет, а начальное финансирование — 1 млрд евро. Руководители проекта делают особый акцент на использовании самых передовых информационных технологий.

Финансовый кризис, международные конфликты, терроризм, распространение заболеваний и киберпреступности, а также демографические, технологические и экологические изменения свидетельствуют о том, что число проблем, с которыми сталкивается человечество, и их острота только нарастают. При этом спрос на научные исследования в этой области явно не удовлетворяется. Поскольку технологические, социальные и экономические системы становятся все более сложными, используемые в повседневной практике инструменты не позволяют получать реалистичные прогнозы и проводить мониторинг состояния этих систем. Кроме того, одной из наиболее актуальных задач, стоящих перед наукой XXI в., является выявление скрытых законов и процессов, лежащих в основе функционирования и развития сложных систем.

Использование новейших достижений в области естественных и общественных наук позволит разработать систему мониторинга состояния глобальной социально-экономической системы мира, с помощью которой возможно в числе прочего прогнозировать:

- развитие социально-экономических систем (страновой уровень);
- общественные настроения;
- миграционные процессы;
- демографическую ситуацию;
- состояние окружающей среды.

По мнению Д. Хелбинга (D. Helbing), одного из руководителей проекта, несмотря на актуальность разработки таких многоуровневых систем и существование некоторых их компонентов, институциональные барьеры и нехватка ресурсов тормозят разработку комплексного продукта. Его отсутствие открывает перед FuturICT перспективу стать первым в своем роде.

Организационно проект реализуется как сеть национальных центров, каждый из которых представлен несколькими научными учреждениями в рамках одной страны. Национальные научные сообщества имеют определенную степень автономии, но вместе с тем и набор обязательств. Помимо такой сети проект предполагает еще и наличие проблемно ориентированной сети, включающей головные центры нескольких стран и направленной на решение отдельных научных проблем. Таким образом, FuturICT интегрирует организации на институциональном и проблемном уровнях.

Предлагаемая участниками проекта платформа включает в себя три составляющие:

- Planetary Nervous System («нервная система планеты»);
- Living Earth Simulator («симулятор живой планеты»);
- Global Participatory Platform («глобальная объединенная платформа»).

Набор моделей, формирующих «симулятор живой планеты», благодаря наблюдательным пунктам позволит обнаруживать кризисы и находить эффективные решения для смягчения их последствий. С целью верификации и калибровки этих моделей будут использоваться данные, собираемые в режиме реального времени с помощью «нервной системы планеты». Результаты работы двух первых частей FuturICT будут сводиться воедино на «глобальной объединенной платформе», с которой должны взаимодействовать лица, принимающие решения.

Различного рода наблюдательные пункты (финансовые, экономические, энергетические, транспортные) делятся на четыре группы основных направлений исследований: в области общественных отношений, технологического и экономического развития, а также мониторинга состояния окружающей среды. «Нервную систему планеты» можно представить в виде глобальной сети «сенсоров», собирающих информацию о социально-экономической, технологической и экологической системах мира. Для ее построения координаторы проекта FuturICT тесно сотрудничают с командой С. Пентленда (S. Pentland) из Массачусетского технологического института (MIT) с целью «подключения сенсоров» к современным гаджетам. В рамках «симулятора живой планеты» предполагается реализовать открытую программную платформу, которая, по мнению инициаторов проекта, будет напоминать магазин приложений для продуктов компании Apple — AppStore: ученые, разработчики и заинтересованные лица смогут загружать собственные и скачивать другие модели, относящиеся к различным районам планеты и тематическим областям. При этом основной подход к моделированию будет основан на агент-ориентированной парадигме. Унифицированные модельные компоненты в дальнейшем предполагается реализовывать одновременно с использованием суперкомпьютерных технологий.

«Глобальная объединенная платформа» также будет открытой площадкой для коалиционного обсуждения получаемых с помощью FuturICT прогнозов развития мира — с представителями гражданского общества, власти и бизнес-сообщества.

Крупномасштабная АВМ европейской экономики — EURACE, или Europe ACE (Agent-based Computational Economics — агент-ориентированная вычислительная экономика), отличается очень большим числом автономных агентов, взаимодействующих в рамках социально-экономической системы. Этот проект стартовал в сентябре 2006 г.¹⁴⁷ В него вовлечены экономисты и программисты из восьми научно-исследовательских центров Италии, Франции, Германии, Великобритании и Турции, а также консультант из Колумбийского университета США нобелевский лауреат Дж. Стиглиц.

Методология ACE была положена в основу исследования, с тем чтобы преодолеть ограничения широко распространенных моделей, в которых рассматриваются агрегированные агенты

¹⁴⁷ EURACE: A Massively Parallel Agent-Based Model of the European Economy / Christophe Deissenberg, Sander van der Hoog, Herbert Dawid. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00339756/document>.

и которые предполагают их рациональное поведение в состоянии равновесия. Для модели используется географическая информационная система, охватывающая широкий перечень объектов — предприятия, магазины, школы, транспортные сети и т. д. Фиксируются три типа агентов: домашние хозяйства (около 10^7), предприятия (около 10^5) и банки (около 10^2). Все они имеют географическую привязку, а также связаны друг с другом посредством социальных сетей, деловых отношений и т. д.

С помощью разработанной модели был проведен ряд экспериментов с целью исследования рынка труда. Основной вывод исследования, по мнению авторов, заключается в том, что макропоказатели двух регионов со схожими условиями (ресурсы, развитие экономики и т. д.) в течение продолжительного периода (10 лет и более) могут значительно разойтись в силу первоначальной неоднородности агентов (см. www.eurace.org).

Полномасштабная распределенная агентная модель эпидемий. Классические модели пространства эпидемий преимущественно основывались на использовании дифференциальных уравнений, однако такой инструментарий затрудняет учет связей между отдельными агентами и их многочисленными индивидуальными особенностями. АВМ позволяют преодолеть указанные недостатки. В 1996 г. Д. Эпштейн и Р. Акстелл опубликовали описание одной из первых АВМ, в которой рассматривается процесс распространения эпидемий¹⁴⁸. Агенты модели отличаются друг от друга восприимчивостью к заболеванию, обусловленной состоянием иммунной системы, и распределены на определенной территории. Число агентов в данной модели составляет всего несколько тысяч, причем их поведение достаточно примитивно.

В дальнейшем под руководством Д. Эпштейна и Д. Паркера в Центре социальной и экономической динамики Брукингского института (Center on Social and Economic Dynamics at Brookings) была построена одна из самых больших АВМ, включающая в себя данные обо всем населении США — US National Model¹⁴⁹. Данная модель имеет ряд преимуществ. Во-первых, она позволяет предсказывать последствия распространения заболеваний различного типа. Во-вторых, она ориентирована на поддержку двух сред для вычислений: одна среда состоит из кластеров с установленной 64-битной версией Linux, а другая — из серверов с четырехъядерными процессорами и установленной системой Windows (поэтому в качестве языка программирования был выбран Java, хотя разработчики и не уточняют, какую именно реализацию Java они использовали). В-третьих, модель способна поддерживать численность агентов от нескольких сотен миллионов до 6 млрд.

Способ распределения агентов между аппаратными ресурсами включает в себя две фазы: сначала агенты распределяются по компьютерам, задействованным в работе, а затем — по потокам на каждом из компьютеров. В процессе работы модели каждый поток может остановиться (в заранее обусловленное время) для передачи сообщений другим потокам. Все подготовленные к отправке сообщения до определенного момента хранятся в пуле сообщений, а затем одновременно отправляются. Кроме того, при реализации модели применяются две вспомогательные утилиты: первая управляет потоками на отдельном компьютере, вторая следит за тем, чтобы все сообщения между потоками были выполнены до момента возобновления вычислительного процесса.

При распределении агентов по аппаратным ресурсам следует учитывать два обстоятельства: 1) производительность узла напрямую зависит от числа инфицированных агентов; 2) контакты, предполагающие передачу сообщений между потоками, требуют гораздо больших вычислительных затрат, чем контакты, ограничивающиеся локальной информацией. Исходя из этого, можно, с одной стороны, поделить все рассматриваемое географическое пространство на равные части, число которых должно соответствовать числу узлов, а затем определить для каждого узла какой-либо географический регион. Такое распределение позволяет сбалансировать вычислительную

¹⁴⁸ Epstein, J.M., & Axtell, R. (1996). *Growing artificial societies: Social science from the bottom up*. Brookings Institution Press. <https://psycnet.apa.org/record/1996-98878-000>.

¹⁴⁹ Parker J. (2007). A Flexible, Large-Scale, Distributed Agent Based Epidemic Model. Center on Social and Economic Dynamics. Working Paper No. 52.

нагрузку между узлами. С другой стороны, можно закрепить определенную территорию, представляющую собой единую административную единицу, за конкретным узлом. В этом случае вычислительную нагрузку удастся сократить за счет снижения числа контактов, предполагающих передачу сообщений между потоками. Если первый способ распределения агентов влечет за собой увеличение вычислительной нагрузки за счет ресурсоемких контактов, то второй в ряде случаев чреват значительным дисбалансом между аппаратными ресурсами.

US National Model включает в себя 300 млн агентов, перемещающихся по карте страны в соответствии с матрицей корреспонденций размерностью 4000×4000, специфицированной с помощью гравитационной модели. На рассматриваемой модели был проведен вычислительный эксперимент, имитирующий 300-дневный процесс распространения болезни, которая характеризуется 96-часовым периодом инкубации и 48-часовым периодом заражения. В исследовании, в частности, было установлено, что распространение заболевания идет на спад, после того как 65% зараженных выздоровели и приобрели иммунитет. Эту модель неоднократно использовали специалисты Университета Джонса Хопкинса (Johns Hopkins University), а также Департамента национальной безопасности США в рамках исследований, посвященных стратегии быстрого реагирования на различного рода эпидемии¹⁵⁰.

В 2009 г. была создана вторая версия US National Model, включающая в себя 6,5 млрд агентов, спецификация действий которых проводилась с учетом имеющихся статистических данных. С ее помощью имитировали последствия распространения вируса гриппа А(Н1N1/09) в масштабах всей планеты. Ранее подобная модель была разработана в Лос-Аламосской национальной лаборатории (США), и результаты работы с ней были представлены в широкой печати 10 апреля 2006 г.¹⁵¹ Для технической реализации использовался один из мощнейших по тем временам суперкомпьютеров, состоящий из 1024 узлов и имеющий два процессора с частотой 2,4 ГГц и 2 ГБ памяти на каждом. С помощью этой крупномасштабной модели, включающей в себя 281 млн агентов, были рассмотрены сценарии распространения различных вирусов, в том числе и H5N1, с учетом тех или иных оперативных вмешательств: вакцинации, закрытия школ, введения карантина на некоторых территориях.

Имитация на суперкомпьютере средневековых военных действий. По мнению авторов исследования, являющегося составной частью проекта «Средневековые военные действия на решетке» (Medieval Warfare on the Grid — MWGrid), при описании имевших место исторических событий часто не хватает подтверждающих документов, и возникающие пробелы интерпретируются историками во многих случаях с некоторой долей субъективизма без убедительных доказательств. В качестве альтернативы авторы исследования, представители Школы информатики Бирмингемского университета (School of Computer Science, The University of Birmingham, Великобритания), Института археологии и античности Бирмингемского университета (Institute of Archaeology and Antiquity University of Birmingham, Великобритания) и исторического факультета Принстонского университета (History Department, Princeton University, США), предлагают агент-ориентированный подход как инструмент детального воссоздания изучаемых событий.

В статье *Murgatroyd, Craenen, Theodoropoulos et. al.* предлагается использовать агентную модель при исследовании средневековой военной логистики для получения новых сведений, которые могут дополнить или скорректировать известные исторические факты. В качестве примера рассматривается поход византийской армии на Манцикерт (1071 г. н. э.)¹⁵². Считается, что в битве при Манцикерте войско императора Романа Диогена IV насчитывало до 100 тыс. человек. Однако, учитывая продовольственные запасы во встречающихся на пути населенных пунктах, возможность в начале прошлого тысячелетия осуществить поход армии подобной численности на обозначенное расстояние вызывает сомнения. Авторы исследования уделяют основное

¹⁵⁰ Epstein J. M. (2009). Modeling to Contain Pandemics // Nature, vol. 460, p. 687, 6 August.

¹⁵¹ Ambrosiano N. (2006). Avian Flu Modeled on Supercomputer // Los Alamos National Laboratory NewsLetter, vol. 7. no. 8.

¹⁵² Murgatroyd P., Craenen B., Theodoropoulos G., Gaffney V., and Haldon J. 2012: Modelling medieval military logistics: an agent-based simulation of a Byzantine army on the march. *Comput Math Organ Theory* 18. 488–506.

внимание описанию конструкции агентов и их взаимодействий. Для большего правдоподобия армия императора Романа Диогена IV смоделирована в реальном масштабе (1:1), кроме того, с такой же детализацией представлены потребляемые ресурсы (скот, зерно и др.).

Поскольку имитация деятельности десятков тысяч отдельных агентов в окружающей среде с большим набором параметров требует значительной вычислительной мощности, было решено в целях использования суперкомпьютера приложить дополнительные усилия по распараллеливанию программного кода. По заверениям разработчиков, проект «Средневековые военные действия» в части возможной имитации исторических процессов аналогичен известной игре-симулятору С. Мейера (S. Meier) «Цивилизация».

Агентные модели для систем с экзафлопсной производительностью. Исследователи из Аргоннской национальной лаборатории (Argonne National Laboratory, США) работают над созданием агентных моделей нового поколения. По мнению разработчиков, эти модели позволяют достичь существенного прогресса в науке и технике (в том числе в общественных дисциплинах). Они будут вычисляться в рамках систем с экзафлопсной производительностью (10^{18} флоп/с), которые могут прийти на смену существующим суперкомпьютерам петафлопсного уровня (т. е. порядка 10^{15} флоп/с) уже в ближайшие годы (2016–2018 гг.).

К настоящему времени ученые разработали и используют крупномасштабную АВМ — комплексную адаптивную систему рынка электроэнергии (Electricity Markets Complex Adaptive Systems — EMCAS), используемую для оценки последствий дерегулирования рынка электроэнергии в штате Иллинойс. Агенты — производители и потребители электроэнергии — подстраивают свое поведение к изменениям рыночных условий максимально приближенно к реальности.

Реализуются еще три пилотных проекта агентных моделей с экзафлопсной производительностью в области: 1) биоразнообразия микроорганизмов; 2) кибербезопасности; 3) социальных аспектов изменения климата. В рамках третьего проекта предполагается углубленно рассмотреть экономические и социальные эффекты от изменения состояния окружающей среды. По мнению разработчиков, результаты будут иметь важное значение для долгосрочного прогнозирования климата, поскольку изменения в этой области могут оказать существенное влияние на физические факторы. К примеру, выбор топлива и переход на новые технологии в энергетике, скорее всего, повлияют на уровень концентрации двуокиси углерода в атмосфере, и наоборот.

Если в моделировании физических аспектов климата (атмосферные потоки, океаническая циркуляция и т. д.) исследователи добились ощутимых успехов, то в области моделирования населения планеты на долгосрочный период (когда численность может достичь 10^{10} человек) предстоит большая работа. Предполагается, что в модели у каждого агента будет 10^3 (!) внутренних состояний, кроме того, планируется рассмотреть широкий спектр поведенческих типов¹⁵³.

Высокопроизводительные вычисления агентных моделей с использованием графических процессоров. В последнее время все чаще запуск агентных моделей осуществляется с использованием графических процессоров (Graphics Processing Unit, GPU) вместо обычных центральных процессоров (Central Processing Unit, CPU).

Ядра CPU предназначены для исполнения одного потока последовательных инструкций с максимальной производительностью, в то время как GPU изначально проектировались для параллельного выполнения большого числа инструкций. Различия между CPU и GPU связаны еще и с кэшированием (механизмом сохранения копий в промежуточном буфере с быстрым доступом), а также со спецификой механизмов доступа к встроенным контроллерам памяти. Помимо этого частота работы CPU имеет ограничения, связанные с физическими условиями, — работа огромного числа (свыше миллиарда) транзисторов создает помехи внутри схемы, а также с высоким энергопотреблением. Сравнение частот различных процессоров компании Intel свидетельствует о том, что в последние несколько лет частота процессоров уже практически не увеличивается, колеблясь в районе 3,4 ГГц.

¹⁵³ <http://www.dis.anl.gov/exp/cas/index.html> и <http://www.alcf.anl.gov>.

Ресурс дальнейшего увеличения производительности основные разработчики процессоров — компании Intel и AMD — видят в увеличении числа ядер. Так, в 2011 г. получили распространение 8-ядерные процессоры от компании Intel. Эта же компания еще в 2009 г. продемонстрировала опытный образец 48-ядерного процессора, представляющего собой одночиповый облачный компьютер (Single-chip Cloud Computer, SCC), который в ближайшие годы предполагается совершенствовать путем увеличения числа ядер до 100. Однако в настоящее время в CPU число ядер несоизмеримо меньше, чем в GPU.

Поддержка многопоточности у этих двух типов процессоров существенно различается. Если CPU исполняет один-два потока на ядро, то у GPU работа простая и распараллеленная изначально, и видеочипы поддерживают до 1024 потоков на каждый мультипроцессор, которых в чипе несколько штук. Переключение с одного потока на другой в случае CPU предполагает сотни тактов, а GPU переключает несколько потоков за один такт (Берилло, 2013).

Для облегчения вычислений на GPU, поддерживающих технологию GPGPU (General-Purpose Graphics Processing Units), т. е. технологию произвольных вычислений на видеокартах, компания NVIDIA, мировой лидер в разработке графических ускорителей и процессоров для них, выпустила программно-аппаратную архитектуру CUDA (Compute Unified Device Architecture). CUDA позволяет эффективно управлять памятью графического ускорителя, организовывать доступ к его набору инструкций и эффективно осуществлять параллельные вычисления. В основе CUDA API лежит C-подобный язык программирования со своим компилятором и библиотеками для вычислений на GPU. На русскоязычном сайте компании NVIDIA (www.nvidia.ru) приведены данные по увеличению производительности программ за счет переноса расчетов на видеочипы. Усредненные оценки демонстрируют ускорение по сравнению с универсальными процессорами в 30–50 раз.

Представляет интерес деятельность исследовательской группы из Университета Шеффилда (The University of Sheffield, Великобритания), занимающейся разработкой программного обеспечения для построения крупномасштабных пешеходных АВМ с использованием графических процессоров. Городская среда представляет собой сложную пространственную структуру с большим количеством движущихся объектов, и ее визуализация требует высокой производительности. Разработанное программное обеспечение позволяет описывать поведение агентов, а также изменение их данных на высоком уровне (в виде написания соответствующих скриптов) и без непосредственной работы с памятью GPU¹⁵⁴.

В настоящее время в распоряжении разработчика решений с использованием CUDA имеется множество инструментов: NVIDIA Parallel Nsight, CUDA SDK, библиотеки CUDA BLAS, CUDA FFT и другие продукты. Кроме того, есть компиляторы с автоматическим распараллеливанием — PGI Fortran, CAPS HMPP C и др. Особенно удобно, что CUDA поддерживает большинство пакетов для символьных вычислений (MATLAB, Mathematica), причем многие технические сложности, к примеру связанные с управлением памятью GPU, преодолеваются благодаря этим программам в автоматическом режиме.

Резюмируя, отметим, что, с одной стороны, GPU приближаются к CPU, становясь более универсальными за счет увеличивающихся возможностей по расчетам чисел с двойной и одинарной точностью, а с другой — и в CPU растет число ядер, а соответственно, и способность к параллельным расчетам. Более того, известно, что у крупнейшего производителя CPU, компании Intel, имеются свои разработки в области GPU (к примеру, процессор Larrabee). То же относится и к компании AMD. Для нас же важно, что на данный момент можно говорить о несомненной эффективности GPU для решения задач, связанных с запуском АВМ.

Приход больших игровых, агент-ориентированное программирование и моделирование мира. В 1990 г. профессор Стэнфордского университета Й. Шохам предложил агент-ориентированный подход в качестве новой парадигмы программирования. Его суть заключается в пред-

¹⁵⁴ Соответствующая АОМ представлена на сайте компании NVIDIA (в разделе с примерами моделей, использующих программно-аппаратную архитектуру CUDA). <https://devblogs.nvidia.com/cuda-spotlight-gpu-accelerated-agent-based-simulation-complex-systems>.

ставлении агента в качестве программного модуля, выполняющего поставленные задачи, а его поведения — как зависимого от окружающей среды, которую он воспринимает с помощью датчиков и на которую может воздействовать посредством исполнительных механизмов. По мнению Шохам, агент-ориентированный подход является частным случаем более общей и широко известной парадигмы программирования — объектно ориентированного программирования¹⁵⁵. Различие состоит в следующем: если объект в рамках объектно ориентированной парадигмы определяется набором методов и атрибутов, то агент задается описанием его поведения в более широком смысле. Идея агент-ориентированного программирования предполагает, что агент является программной сущностью с определенной степенью автономности и целью выполнения задач для пользователя. При этом агенты рассматриваются как более автономные, чем объекты, а их поведение — как отличающееся большей гибкостью и являющееся «более социальным». Последнее означает, что соответствующий программный код выполняется не автоматически, а по решению самого агента в зависимости от ситуации, задач, текущих приоритетов и параметров среды.

В 2009 г. одна из крупнейших транснациональных компаний по производству программного обеспечения — Microsoft (а точнее, DevLabs — подразделение Microsoft, занимающееся экспериментальными и инновационными программными разработками) анонсировала новый язык программирования — *Ахит*, который был изначально предназначен для написания многопоточных параллельных приложений, оптимизированных для работы на многоядерных процессорах. Важной особенностью нового языка стала реализация в нем агент-ориентированной парадигмы программирования. Таким образом, экспериментальный язык вобрал в себя многие прогрессивные концепции программирования, а основной целью его создания стала проверка совместимости перечисленных выше парадигм в рамках одного языка.

По синтаксису и ряду конструкций *Ахит* наиболее близок к языку C#, однако они различаются концептуально. Главные концепции *Ахит* — каналы, схемы, слои, домены и агенты. Первое и самое главное отличие — отсутствие в *Ахит* классов. Вместо них в этом языке есть новый абстрактный тип — агенты, которые отличаются от классов тем, что на них нельзя ссылаться. Взаимодействие между агентами происходит посредством передачи сообщений в рамках каналов. Агенты близки по смыслу потокам, но при этом они гораздо «легче», а их количество может составлять сотни, тысячи или даже миллионы в рамках одной программы.

Работа над инновационным программным языком *Ахит* на данный момент закончена, и в виде самостоятельного продукта он на рынок не выйдет. По мнению разработчиков, этот проект был весьма успешным и апробированные в нем концепции найдут применение в будущих релизах .NET: языки C# и VB будут поддерживать асинхронные режимы выполнения программного кода, а также реализованные в *Ахит* парадигмы агент-ориентированного подхода. С коммерческой точки зрения, вероятно, действительно эффективнее расширять функционал имеющихся и уже достаточно распространенных языков программирования, чем выводить на рынок абсолютно новые. Тем не менее существенным представляется сам факт того, что крупнейший производитель программного обеспечения взял курс на поддержку агентного подхода.

К проявлениям этой же тенденции относится анонсированное в 2010 г. компанией Microsoft создание *компьютерной модели мира* с использованием в том числе агент-ориентированного подхода, т. е., по сути, создание виртуальной реальности, описывающей текущее состояние социальной и экономической системы всего мира. В промо роликах, размещенных на сайте компании, ее топ-менеджеры отмечали, что на протяжении всей своей истории человечество стремилось к новым знаниям, в результате чего к сегодняшнему дню собрано огромное количество самых разных данных. Ученые и специалисты в области информационных технологий берутся обрабатывать их в течение ближайших пяти лет с целью моделирования окружающего мира, для чего планируется использовать весь потенциал имеющихся у Microsoft технических разработок.

¹⁵⁵ Shoham Yoav. Agent Oriented Programming (англ.): Technical Report STAN-CS-90-1335. Computer Science Department, Stanford University, 1990.

Это позволит, полагают руководители Microsoft, перейти на новый уровень понимания наиболее актуальных проблем, с которыми столкнулось человечество, что является необходимым условием их последующего разрешения. В заявлениях компании также подчеркивалось, что наука находится в точке бифуркации: новейшие достижения в области суперкомпьютерных технологий, а также в области технологий интеллектуальной обработки информации открывают перспективы разработки сложных моделей, возможности которых соответствуют тем скоростям, с которыми меняется современный мир. По ожиданиям, такие модели не только позволят найти пути трансформации ключевых отраслей — энергетики и здравоохранения, но окажут огромное влияние на бизнес-сообщество и отрасль инженерии знаний, что может привести к созданию принципиально новых продуктов, предприятий и отраслей промышленности. Несомненный интерес крупнейших игроков IT-рынка к агентным моделям лишний раз доказывает перспективность этого инструмента и его большое будущее.

2.4. Специализированное программное обеспечение для технической реализации агентных моделей на суперкомпьютерах

Для АВМ разработано более 100 программных сред с различными функциональными возможностями, но важно отметить, что все эти продукты реализованы в средах, изначально не предназначенных для распараллеливания программного кода. В последнее время появляются первые специализированные средства для построения агентных моделей непосредственно для суперкомпьютеров, о которых мы расскажем подробнее.

Repast for High Performance Computing (RepastHPC) — первый пример программного обеспечения, разработанного для проектирования АВМ с целью последующего запуска на суперкомпьютерах. Данный пакет реализован с использованием языка C++ и MPI — программного интерфейса для обмена сообщениями между процессами, выполняющими задачу в параллельном режиме, а также для библиотеки Boost, расширяющей C++.

В рамках RepastHPC реализован динамический дискретно-событийный планировщик выполнения программных инструкций с консервативными алгоритмами синхронизации, предусматривающими задержку процессов для соблюдения определенной очередности их выполнения. Агенты распределяются между процессами, и каждый процесс связан с агентом, являющимся *локальным* по отношению к данному процессу. В свою очередь, агент локален к процессу, выполняющему программный код, описывающий поведение данного агента. При этом копии остальных — *нелокальных* — агентов могут присутствовать в любом процессе, что позволяет агентам всей модели взаимодействовать с этими копиями. К примеру, пусть пользователь в своей модели, предполагающей параллельные вычисления, использует два процесса — P1 и P2, каждый из которых создает определенное количество агентов и имеет собственный планировщик выполнения программных инструкций. Агенты, поведение которых рассчитывается на процессе P1, являются локальными по отношению к данному процессу, и только в рамках данного процесса программный код может изменить их состояние (аналогично и для процесса P2). Предположим, процесс P1 запрашивает копию агента A2 из процесса P2. Агент A2 не является локальным по отношению к процессу P1, и, соответственно, программный код, выполняемый в рамках процесса P1, не может изменить состояние агента A2. При этом агенты, реализуемые в рамках процесса P1, при необходимости могут запросить состояние агента A2, но копия A2 останется неизменной. Изменение оригинального A2 возможно только в рамках процесса P2, но в этом случае RepastHPC синхронизирует изменения состояния агента между всеми процессами¹⁵⁶.

Высокопроизводительное программное обеспечение для построения крупномасштабных АВМ Пандора (Pandora) разработано в суперкомпьютерном центре Барселоны (Barcelona Supercomputing Centre). Она предоставляет полную поддержку геоинформационных систем (ГИС), что важно в тех случаях, когда для функционирования моделей необходима географиче-

¹⁵⁶ Более подробно с данным программным обеспечением можно ознакомиться в руководстве пользователя (Collier, 2019).

ская привязка агентов. Результат каждой симуляции хранится в иерархическом формате данных (Hierarchical Data Format, HDF), предназначенном для хранения большого количества цифровой информации. Этот формат поддерживается большинством ГИС. Пандора дополняется программой Кассандра (Cassandra), позволяющей визуализировать процесс выполнения симуляции с использованием 2D- и 3D-графики.

К ключевым особенностям Пандоры и Кассандры относятся:

- все возможности C++ для разработки, выполнения и анализа агентных моделей и клеточных автоматов;
- параллельное выполнение программного кода с использованием интерфейсов MPI/OpenMP;
- высокая масштабируемость, т. е. способность увеличивать производительность пропорционально увеличению числа узлов суперкомпьютера;
- поддержка ГИС;
- возможность разработки распределенных агентов, построенных с использованием технологий искусственного интеллекта.

Разработчики предлагают использовать Пандору для целого ряда исследовательских направлений, в том числе таких, как:

- социальные явления, анализ социальных сетей и межличностные взаимодействия;
- сложные социально-экономические системы;
- миграционные процессы.

Механизм работы Пандоры выглядит следующим образом. После концептуального определения каркаса создаваемой модели ее первая реализация может быть разработана с помощью скриптов языка Python, а полученные результаты затем обрабатываются с использованием нескольких инструментов анализа. Если для реализации модели потребуются дополнительные аппаратные ресурсы, Пандора может конвертировать программный код в версию C++, автоматически его распараллелив. Таким образом, от пользователя, по заверению разработчиков, не требуется дополнительных усилий по адаптации программного кода для узлов суперкомпьютера.

Среда функционирования агентов в Пандоре определяется как набор слоев, содержащих растровые карты, соответствующие стандартам ГИС. В процессе симуляции моделируемая среда, а также населяющие ее агенты равномерно распределяются по узлам суперкомпьютера. Такой подход наилучшим образом решает проблему распределения вычислительной нагрузки при моделировании древних сообществ, в которых не было средств телекоммуникации.

Разработанные модели являются хорошо масштабируемыми, хотя есть проблема с синхронизацией действий агентов. В Пандоре она решается путем разделения каждого узла на четыре равные части (0, 1, 2 и 3). Программный код всех агентов, обрабатываемых в части 0, выполняется одновременно и без конфликтов, поскольку эта часть узла не является смежной по отношению к аналогичной части другого узла. Полученные в результате выполнения кода результаты далее передаются для последовательного выполнения соседним частям (1, 2 и 3). После этого данные всех узлов синхронизируются, и выполнение модели переходит на следующий шаг.

Синхронизация в Пандоре осуществляется с помощью интерфейса MPI. Кроме того, директивы OpenMP используются для распределения вычислительной нагрузки по различным процессорам внутри узла. При анализе разных пакетов для разработки агентных моделей было выявлено, что наиболее ресурсоемкими участками кода являются моменты сбора информации и решения о порядке выполнения программных инструкций на следующем шаге. В Пандоре для одного процессора выполняемый шаг модели состоит из трех методов. В рамках реализации первого из них (updateKnowledge) агенты собирают информацию, но не могут изменять параметры среды и состояния других агентов. Второй метод (SelectAction) позволяет агентам принимать решения и генерировать последовательность дальнейших действий, но по-прежнему не разрешает совершать какие-либо изменения. Наконец, во время выполнения третьего метода (updateState) агенты меняют свое состояние. В случае использования множества процессоров Пандора равномерно распараллеливает между ними объем вычислений первых двух методов

(наиболее ресурсоемких). Что касается процедур третьего метода, то они осуществляются последовательно, с тем чтобы избежать возможных конфликтов. На первый взгляд разделение шага на три исполняемых метода кажется усложнением. Однако реализация шага с помощью одного метода требует усилий по корректному определению последовательности выполнения различных процедур в рамках моделируемых сценариев, а разделение шага на три метода позволяет снять эти ограничения¹⁵⁷.

Среда построения агентных моделей АВМ++. В АВМ EpiSims, разработанной исследователями из Института биоинформатики Вирджинии (Virginia Bioinformatics Institute, США), рассматриваются как перемещения агентов, так и их контакты в рамках среды, максимально приближенной к реальности и содержащей дороги, здания и прочие инфраструктурные объекты¹⁵⁸. Для построения модели потребовался большой массив данных, включающий в себя информацию о здоровье отдельных людей, их возрасте, доходе, этнической принадлежности и т. д.

Изначальная цель исследования заключалась в построении для запуска на суперкомпьютере АВМ большой размерности, с помощью которой планировалось изучать распространение болезней. Однако в ходе работы пришлось также решать задачу, связанную с созданием специализированного программного обеспечения АВМ++, позволяющего осуществлять разработку АВМ на языке С++, а также содержащего функции, которые облегчают распределение исполняемого программного кода на узлах кластеров суперкомпьютера. Помимо этого, АВМ++ предоставляет возможность динамического перераспределения потоков вычислений, а также синхронизации происходящих событий.

АВМ++, первая версия которого появилась в 2009 г., представляет собой результат модернизации инструмента, разработанного в 1990–2005 гг. в Лос-Аламосской национальной лаборатории в процессе построения крупномасштабных АВМ (EpiSims, TRANSIMS, MobiCom). Межпроцессорные связи между вычислительными узлами в АВМ часто требуют синхронизации происходящих в модели событий. АВМ++ позволяет разрабатывать модели, отвечающие этому требованию. Например, в социальных моделях агенты часто перемещаются между различными точками пространства (работа, дом и т. д.), а на программном уровне этому соответствует смена узла кластера, и здесь важно, чтобы модельное время принимающего узла было синхронизировано со временем узла, который агент только что покинул. В АВМ++ также реализована библиотека MPIToolbox, соединяющая интерфейс С++ API (Application Programming Interface) и MPI (Message Passing Interface) суперкомпьютера, благодаря чему ускоряется передача данных между узлами кластеров.

АВМ++ создавалось в Ubuntu Linux — операционной системе с компиляторами gcc/g++. В качестве интегрированной среды разработки рекомендуется пакет Eclipse с плагином для поддержки С и С++, а также с плагином РТР (Parallel Tools Platform), обеспечивающим разработку и интеграцию приложений для параллельных компьютерных архитектур. Eclipse поддерживает интеграцию с TAU (Tuning and Analysis Utilities) Performance System — инструментом для разностороннего анализа и отладки программ для параллельных вычислений, что также упрощает разработку агентных моделей.

SWAGES — расширяемая распределенная среда для крупномасштабного агент-ориентированного моделирования — детище ученых из Университета Тафтса (Медфорд, Массачусетс, США). SWAGES предоставляет возможность автоматического распараллеливания программного кода и поддержку нескольких языков программирования, а также подключения плагинов для визуализации, статистического анализа и автоматической обработки ошибок. Результаты вычислений могут быть конвертированы в файлы для последующего использования в общедоступных средствах обработки данных (типа R или Scilab).

¹⁵⁷ Wittek P., Rubio-Campillo X. (2012). Scalable Agent-Based Modeling with Cloud HPC Resources for Social Simulations. In: IEEE 4th International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom) December 3–6. Taipei, Taiwan, p. 355–362.

¹⁵⁸ Roberts D. J., Simoni D. A., Eubank S. A National scale microsimulation of disease outbreaks. *Advances in Disease Surveillance*, 2007, vol. 4, no. 15.

Данная среда содержит несколько компонентов клиент-серверной архитектуры, обеспечивающей распределенные вычисления (планировка, распределение, запуск, контроль выполнения, восстановление после сбоев и др.). На сервере определяются наборы экспериментов, отличающиеся начальными состояниями, приоритетом выполнения, а также формируются коллекции выходных данных, результаты дополнительного анализа данных и т. д. Агенты могут быть описаны с использованием любого программного языка, поддерживаемого Poplog (к примеру, Pop11, Prolog, ML, Scheme, CLisp). Кроме того, для разработчика предусмотрена возможность вызова внешних функций, написанных на других языках программирования, посредством специального интерфейса. Имеются встроенные инструменты для статистического анализа, а также библиотеки для поиска данных (в различных форматах, включая HTML, TeX, простой текст). Разработчики SWAGES позиционируют свой продукт как проработанную среду для построения крупномасштабных АВМ, успешно использованную как минимум в нескольких десятках научно-исследовательских проектов¹⁵⁹.

CyberGIS Toolkit представляет собой набор свободно распространяемых программных компонентов с открытым исходным кодом для пространственного анализа и моделирования. Среда CyberGIS состоит из связанных компонентов CyberGIS Toolkit, CyberGIS Gateway и GISolve Middleware¹⁶⁰.

Интеграционный подход к построению CyberGIS Toolkit направлен на разработку и использование инновационных подходов, необходимых для решения задач геопространственных вычислений и обработки данных, за счет использования высокопроизводительных ресурсов, таких как суперкомпьютеры, предоставляемые Extreme Science and Engineering Discovery Environment и Open Science Grid.

Для интеграции новых программных компонентов в инструментарий, включая сборку, тестирование и анализ производительности и масштабируемости, а также развертывание программного обеспечения, применяется строго регламентированный процесс разработки программного обеспечения и алгоритмического анализа. Этот процесс включает в себя три основных этапа:

1. Локальная сборка и тестирование разработчиками алгоритмов и программного обеспечения с использованием средств для непрерывной интеграции и других вспомогательных средств.
2. Непрерывное интеграционное тестирование, тестирование переносимости и маломасштабное тестирование масштабируемости на базе National Middleware Initiative.
3. Оценка и тестирование производительности программного обеспечения, масштабируемости и переносимости на основе XSEDE и команды NSF CyberGIS.

НРАВМ — иерархическая среда параллельного моделирования, предназначенная для разработки сложных агентных моделей для исследования крупномасштабных задач, связанных с ГИС. НРАВМ позволяет использовать параллельные вычислительные ресурсы для решения задач с использованием агентных моделей.

В НРАВМ модель на основе агентов декомпозируется на набор подмоделей, которые функционируют как вычислительные единицы для параллельных вычислений. Каждая подмодель состоит из подмножества агентов и их отдельных сред. Субмодели агрегируются в группу супермоделей, которые представляют вычислительные задачи. НРАВМ, основанный на дизайне супер- и подмоделей, приводит к ослаблению связи между агентами и базовыми архитектурами параллельных вычислений. Полезность НРАВМ для создания параллельных агентных моделей была изучена в ходе вычислительных экспериментов.

Результаты вычислительных экспериментов показывают, что НРАВМ масштабируется для разработки широкомасштабных АВМ и, таким образом, демонстрирует эффективную поддержку для расширения возможностей агентного моделирования для крупномасштабного геопространственного моделирования¹⁶¹.

¹⁵⁹ Scheutz M., Connaughton R., Dingler A., Schermerhorn P. SWAGES — an extendable distributed experimentation system for large-scale agent-based alife simulations. In: Proceedings of Artificial Life X, 2006, p. 412–419.

¹⁶⁰ Подробнее об этом на сайте: <http://cybergis.cigi.uiuc.edu>.

¹⁶¹ Tang W., Wang S. НРАВМ: A hierarchical parallel simulation framework for spatially-explicit agent-based models. Transactions in GIS, 2009, no. 13 (3), p. 315–333.

Пакет *D-MASON* позволяет реализовывать АВМ в распределенной среде, увеличивая их производительность, при этом обеспечивая обратную совместимость с базовой средой MASON.

Работа D-MASON основана на парадигме master/slave (ведущий/ведомый), при использовании которой главное приложение разделяет моделируемое пространство на части и распределяет рабочую нагрузку по ведомым процессам, каждый из которых задействует один или несколько логических процессоров (Logical Processors, LP) в соответствии с их вычислительными возможностями. Ведущий процесс устанавливает однозначную связь между LP и обслуживаемыми ячейками, при которой каждый LP отвечает за:

- симуляцию агентов, относящихся к соответствующей ячейке;
- обработку события, связанного с миграцией агентов в другие ячейки;
- связь и синхронизацию между соседними ячейками.

Основные задачи, решаемые с помощью D-MASON: распределение выполняемой работы, балансировка нагрузки, связь между процессами, синхронизация и воспроизводимость¹⁶².

В Аргоннской национальной лаборатории (национальный исследовательский центр Министерства энергетики США) разработано программное обеспечение для построения АВМ, в основном используемых для симуляции транспортных потоков — *POLARIS*.

Основные утилиты разработанного пакета: 1) модуль, отвечающий за параллельную обработку событий; 2) модуль, реализующий межпроцессный обмен; 3) библиотека для визуализации; 4) библиотека для ввода/вывода данных и др.

Программная платформа POLARIS позволяет интегрировать различные процедуры (распределение вычислений транспортных потоков по процессорам, спрос агентов на поездки) в рамках одной модели с общей памятью, обрабатывающей все события, происходящие в процессе симуляции городской системы.

Разработчики проекта отмечают, что до недавнего времени в моделях, рассматривающих транспортные системы, отдельные составляющие, такие как транспортные потоки, выбросы газов, формирование запроса на тот или иной вид городского транспорта и др., одновременно не учитывались. Однако за счет возрастающей сложности моделируемых систем и нелинейного увеличения необходимых для учета взаимодействующих элементов возникла потребность в адекватных действительности инструментах моделирования дорожного движения, обеспечивающих высокую производительность конечных симуляций.

Таким образом, проект POLARIS, удовлетворяющий сформулированному выше требованию, также позволяет:

- разрабатывать транспортные симуляторы на базе агент-ориентированного подхода;
- быстро создавать программные конструкции, используя функции автодополнения кода;
- при необходимости использовать язык программирования низкого уровня для низкоуровневой оптимизации и распараллеливания разрабатываемого приложения с целью достижения его высокой производительности.

По своей сути POLARIS — это набор низкоуровневых библиотек, представляющих пользователю удобный программный интерфейс, а также среду выполнения, облегчающую написание программного кода. В разработанных с помощью POLARIS транспортных симуляторах используется большой объем данных, которые часто обрабатываются одновременно различными программными модулями. В этой связи в параллельном режиме используются директивы для программирования многопоточных приложений с общей памятью¹⁶³.

Исследователи из автономного университета Барселоны разработали инструмент для распараллеливания АВМ — *Care HPS* (High Performance Simulation), позволяющий в автоматическом режиме решать задачи распределения выполняемого кода, балансировки вычислительной

¹⁶² Cordasco G., Scarano V., Spagnuolo C. Distributed MASON: A scalable distributed multi-agent simulation environment. Simulation Modelling Practice and Theory, 2018, vol. 89, p. 15–34. DOI: 10.1016/j.simpat.2018.09.002.

¹⁶³ Auld J., Hope M., Ley H., Sokolov V., Xua B., Zhang K. POLARIS: Agent-based modeling framework development and implementation for integrated travel demand and network and operations simulations. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2016, vol. 64, p. 101–116.

нагрузки, связи и синхронизации. Ниже кратко описывается предлагаемый фреймворк, а также приводятся результаты экспериментов.

Первая версия Care HPS появилась в 2004 г. как результат развития АВМ для изучения поведения косяков рыб, построенной с использованием технологии MPI и консервативного алгоритма синхронизации. За период 2005–2008 гг. была улучшена масштабируемость приложения, что позволило значительно увеличить число агентов при запуске симуляций. В 2009 г. в Care HPS для выборочной спецификации агентов был реализован механизм нечеткой логики, в 2010–2012 гг. улучшены механизмы распределения выполняемого кода и балансировки вычислительной нагрузки, а в 2013 г. функционал системы был расширен за счет использования массовой синхронной параллели (Bulk Synchronous Parallel). В 2014 г. фреймворк был существенно модернизирован на уровне реализующих агентов классов с целью лучшей масштабируемости в связи с ростом ресурсоемкости задач. Масштабируемость, безусловно, зависит от конкретной задачи, поэтому в Care HPS предлагаются различные механизмы синхронизации.

Care HPS поддерживает как интерфейс передачи сообщений MPI, так и технологию OpenMP и содержит в себе несколько компонент, реализованных на языке C++. Пользователи решают задачу проектирования модели (в том числе с использованием готовых функциональных элементов управления), а всю работу по распределению агентов по процессорам, синхронизации процессов и т. д. выполняет фреймворк. В настоящее время разработчики Care HPS используют этот фреймворк в проекте, направленном на прогноз распространения лихорадки денге¹⁶⁴.

Число специализированных программных продуктов для реализации агентных моделей на суперкомпьютерах постоянно растет. Помимо описанных выше следует упомянуть также *MUSE*, *LUNES*, *MASS* и др.

Возрастающий интерес крупнейших игроков IT-рынка (Microsoft, Wolfram, ESRI и др.) к АВМ, несомненно, доказывает перспективность этого инструмента и его большое будущее, а экспоненциальный рост общего объема данных, связанных с жизнедеятельностью людей, и потребность в аналитических системах получения данных нового поколения, необходимых для прогнозирования социальных процессов, обуславливают применение суперкомпьютерных технологий.

В настоящее время существует несколько международных ассоциаций, которые объединяют исследовательские группы из крупнейших институтов и университетов, работающих в данном направлении. Наиболее известными из них являются: 1) North American Association for Computational Social and Organizational Sciences (NAACSOS); 2) European Social Simulation Association (ESSA); 3) Pacific Asian Association for Agent-Based Approach in Social Systems Science (PAAA). Каждая из перечисленных ассоциаций регулярно проводит конференции по социальному моделированию соответственно в Америке, Европе и Азии. Кроме того, раз в два года проводится мировой конгресс по данной тематике.

Флагманом этого научного направления в нашей стране является Центральный экономико-математический институт РАН. О содержании и результатах проводимых в его стенах исследований будет рассказано ниже.

¹⁶⁴ Borges F., Gutierrez-Milla A., Luque E., Suppi R. Care HPS: A high performance simulation tool for parallel and distributed agent-based modeling. *Future Generation Computer Systems*, 2017, vol. 68, p. 59–73.

ГЛАВА 3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

3.1. Агентные бизнес-модели, разработанные в ЦЭМИ РАН как инструмент планирования, мониторинга и прогнозирования социально-экономической системы России¹⁶⁵

За период с 2002 по 2022 г. в ЦЭМИ РАН было разработано несколько CGE-моделей, в которых рассматриваются отрасли, регионы, денежно-кредитные регуляторы, домашние хозяйства и прочие субъекты социально-экономической системы России^{166, 167}. В некоторых CGE-моделях при спецификации моделируемых субъектов использовались многослойные нейронные сети, что позволило придать этим инструментам большую реалистичность¹⁶⁸.

Эти модели нашли свое применение в НИР, выполненных для Минэкономразвития России, аппарата Правительства России, ФСТ России, ПАО «Газпром», Счетной палаты Российской Федерации, Контрольно-счетной палаты города Москвы, Фонда социального страхования и др.

Помимо этого, за период с 2006 по 2020 г. в ЦЭМИ РАН было разработано и апробировано несколько АВМ, построенных в том числе с использованием геоинформационных и суперкомпьютерных технологий:

1. Демографические АВМ нескольких регионов (Москвы, Санкт-Петербурга (рисунок 3.1), Вологодской области и др.) и страны в целом. Эти модели позволяют прогнозировать изменения половозрастной структуры населения соответствующих субъектов с учетом его пространственного размещения¹⁶⁹. Часть из них была разработана с помощью наших коллег из Северо-

¹⁶⁵ Авторы выражают благодарность за содействие при выполнении исследования сотрудникам ЦЭМИ РАН — Н. И. Ильину, Е. Д. Сушко, Б. Р. Хабриеву, Д. С. Евдокимову, В. И. Жиянову, Р. А. Иманову и Т. А. Коньковой.

¹⁶⁶ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р. Модели принятия верных решений // Бюджет. 2018. № 10 (290). С. 92–96.

¹⁶⁷ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сулакшин С. С. Применение вычислимых моделей в государственном управлении // Научный эксперт. 2007.

¹⁶⁸ Бахтизин А. Р. Агент-ориентированные модели экономики. М.: Экономика, 2008.

¹⁶⁹ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р. Социальное моделирование — новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика, 2013.

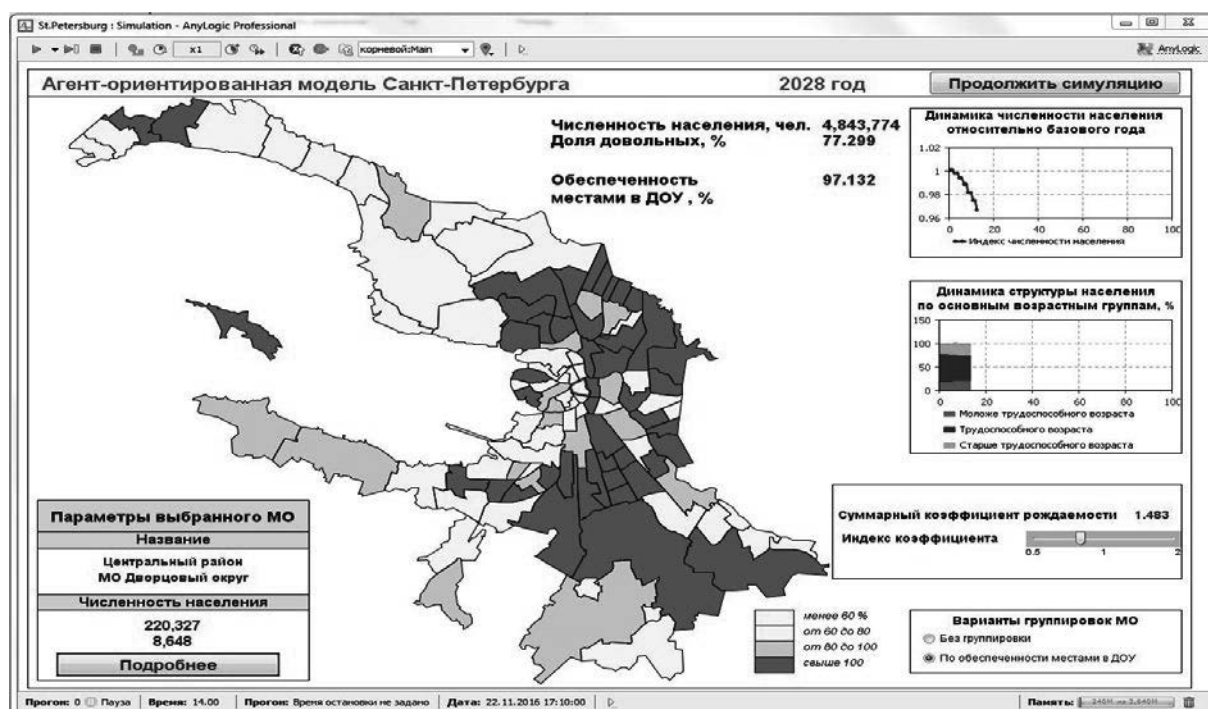


Рисунок 3.1. Рабочее окно АВМ Санкт-Петербурга

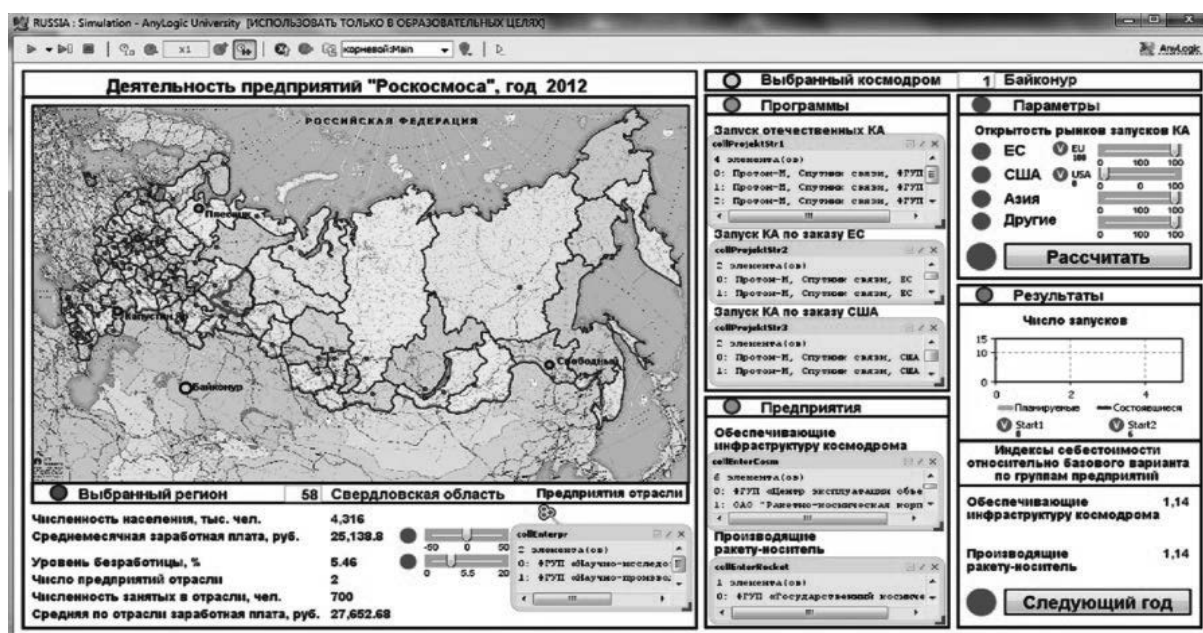


Рисунок 3.2. Рабочее окно АВМ ракетно-космической промышленности

Западного института управления РАНХиГС (д. э. н. В. А. Шамахова и иностранного члена РАН В. Л. Квинта¹⁷⁰.

2. Отраслевая АВМ (рисунок 3.2), реализованная на примере ракетно-космической промышленности и предназначенная для оценки мер государственной политики в промышленной сфере, направленных на реализацию крупных проектов и связанных с корректировкой соответствующих финансовых затрат¹⁷¹. Модель может также использоваться для оценки экономических ограничений и санкций, направленных против рассматриваемой отрасли.

3. Социо-эколого-экономическая АВМ региона, действующими акторами которой являются агенты двух видов — люди и предприятия. Первый тип агентов определяет демографическую ситуацию. Часть представителей этого вида связаны также с агентами-предприятиями, являясь их работниками, создающими продукт соответствующей отрасли. Второй тип агентов помимо производства продукции осуществляет выбросы (как в атмосферу, так и в водные объекты), тем самым оказывая негативное влияние на экологию региона и, как следствие, на показатели агентов первого типа, связанных со здоровьем и работоспособностью. В процессе проведения компьютерных экспериментов пользователь может менять параметры механизмов регулирования выбросов (имитация экологических требований со стороны регулирующих органов), а агенты модели, оперируя доступными для них действиями, могут сокращать объемы своих выбросов. Инструмент позволяет получать средне- и долгосрочные прогнозы изменения уровня загрязнений с учетом пространственного размещения производства и стационарных источников выбросов^{172, 173}.

4. Агент-ориентированная региональная модель «Губернатор» (рисунок 3.3), являющаяся своего рода отработанным фреймворком для построения региональных АВМ, позволяет имитиро-

¹⁷⁰ Макаров В. Л., Квинт В. Л., Шамахов В. А., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Бурилина М. А. Агент-ориентированные модели как инструмент апробации управленческих решений в системе распределенных ситуационных центров / Система распределенных ситуационных центров как основа цифровой трансформации государственного управления «СРСЦ-2017». Труды Всероссийского форума, Санкт-Петербург, 25–27 октября 2017 г. / Научный совет по информатизации Санкт-Петербурга. СПб., 2018. С. 226–227.

¹⁷¹ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д. Управление деятельностью отрасли в агент-ориентированной модели на примере госкорпорации «Роскосмос» // Теория и практика институциональных преобразований в России / Сборник научных трудов под ред. Б. А. Ерзнкяна. Вып. 35. М.: ЦЭМИ РАН, 2016. С. 20–29.

¹⁷² Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д. Регулирование промышленных выбросов на основе агент-ориентированного подхода // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2017. № 6. С. 42–58. DOI: 10.15838/esc.2017.6.54.3.

¹⁷³ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д. Агент-ориентированная модель как инструмент регулирования экологии региона // Журнал Новой экономической ассоциации, № 1 (45). С. 151–171.

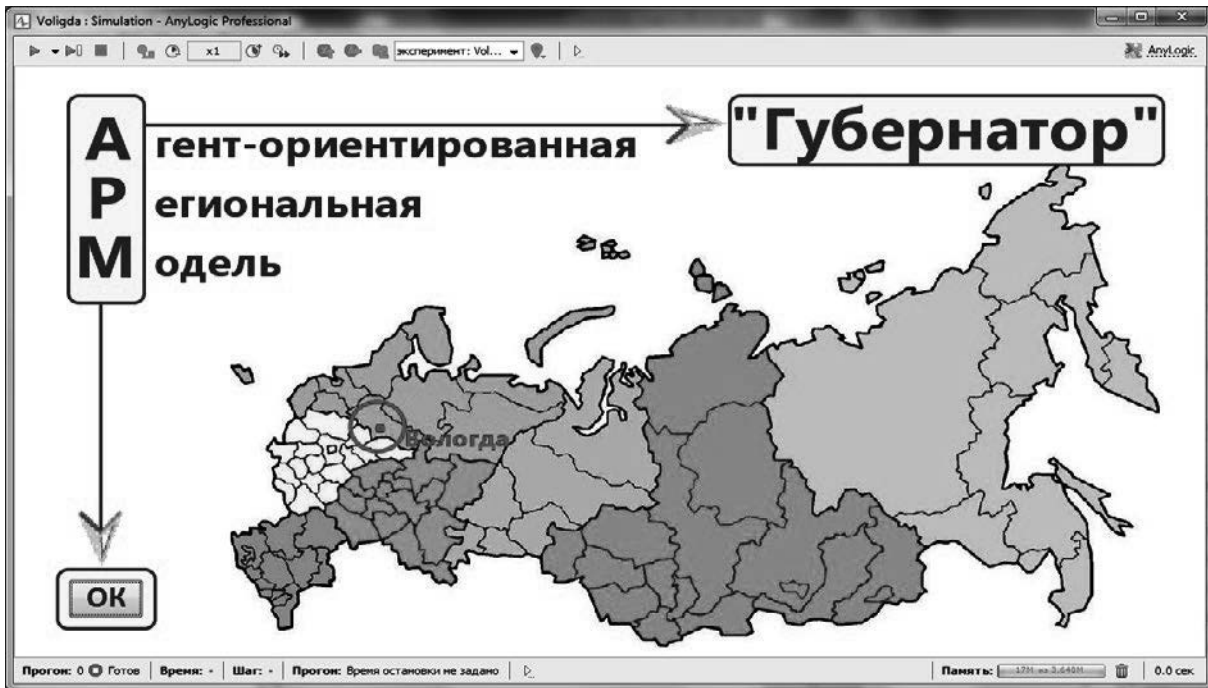


Рисунок 3.3. Рабочее окно агент-ориентированной региональной модели «Губернатор»



Рисунок 3.4. Рабочее окно АВМ Европейского союза с обозначением внешних миграционных потоков

вать социально-экономические системы соответствующих территорий и предоставляет возможность управлять бюджетным процессом моделируемого субъекта России¹⁷⁴.

5. Комплексная АВМ, построенная с использованием геоинформационных технологий и имитирующая социально-экономические системы нескольких стран Европейского союза (рисунок 3.4). В модели рассматриваются агенты различного уровня (люди, отрасли, страны), что позволяет оценивать возникающие в процессе компьютерных симуляций эффекты во многих сферах социально-экономических систем соответствующих государств. Агенты нижнего уровня

¹⁷⁴ Макаров В. Л., Сушко Е. Д., Бахтин А. Р. Общее описание модели Вологодской области «Губернатор» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://abm.center/info/publications/420328>.

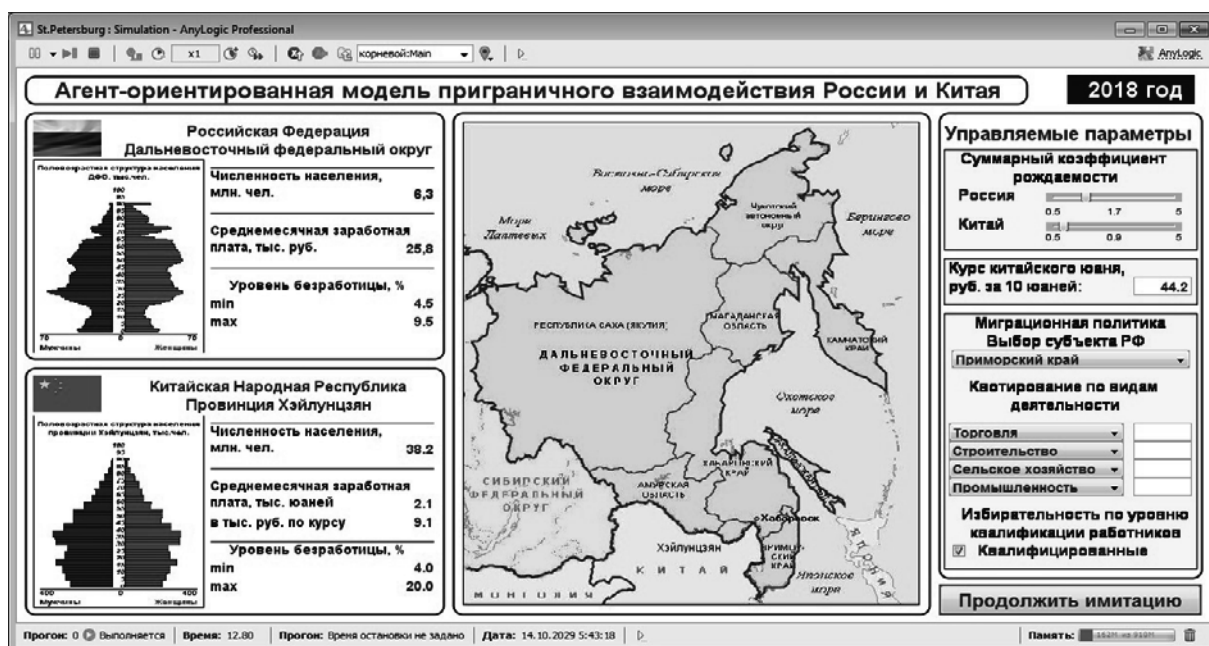


Рисунок 3.5. Рабочее окно АВМ трудовой миграции из Китая в Россию

определяются широким набором параметров (помимо половозрастных характеристик учитывается уровень образования, здоровья, квалификации, жизненные приоритеты и др.), что в свою очередь дает возможность оценивать демографические изменения в Европейском союзе с учетом важных факторов, таких как внутренние установки людей, влияющие на их стратегию репродуктивного поведения, а также миграционный приток извне. Данная модель разработана в рамках исследования, осуществляемого совместно с Международным институтом прикладного системного анализа (International Institute for Applied System Analysis)^{175, 176}.

6. АВМ, имитирующая организации различного вида, отличающиеся по набору характеристик, одной из которых является тип корпоративной культуры. Модель позволяет рассчитать последствия слияний рассматриваемых организаций с позиции уровня удовлетворенности их сотрудников и возможных действий по смене работы¹⁷⁷.

7. АВМ поведения человека (включая девиантное/противоправное) в зависимости от структуры его личности и условий внешней среды, учитывающая различные жизненные цели человека, их значимость, а также критерии оценки достижения поставленных целей. Позволяет получать оценки изменения уровня недовольства населения и отдельных его групп с учетом их пространственного размещения. Эта модель разрабатывалась в рамках программы фундаментальных научных исследований Президиума РАН «Фундаментальные исследования по проблеме экономической безопасности», реализуемой совместно с Институтом законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации и Федеральной службой по финансовому мониторингу¹⁷⁸.

8. АВМ, воспроизводящая процесс трудовой миграции из Китая в Россию и рассматривающая большой набор программных классов (агенты-люди, предприятия, отрасли и регионы), широкой перечень их параметров и, самое главное, каналы распространения информации между

¹⁷⁵ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Бекларян Г. Л., Акопов А. С., Ровенская Е. А., Стрелковский Н. В. Укрупненная агент-ориентированная имитационная модель миграционных потоков стран Европейского союза // Экономика и математические методы. 2019. Т. 55, № 1. С. 3–15 [Электронный ресурс]. Доступ для зарегистрированных пользователей. URL: <https://emm.jes.su/S042473880004044-7-1>.

¹⁷⁶ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Агеева А. Ф. Имитация социально-экономической системы Евразийского континента с помощью агент-ориентированных моделей // Прикладная эконометрика. 2017. № 4 (48). С. 122–139.

¹⁷⁷ Денисова С. В., Бахтизин А. Р. Моделирование процесса слияний организаций с помощью агент-ориентированной модели // Проблемный анализ и государственно-управленческое проектирование. 2011. № 2.

¹⁷⁸ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Бурилина М. А. Отчет по программе фундаментальных научных исследований Президиума РАН «Финансово-правовые механизмы обеспечения прозрачности ведения бизнеса»: «Разработка математической модели для количественной оценки последствий незаконных финансовых операций на основные макроэкономические показатели»: Отчет. М.: ЦЭМИ РАН, 2016.

агентами нижнего уровня, использующими родственные связи и сеть знакомых для получения сведений относительно условий проживания и работы в России (рисунок 3.5). В модели учтены как объективные факторы миграции — заработная плата, наличие рабочих мест и т. д., так и побуждающие к миграции субъективные установки, влияющие на конечное решение и основывающиеся на личностных характеристиках агентов¹⁷⁹.

9. АВМ для прогнозирования эпидемиологической динамики, в которой в явном виде учитываются: а) особенности протекания конкретного инфекционного заболевания, вызвавшего эпидемию; б) неоднородность населения региона с точки зрения его восприимчивости к инфекции; в) социальные связи отдельных людей, существенным образом влияющие на частоту контактов и, как следствие, на вероятность передачи инфекции. Особенностью конструкции данной модели, отличающей ее от других известных АВМ эпидемий, является использование механизма формирования семей, что делает имитацию контактов на уровне отдельного агента максимально приближенной к реальности. Модель апробирована на примере эпидемии COVID-19 в Москве, но используемые в модели социально-демографическая структура населения и эпидемиологические характеристики конкретной инфекции являются параметрами модели, что делает ее достаточно универсальной и позволяет производить ее настройку на особенности других инфекций и других регионов¹⁸⁰.

3.2. Программно-аналитический комплекс «МЁБИУС»

Перечисленные выше модели позволили отработать методологические принципы построения сложных программно-аналитических комплексов, сочетающих в себе различные подходы к моделированию социально-экономических процессов. Эволюционным путем мы разработали модельный комплекс «МЁБИУС»¹⁸¹, который вообрал в себя преимущества рассмотренных подходов и состоит из нескольких блоков (рисунок 3.6).

¹⁷⁹ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Агеева А. Ф. Агент-ориентированный подход при моделировании трудовой миграции из Китая в Россию // Экономика региона. 2017. Т. 13. Вып. 2. С. 331–341.

¹⁸⁰ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Агеева А. Ф. Моделирование эпидемии COVID-19 — преимущества агент-ориентированного подхода // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2020. Т. 13. № 4. С. 58–73.

¹⁸¹ Название программно-аналитического комплекса связано с двумя обстоятельствами. Во-первых, лента Мёбиуса является главным символом ЦЭМИ РАН, а его горельеф украшает здание института. Во-вторых, этот знак является физическим воплощением бесконечности, что соответствует масштабам вычислительных возможностей одного из модулей — «МЁБИУС-суперкомпьютер», способным технически реализовывать модели с численностью порядка 109 агентов на самых производительных в мире системах (теоретически и на суперкомпьютерах экзафлопсного уровня).

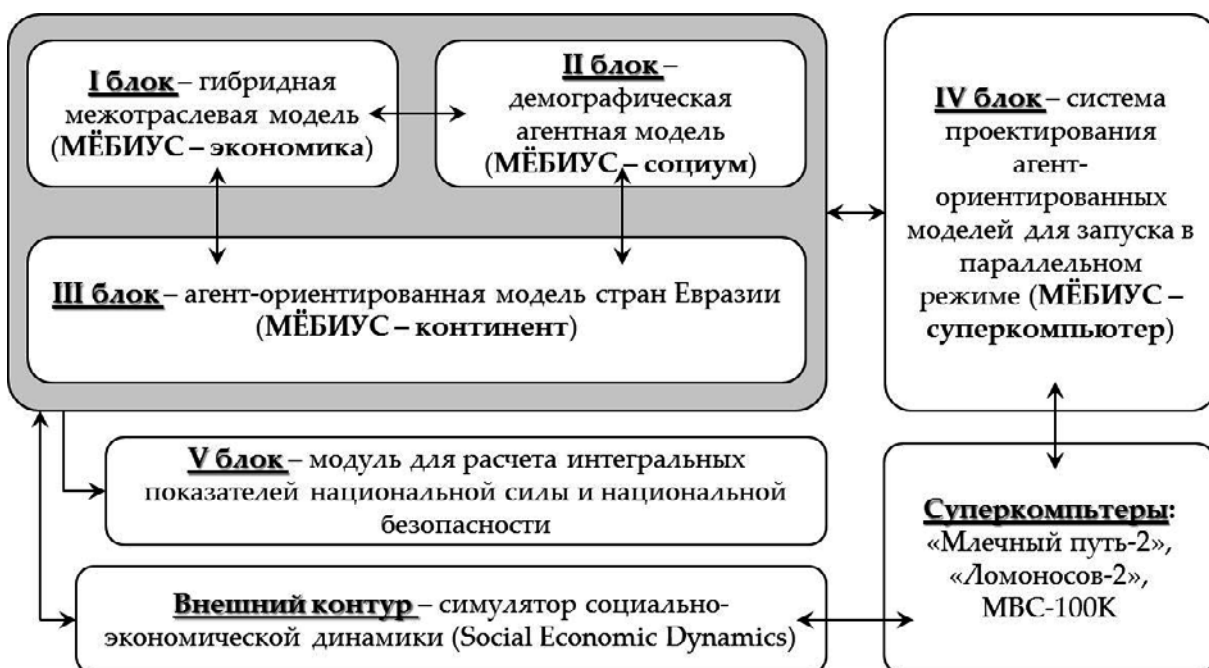


Рисунок 3.6. Схема программно-аналитического комплекса «МЁБИУС»

Все блоки комплекса «МЁБИУС», хотя и были изначально разработаны отдельно, тесно связаны друг с другом и представляют собой единое целое. Демографическая АВМ является базовым элементом для АВМ Евразийского континента, а также определяет динамику численности домашних хозяйств для межотраслевой модели «МЁБИУС-экономика», которая, в свою очередь, также связана с АВМ стран Евразии. Для ускорения расчетов к этим инструментам может быть подключена система «МЁБИУС-суперкомпьютер», которая в автоматическом режиме перераспределяет исполняемый программный код по задаваемому числу процессоров для выполнения в параллельном режиме¹⁸².

Отдельным блоком выступает модуль для расчета интегральных показателей национальной силы и национальной безопасности для 193 стран — членов ООН. Веса выбранных факторов (их несколько десятков) были рассчитаны с использованием методов многомерного статистического анализа.

Помимо разработанных в ЦЭМИ РАН блоков программно-аналитического комплекса совместно с IT-компанией Guangzhou Milestone Software Co., Ltd, Национальным суперкомпьютерным центром КНР и специалистами Академии общественных наук Китая был разработан симулятор социально-экономической динамики для более чем 100 стран мира. Этот инструмент может использоваться в составе «МЁБИУСА» следующим образом: симулятор является внешним для него контуром, и, таким образом, получаемые с его помощью данные являются входными для первых трех блоков комплекса, равно как и наоборот (см. раздел 4.3).

Выше уже говорилось, что разработка такого рода систем — весьма затратная задача, поэтому практическая реализация описываемого комплекса стала возможной за счет коллаборации ЦЭМИ РАН с упомянутыми выше организациями. Рассмотрим более подробно отдельные его составляющие.

3.2.1. I блок — гибридная межотраслевая модель («МЁБИУС-экономика»)

Модель содержит в себе большой набор макропоказателей социально-экономической системы России, финансовый блок, регулирующий орган, технологические коэффициенты и многое другое.

С использованием блока «МЁБИУС-экономика» можно получить количественные оценки от ряда воздействий на социально-экономическую систему — к примеру, от изменений: основных налоговых ставок (НДС, налога на прибыль предприятий и организаций, налога на доходы физических лиц, страховых взносов на обязательное социальное страхование, акцизов, ввозных пошлин и др.); долей бюджетов отраслей экономики, идущих на покупку промежуточной продукции 19 внутренних отраслей и на внешних рынках; долей выпусков отраслей экономики, идущих на внутренние и внешние рынки промежуточной и конечной продукции; долей бюджетов домашних хозяйств, идущих на покупку конечной продукции 19 внутренних отраслей и на внешних рынках; долей консолидированного бюджета, идущих на субсидирование отраслей и на социальные трансферты, объема денежной массы (наличной и безналичной), ключевой ставки, средневзвешенных процентных ставок по кредитам и депозитам. Помимо этого, среди экзогенных переменных моделей — цены на нефть, газ и уголь, а также курс доллара.

В модели более 1000 переменных (экзогенных и эндогенных), но здесь мы приведем только концептуальное описание модели, перечислив ее ключевые модули. Кроме того, модель построена по аналогии с разработанными ранее моделями, описываемыми нами в серии монографий, поэтому используемые для расчетов формулы не сильно отличаются от предыдущих, и в этой связи мы ограничимся соответствующими ссылками^{183, 184}.

¹⁸² Для нас доступны суперкомпьютеры «Млечный путь — 2» (Национальный суперкомпьютерный центр КНР, город Гуанчжоу), «Ломоносов-2» (МГУ им. М. В. Ломоносова), МВС-100К (Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН).

¹⁸³ Бахтизин А. Р. Агент-ориентированные модели экономики. М.: Экономика, 2008.

¹⁸⁴ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сулакшин С. С. Применение вычислимых моделей в государственном управлении // Научный эксперт. 2007.

«МЁБИУС-экономика» — динамическая рекурсивная модель с прямыми и обратными связями. Изменение любого из управляющих параметров вызывает дисбаланс во всей социально-экономической системе (рисунок 3.7), который затухает по мере достижения равновесия на рассматриваемых в модели рынках (рисунок 3.8).

Далее рассмотрим программные модули более подробно.

Модули 1-20: отрасли экономики

Каждый из этих модулей представляет собой отрасль — вид экономической деятельности в разрезе ОКВЭД:

1. Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство.
2. Добыча полезных ископаемых.
3. Обрабатывающие производства.
4. Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха.
5. Водоснабжение, водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений.
6. Строительство.
7. Торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов.
8. Транспортировка и хранение.
9. Деятельность гостиниц и предприятий общественного питания.
10. Деятельность в области информации и связи.
11. Деятельность финансовая и страховая.
12. Деятельность по операциям с недвижимым имуществом.
13. Деятельность профессиональная, научная и техническая.
14. Деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги.
15. Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование.
16. Образование.
17. Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг.
18. Деятельность в области культуры, спорта, организации досуга и развлечений.
19. Предоставление прочих видов услуг.
20. Деятельность домашних хозяйств как работодателей; недифференцированная деятельность частных домашних хозяйств по производству товаров и оказанию услуг для собственного потребления.

Выпуск товаров и услуг модулей № 1–19 задается степенной производственной функцией следующего вида:

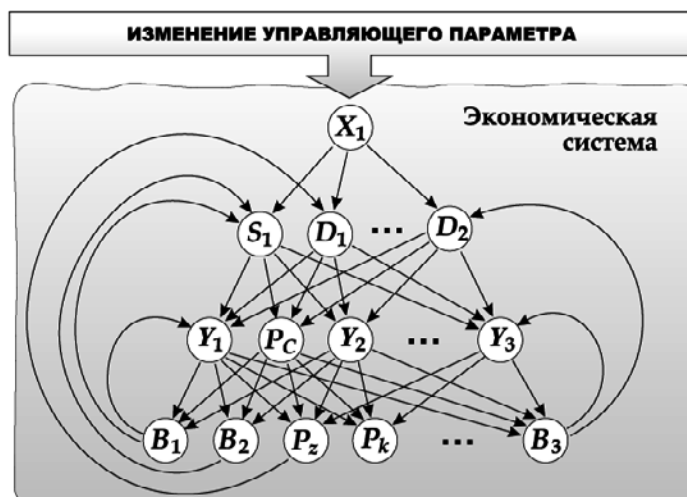


Рисунок 3.7. Концептуальный взгляд на схему прямых и обратных связей в блоке «МЁБИУС-экономика»

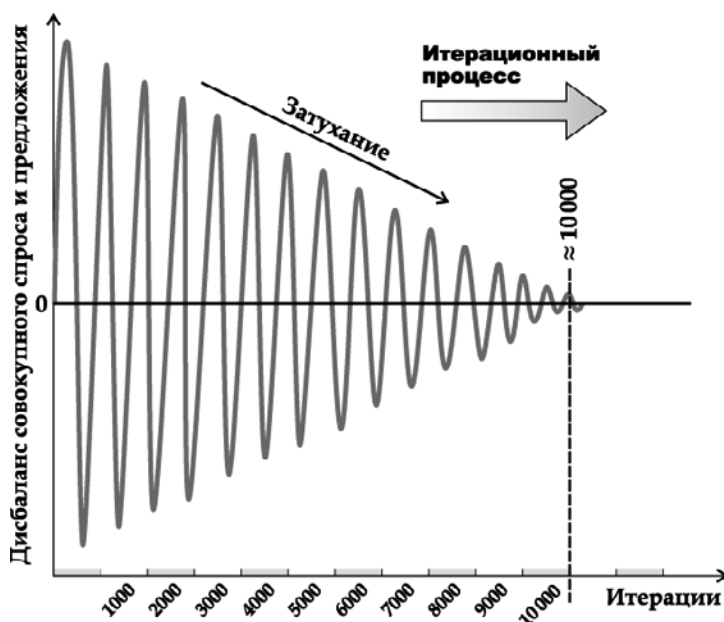


Рисунок 3.8. Процесс балансировки спроса и предложения на рынках модели

$$Y_{i(t)} = A_i^r \cdot (K_{i(t)})^{A_i^k} \cdot (L_{i(t)})^{A_i^l} \cdot \prod_{j=1}^m P_j^{A_j^p} \cdot e^{\left[\alpha_i \cdot \left(\frac{\sum_{\delta=1}^t Z_{i(\delta)}}{t} \right) + \beta_i \cdot \left(\frac{\sum_{\delta=1}^t R_{i(\delta)}}{t} \right) + \gamma_i \cdot \left(\frac{\sum_{\delta=1}^t N_{i(\delta)}}{t} \right) \right]}$$

где i, j — номер отраслей; K — основные фонды; L — труд (затраты на рабочую силу) и P — промежуточное потребление; Z, R и N — потребленные соответствующими секторами результаты НИОКР, образовательные услуги и инновационная продукция; $A_i^r, A_i^k, A_i^l, A_j^p, \alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ — соответствующие коэффициенты производственной функции, рассчитанные согласно вкладу фактора в выпуск. Эта зависимость является, с одной стороны, модификацией функции лауреата Нобелевской премии по экономике П. Ромера¹⁸⁵, а с другой — включает в себя промежуточное потребление продукции 19 видов экономической деятельности, коэффициенты при которых пропорциональны значениям технологической матрицы прямых затрат.

Совокупный выпуск отрасли распределяется по нескольким направлениям: на 19 внутренних рынков товаров и услуг, часть идет на экспорт и на 19 внутренних рынков конечной продукции.

Выручка от реализованной продукции вместе с субсидиями и средствами на банковских счетах образует бюджет соответствующей отрасли, который расходуется на покупку факторов производства (рабочую силу, основные фонды, промежуточное потребление, НИОКР, образовательные услуги и инновационную продукцию), уплату налогов и сбережения.

Основные переменные: доли бюджетов, идущие на покупку промежуточной продукции 19 отраслей на внутренних рынках и импортных товаров на внешних рынках; доли бюджетов, идущие на уплату налогов, наем рабочей силы, инвестиции в основные фонды; доли выпусков, идущие на внутренние и внешние рынки промежуточной и конечной продукции; параметры производственных функций; показатели спроса и предложения товаров и услуг на внутренних и внешних рынках и др.

Основные действия: 1) производство товаров и услуг; 2) реализация товаров и услуг на внутренних и внешних рынках; 3) покупка факторов производства; 4) наем рабочей силы; 5) уплата налогов и др.

Модуль 21: домашние хозяйства

Основные переменные: доли бюджетов, идущие на покупку конечной продукции 19 отраслей на внутренних рынках и импортных товаров на внешних рынках; доли бюджетов, идущие на уплату налогов и сбережения, доходы домашних хозяйств и др.

Основные действия: 1) покупка конечных товаров; 2) уплата налогов; 3) участие в формировании предложения на рынке труда; 4) сбережение денежных средств (наличных и безналичных) и др.

Модуль 22: регулирующий орган

Основные переменные: доходы (нефтегазовые и ненефтегазовые) и расходы консолидированного бюджета и государственных внебюджетных фондов, основные налоги, субсидии отраслям, социальные трансферты и др.

Основные действия: 1) определение долей бюджета, идущих на субсидирование отраслей; 2) установление ставок основных налогов; 3) определение размера социальных трансфертов и др.

Модуль 23: финансовый блок

Основные переменные: объем денежной массы (наличной и безналичной), ключевая ставка, средневзвешенные процентные ставки по кредитам и депозитам и др.

Основные действия: 1) осуществление денежной эмиссии; 2) проведение денежно-кредитной политики (включая определение процентной ставки и валютный курс) и др.

¹⁸⁵ Romer P. Endogenous Technological Change // Journal of Political Economy. 985(2). October 1990, p. 71–102.

Модуль 24: рынки

В модели 19 рынков промежуточной продукции, 19 рынков конечной продукции, 19 рынков рабочей силы и 19 внешних рынков (цены на внешних рынках и спрос на соответствующую продукцию задаются экзогенно). Таким образом, общее число рынков в модели — 76.

Модуль 25: интегральные показатели

В этом модуле собирается информация со всех остальных частей модели и преобразуется в интегральные показатели, являющиеся основными для отслеживания и фиксации произошедших изменений. К таким показателям относятся ВВП, валовый выпуск (совокупный и по видам экономической деятельности), количество людей, занятых в экономике, индекс потребительских цен, консолидированный бюджет, доходы домашних хозяйств и др.

3.2.2. II блок — демографическая агентная модель («МЁБИУС-социум»)

Модель рассматривает население России и предназначена для прогноза изменения его половозрастной структуры с учетом его пространственного размещения по субъектам Федерации.

Базовым блоком для любых АВМ, имитирующих социально-экономические системы, является блок, в котором воспроизводится естественное движение населения (смертность и рождаемость) и его миграция.

Действия на каждом шаге компьютерной симуляции делятся на несколько этапов имитации демографических процессов (смерть некоторых агентов, появление новых, рассылка сообщений, сбор статистики и т. д.).

Смертность имитируется с использованием данных о половозрастной структуре умерших, а рождение детей и миграция — на основе индивидуального предпочтения агентов, зависящего как от их внутреннего состояния, так и от внешней среды. Выбор партнера, создание семьи и создание нового агента-человека определяются репродуктивной стратегией, а мотив к миграции зависит от разницы в уровне среднедушевых доходов между регионами убытия и прибытия, наличия привлекательных рабочих мест и социальных связей агента, влияющих на его уровень информированности. Общая схема работы демографической модели России, учитывающей наличие групп (типов) агентов, придерживающихся разных репродуктивных стратегий, представлена на рисунке 3.9.

Оценка адекватности построенной модели, т. е. сравнение выдаваемых ею результатов на период, по которому имеются данные официальной статистики, показала расхождение с фактическими значениями в пределах 1%. Более подробно про построенную модель можно прочитать в ряде публикаций^{186, 187, 188}.

3.2.3. III блок — АВМ стран Евразии («МЁБИУС-континент»)

Как уже упоминалось выше, модель изначально разрабатывалась для стран Европейского союза совместно с Международным институтом прикладного системного анализа (Австрия), но затем, в 2016–2018 гг., в рамках проекта Российского научного фонда была расширена до Евразийского континента. Помимо агентов-людей, реализованных аналогично инструменту из II блока, в этой модели существенной составляющей является базовый программный модуль, имитирующий для агентов сложную иерархическую среду, на нижнем уровне которой находится отрасль, на среднем — место жительства агента, связанного со страной проживания, а на верхнем — международный союз, в который входит страна¹⁸⁹.

¹⁸⁶ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Агеева А. Ф. Искусственное общество и реальные демографические процессы // Экономика и математические методы. 2017. 53 (1). С. 3–18.

¹⁸⁷ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Сушко Г. Б. Разработка агент-ориентированной демографической модели России и ее суперкомпьютерная реализация // Вычислительные методы и программирование. 2018. Т. 19, № 4. С. 368–378.

¹⁸⁸ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Сушко Г. Б. Агент-ориентированная суперкомпьютерная демографическая модель России: анализ апробации // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2019. Т. 12, № 6. С. 74–90.

¹⁸⁹ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Агеева А. Ф. Имитация социально-экономической системы Евразийского континента с помощью агент-ориентированных моделей // Прикладная эконометрика. 2017. № 4 (48). С. 122–139.

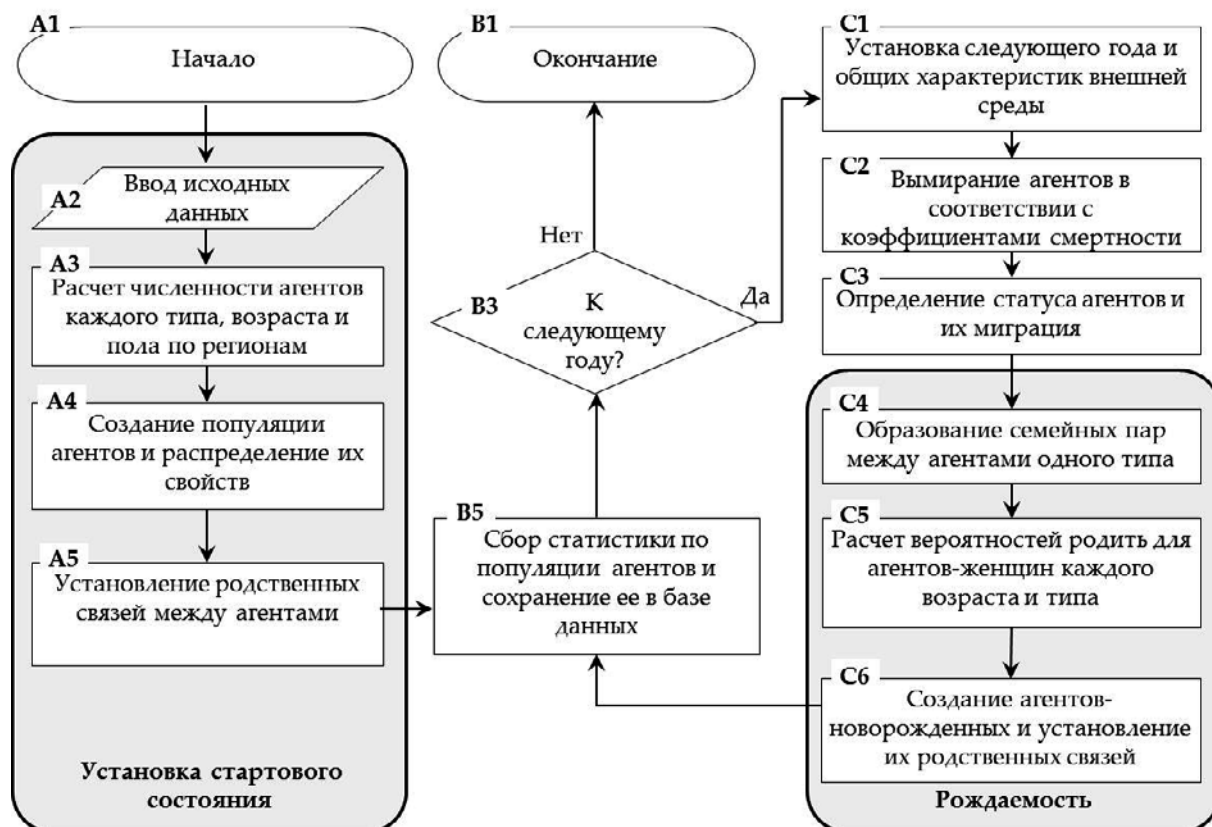


Рисунок 3.9. Общая схема работы демографической модели России

В зависимости от страны значения средовых параметров сильно разнятся, что мотивирует агентов к реализации различных действий, которые, в свою очередь, влияют на результаты экономической деятельности, демографическую ситуацию, стабильность и безопасность, таким образом, меняя внешнюю среду. Архитектура АВМ Евразии включает в себя набор программных классов (стран, людей, международных союзов, населенных пунктов, отраслей, инфраструктурных проектов, транспортных узлов), каждый из которых представлен большим (несколько десятков) набором характеристик. Модель настроена на имитацию последствий реализации крупных инфраструктурных проектов¹⁹⁰.

Главный программный класс модели обеспечивает управление ею на самом верхнем уровне, обеспечивая следующий функционал: получение исходной информации из базы данных, установку стартового состояния, инициализацию агентов всех типов, отображение пользовательского интерфейса и активных элементов модели, организацию последовательности действий в процессе симуляции. Концептуальная схема работы АВМ Евразийского континента приведена на рисунке 3.10.

3.2.4. IV блок — система проектирования АВМ для запуска в параллельном режиме («МЁБИУС-суперкомпьютер»)

Подробная детализация агентных моделей, влекущая за собой большой объем выполняемого программного кода и используемых данных, делает необходимым применение суперкомпьютеров для ускорения соответствующих расчетов.

За несколько лет мы накопили определенный опыт в этом направлении. Так, совместно со специалистами МГУ (группа под руководством д. ф.-м. н. В. А. Васенина) была разработана технология поддержки АВМ для суперкомпьютеров — STARS (Supercomputer Technology

¹⁹⁰ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Агеева А. Ф. Агент-ориентированная модель Евразии и имитация реализации крупных инфраструктурных проектов // Экономика региона. 2018. № 4. С. 1102–1116.

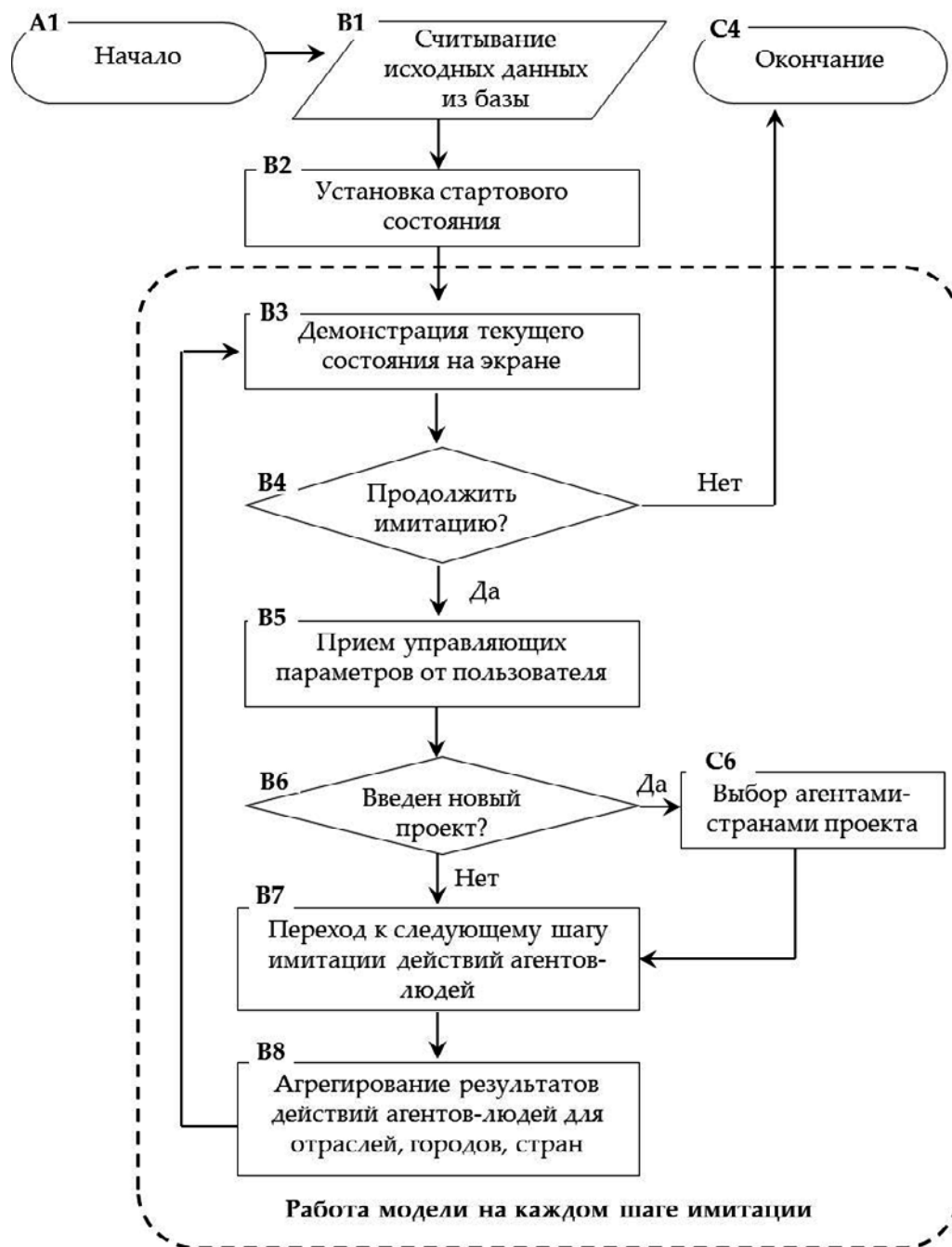


Рисунок 3.10. Общая схема работы АВМ Евразийского континента

for Agent-oriented Simulation). Данная технология предусматривала полуавтоматическую конвертацию программного кода, написанного на языке высокого уровня (Java) в код C++ для последующего выполнения на суперкомпьютерах. Полностью автоматической ее сделать не удалось, поскольку для разных моделей стратегия распараллеливания была своя. Описание разработки и обзор зарубежных аналогов приведен в соответствующих публикациях^{191, 192}. Основываясь на полученном опыте, мы совместно со специалистами компании «Яндекс» (к. ф.-м. н. Г. Б. Сушко) разработали новую технологию создания больших АВМ для запуска на суперкомпьютерах, основанную на использовании графовой декомпозиции с уче-

191 Макаров В. Л., Бахтин А. Р., Сушко Е. Д., Васенин В. А., Борисов В. А., Роганов В. А. Агент-ориентированные модели: мировой опыт и технические возможности реализации на суперкомпьютерах // Вестник Российской академии наук. 2016. Т. 86, № 3. С. 252–262.

192 Макаров В. Л., Бахтин А. Р., Сушко Е. Д., Васенин В. А., Борисов В. А., Роганов В. А. Суперкомпьютерные технологии в общественных науках: агент-ориентированные демографические модели // Вестник Российской академии наук. 2016. Т. 86, № 5. С. 412–421.

том связей агентов. Данная технология была реализована при запуске крупномасштабной АВМ социальной системы России, которая тестировалась на нескольких суперкомпьютерах: «Ломоносов» (МГУ им. М. В. Ломоносова) и «Млечный путь — 2» (Гуанчжоу, Китай). Эта работа была отмечена в качестве одного из важнейших результатов деятельности Российской академии наук^{193, 194}. На данную программу получено свидетельство о регистрации¹⁹⁵.

И наконец, последней нашей разработкой является система проектирования АВМ для запуска в параллельном режиме — «МЁБИУС-суперкомпьютер», также разработанная совместно со специалистами компании «Яндекс» (к. ф.-м. н. Г. Б. Сушко), которая позволяет создавать АВМ с численностью популяций до 10^9 агентов, эффективно масштабируемые при запуске на суперкомпьютерах. Система «МЁБИУС-суперкомпьютер» поддерживает также динамическое изменение численности и пространственного распределения агентов за счет имитации процессов исчезновения агентов и появления новых. Конструкция апробирована при реализации крупномасштабной демографической АВМ России, в которой имитируются процессы естественного движения населения страны в разрезе регионов. Агентами в модели являются люди, которые обмениваются сообщениями, поддерживают родственные связи, рожают детей, стареют и умирают.

Далее будут показаны результаты апробации АВМ России на реальных статистических данных. В ходе исследования были получены прогнозы основных демографических показателей как для России в целом, так и для всех регионов при различных сценариях изменения суммарного коэффициента рождаемости и показана дифференциация регионов по ожидаемой динамике численности населения и его возрастной структуры. Также было оценено влияние отдельных социально-экономических факторов на динамику суммарного коэффициента рождаемости.

Система «МЁБИУС-суперкомпьютер» имеет следующие отличительные особенности:

1. Она организована не как библиотека (подобно таким системам проектирования АВМ, как RepastHPC¹⁹⁶ или POLARIS¹⁹⁷), а как базовый блок, для которого реализованы все основные функции, связанные с балансировкой нагрузки, синхронизацией, автоматическим распределением исполняемого кода и др. Его ядро содержит также механизмы, обеспечивающие добавление новых блоков по мере их разработки.

2. Архитектура системы двухуровневая — все модули, обеспечивающие автоматическое распараллеливание, обмен сообщениями, балансировку нагрузки и синхронизацию, реализованы в виде низкоуровневых библиотек, написанных на C++, а модули, имитирующие социально-экономические процессы, могут быть реализованы на языке высокого уровня C#. Такой подход аналогичен концепции системы проектирования АВМ — Care HPS¹⁹⁸.

3. Система поддерживает привязку агентов к месту жительства на территории моделируемого региона (страны), осуществляемую автоматически в соответствии с исходными данными о численности агентов и их распределении по отдельным территориям, а также информацией, получаемой из карты региона (страны). На основе этих данных строится сетка, ячейки которой соответствуют определенному сегменту карты. И наконец, самая важная процедура — распределение ячеек (или декомпозиция сетки) по процессорам с минималь-

¹⁹³ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Сушко Г. Б. Разработка агент-ориентированной демографической модели России и ее суперкомпьютерная реализация // Вычислительные методы и программирование. 2018. Т. 19, № 4. С. 368–378.

¹⁹⁴ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Сушко Г. Б. Моделирование социальных процессов на суперкомпьютерах: новые технологии // Вестник Российской академии наук. 2018. Т. 88, № 6. С. 508–518.

¹⁹⁵ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Сушко Г. Б. Система проектирования агент-ориентированных моделей для запуска на суперкомпьютерах / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019614589, 09.04.2019. Заявка № 2018665556 от 29.12.2018.

¹⁹⁶ Collier N., North M. (2012): Parallel agent-based simulation with Repast for High Performance Computing // Simulation. 2012, vol. 89, no. 10, p. 1215–1235.

¹⁹⁷ Auld J., Hope M., Ley H., Sokolov V., Xua B., Zhang K. (2016): POLARIS: Agent-based modeling framework development and implementation for integrated travel demand and network and operations simulations // Transportation Research. 2016. Part C, 64, p. 101–116.

¹⁹⁸ Borges F., Gutierrez-Milla A., Luque E., Suppi R. (2017): Care HPS: A high performance simulation tool for parallel and distributed agent-based modeling // Future Generation Computer Systems. 2017, vol. 68, p. 59–73.

ным количеством связи между ними — осуществляется с использованием графового алгоритма METIS¹⁹⁹.

4. Система поддерживает социальные связи агентов, реализуемые посредством взаимного обмена сообщениями, а также удаление и появление новых агентов в процесс симуляции. Отметим, что в системе «МЁБИУС-суперкомпьютер» предусмотрен механизм разделения имитации процессов в пределах одного шага работы модели на отдельные смысловые этапы (и, возможно, на различные стадии этапов), выполняемые последовательно.

5. Результаты работы модели сохраняются во внешних файлах формата .csv и могут использоваться для последующей статистической обработки и визуализации.

На данную программу также было получено свидетельство о регистрации²⁰⁰.

В качестве ядра большой региональной АВМ в системе проектирования «МЁБИУС-суперкомпьютер» был разработан базовый демографический блок, в котором имитируются процессы естественного движения населения — смертность и рождаемость. Агентами в нем являются люди, которые поддерживают родственные связи, принимают решение о рождении детей, стареют и в зависимости от совокупности влияющих факторов умирают.

Каждый модельный шаг поделен на несколько стадий, относящихся к объектам одного из трех типов (агент, регион, страна), в рамках которых реализуются отдельные этапы демографических процессов. Ниже на рисунке 3.11 представлена обобщенная схема организации работы масштабируемой демографической АВМ. Переход к следующей стадии возможен только после завершения обработки всех объектов того типа, к которому она относится, поэтому после окончания каждой стадии должна происходить синхронизация, что показано на схеме соответствующими точками синхронизации S_0, \dots, S_{11} .

Здесь же происходит проверка очереди сообщений, и в случае, если она не пуста, сообщения будут посланы адресатам. Стадии, входящие в один тематический блок (имитация смертности и рождаемости), объединены на схеме затемненными прямоугольниками. Видно, насколько сложной является имитация вымирания агентов. Дело в том, что каждый из них обладает уникальным номером (адресом), который используется в модели для пересылки сообщений и имитации взаимодействий агентов, помнящих адреса своих родственников. Поэтому для того, чтобы удалить агента, которому выпала «черная метка» (она выпадает с вероятностью, заданной дифференцированными по полу и возрасту коэффициентами смертности), необходимо предварительно удалить все его связи. А затем еще необходимо сдвинуть нумерацию оставшихся (выживших) агентов внутри ячеек, после чего разослать эти новые адреса всем родственникам для поддержания связи с ними.

Разработанный базовый блок был апробирован на примере демографической АВМ России с использованием реальных данных по стране в целом и в разрезе регионов.

Общие параметры модели: адреса файлов исходных данных, включая карту России с выделением ее регионов; численность популяции агентов; число выделенных для работы модели процессоров; число шагов имитации (лет прогнозного периода).

Для наполнения модели информацией были использованы данные Росстата²⁰¹:

- для всей страны: распределение населения по полу и возрасту; дифференцированные по полу и возрасту коэффициенты смертности; возраст выхода на пенсию для мужчин и женщин по годам переходного периода, соответствующего пенсионной реформе 2018 г.;

¹⁹⁹ Karypis G., Kumar V. (1995): METIS-unstructured graph partitioning and sparse matrix ordering system, version 2.0. 1995. URL: <http://dm.kaist.ac.kr/kse625/resources/metis.pdf>.

²⁰⁰ Бахтизин А. Р., Макаров В. Л., Сушко Е. Д., Сушко Г. Б. Система проектирования масштабируемых агент-ориентированных моделей, включающих популяции агентов разных типов с динамически изменяющейся численностью и сложными многоэтапными взаимодействиями агентов, образующих социальные сети / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020612410, 20.02.2020. Заявка № 2020611366 от 06.02.2020.

²⁰¹ Регионы России. Социально-экономические показатели. 2019: Стат. сб. / Росстат. М., 2019.

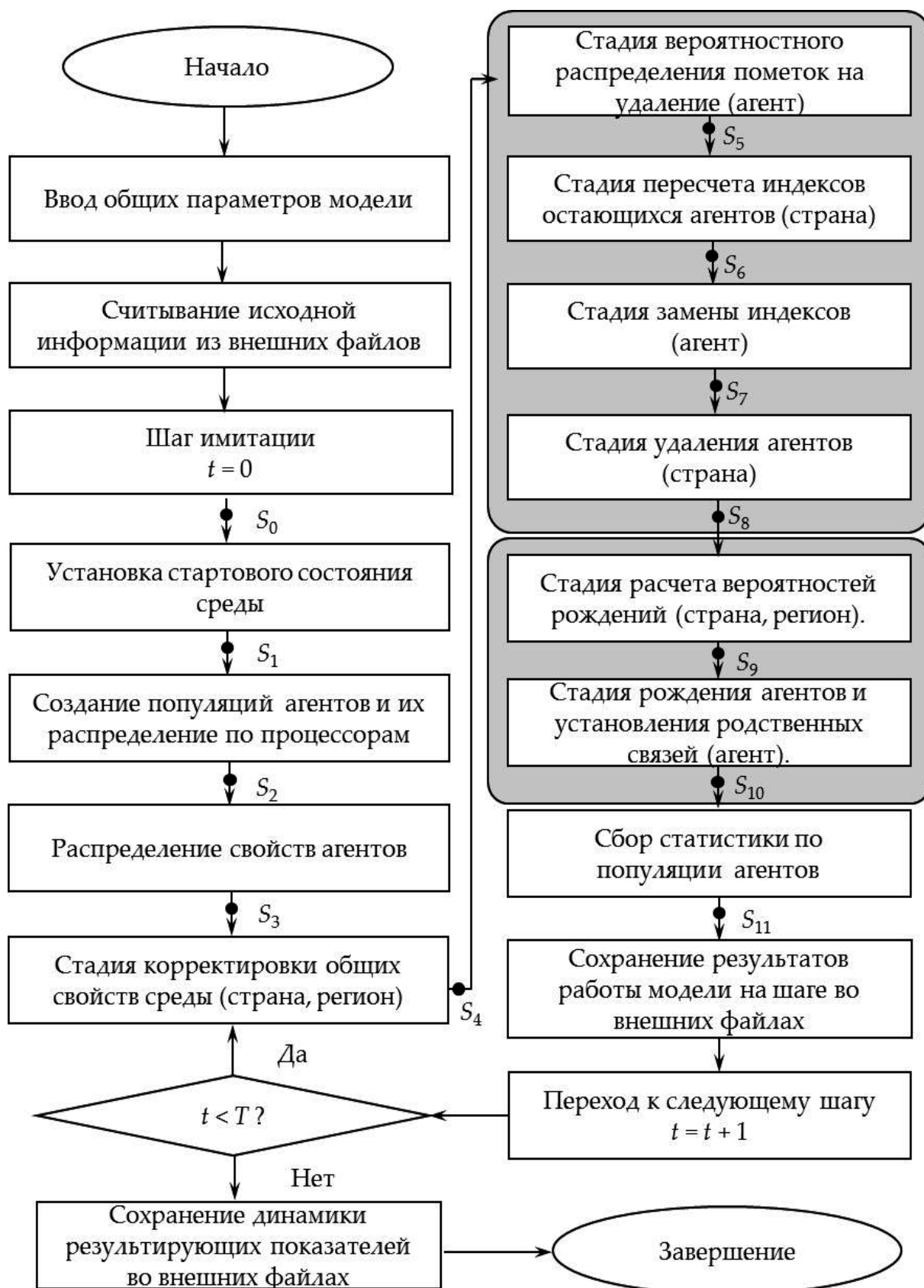


Рисунок 3.11. Обобщенная схема организации работы масштабируемой демографической АВМ. Крупными точками S_0, \dots, S_{11} обозначены точки синхронизации, а T — заданное число шагов имитации

- для отдельных регионов: численность населения; распределение населения по основным возрастным группам (доля населения моложе трудоспособного возраста, трудоспособного и старше трудоспособного возраста); суммарный коэффициент рождаемости; индекс суммарного коэффициента рождаемости; распределение рождений по возрасту матерей в пределах репродуктивного возраста.

Построенная модель продемонстрировала высокое качество воссоздания на популяции агентов половозрастной структуры населения как по стране в целом, так и в разрезе регионов. Тестирование по этому параметру, характеризующему адекватность модели, было принципиально важно, т. к. модель разрабатывается в качестве полигона для постановки социально-экономических экспериментов и оценки их последствий. Поэтому необходимо было убедиться в правомерности перенесения выводов, полученных на основе компьютерных экспериментов, на реальное моделируемое общество.

Ключевым показателем, используемым в представленной модели для имитации появления новых агентов, является суммарный коэффициент рождаемости (СКР) — число детей, рождаемых в среднем женщиной в течение репродуктивного периода. Кроме того, используется распределение рождений по возрасту матери. На основе этих данных рассчитываются вероятности рождений для агентов-женщин разного возраста в каждом регионе. В 2018 г. СКР в среднем по России равнялся 1,579, а разброс значений этого показателя по регионам находился в интервале от 1,124 до 2,967. И это при высокой чувствительности прогнозируемой численности населения к изменению данного показателя, тем более при прогнозировании на длительный период. Кроме того, темпы изменения данного показателя, как свидетельствуют статистические данные, также существенно разнятся между регионами. Так, среднее геометрическое значение индекса СКР за последние пять лет по России в целом составило 0,985 (что свидетельствует о снижении СКР), а разброс значений среднего индекса СКР составил от 0,957 до 1,015 (небольшой рост).

В Послании Президента РФ к Федеральному собранию от 15 января текущего года в качестве целевого показателя указывается достижение к 2023 г. значения СКР по России в целом на уровне 1,7. Отметим, что такой уровень не может обеспечить даже простого воспроизводства населения (для этого необходим СКР, превышающий 2), хотя и может замедлить негативные процессы депопуляции (уменьшения общей численности населения) и старения населения (увеличения доли возрастных когорт старше 65 лет в общей численности населения). Оставляя в стороне вопрос о том, удастся ли достичь этого целевого показателя, мы промоделировали, как будут выглядеть основные демографические показатели как по России в целом, так и для отдельных регионов при реализации различных сценариев изменения СКР. С использованием представленной демографической АВМ России были получены прогнозы демографических показателей до 2038 г. при следующих сценариях, в которых показатели смертности считались постоянными на уровне 2018 г., а варьировались только значения СКР:

Вариант 1: СКР считался постоянным для каждого региона на уровне 2018 г.

Вариант 2: наблюдавшаяся за последние пять лет динамика СКР продолжалась на следующие пять лет (СКР региона умножался на соответствующий средний индекс его изменения), после чего СКР оставался постоянным.

Вариант 3: средний индекс изменения СКР считался по России в целом таким образом, чтобы к 2023 г. СКР достиг значения 1,7. Далее полученное значение индекса использовалось для всех регионов в течение пяти лет, а затем СКР оставался постоянным.

Результаты моделирования представлены на рисунке 3.12 и в таблице 3.1. На рисунке 3.12 виден неуклонный рост (хотя и с разной скоростью) среднего возраста агентов в течение прогнозного периода при всех рассмотренных сценариях, что свидетельствует об ожидаемом старении населения в целом.

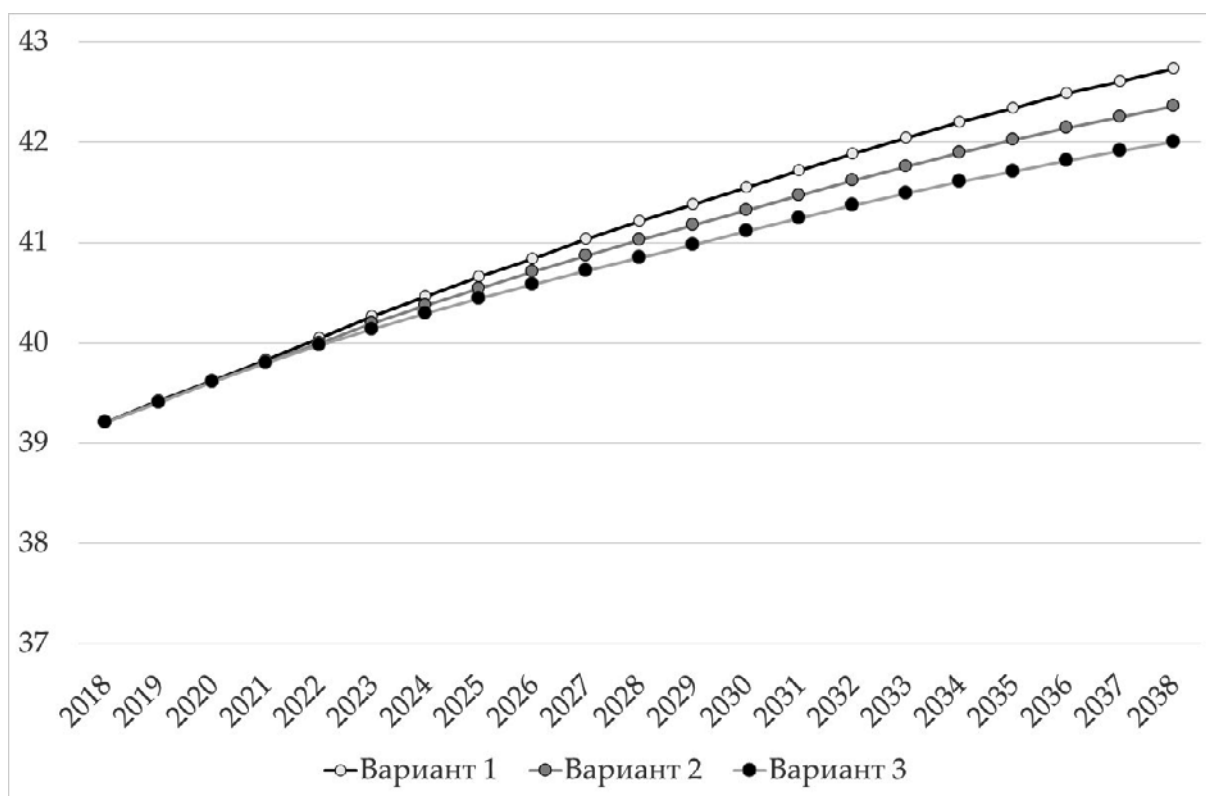


Рисунок 3.12. Сопоставление динамики среднего возраста агентов для различных вариантов прогноза, лет

Таблица 3.1. Сопоставление ожидаемых основных показателей, характеризующих численность и возрастную структуру населения, а также их региональную дифференциацию при реализации различных сценариев

Показатели	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Численность населения России, тыс. человек	135 283,3	133 786,8	136 674,9
Прирост численности населения к 2038 г. по сравнению с 2018 г. по России в целом, %	-7,9	-8,9	-6,9
Разброс по регионам, %: < min; max >	< -15,7; 15,1 >	< -16,5; 15,3 >	< -15,2; 15,4 >
Доля населения моложе трудоспособного возраста по России в целом, %	16,5	15,7	17,3
Прирост доли населения моложе трудоспособного возраста по России в целом, %	-11,5	-15,8	-7,3
Разброс по регионам, %: < min; max >	< -37,6; -0,6 >	< -43,1; 2,0 >	< -37,3; 4,7 >
Число регионов с убылью населения свыше 10%	32	40	29

Более детально результаты прогнозирования представлены в таблице 3.1, в которой показана дифференциация регионов по таким показателям, как численность населения и его возрастная структура, а также динамика этих показателей относительно базового 2018 г. при реализации различных сценариев.

Данные таблицы 3.1 в первую очередь свидетельствуют о большой дифференциации регионов с точки зрения благополучия/неблагополучия демографической ситуации. А с другой стороны, обращает на себя внимание последняя строчка в таблице — число регионов, в которых при всех сценариях стабильно наблюдается весьма значительная убыль населения. То, что группа этих регионов увеличивается во втором варианте, закономерно. Это означает только то, что в этих регионах не только низкий показатель СКР, но и наблюдается в последние годы тенденция

Таблица 3.2. Оценка ускорения параллельных вычислений в зависимости от количества используемых процессоров на суперкомпьютере МВС-100К

Число процес-соров	Время компьютер-ной симуляции для 2 млн агентов, с	Ускорение парал-лельных вычис-лений для 2 млн агентов, раз	Время компьютер-ной симуляции для 8 млн агентов, с	Ускорение парал-лельных вычис-лений для 8 млн агентов, раз
1	3,029	1,00	17,211	1,00
2	2,016	1,50	11,064	1,55
4	0,948	3,19	7,053	2,44
8	0,625	4,84	5,215	3,30
16	0,653	4,64	2,962	5,81
24	0,499	6,07	2,245	7,66
32	0,476	6,35	1,019	16,88
48	0,383	7,90	1,395	12,33

к его снижению. Но эта группа почти не сокращается даже в третьем варианте, т. е. заложенная умеренная положительная динамика СКР не компенсирует убыль населения в этих регионах. Анализ показал, что 17 регионов, входящих в эту группу для первого и второго вариантов прогноза, — это регионы Центрального федерального округа, притом что всего в этот округ входит 18 регионов. А при третьем варианте эксперимента только два из них эту группу покинули. Т. е. для этих территорий наблюдается опережающее сокращение населения, даже без учета миграции, которая также в большинстве из них отрицательная (миграционный прирост наблюдается в Москве, Московской и Белгородской областях).

Обратимся к вопросу о том, какие факторы влияют на суммарный коэффициент рождаемости и его динамику. В содержательном плане очевидно, что желание или нежелание иметь детей, так же как и выбор времени их рождения, связаны как с внутренними установками людей, так и с внешними условиями, такими как уровень жизни, обеспеченность жильем, уверенность в завтрашнем дне и т. д. Но для моделирования необходимы количественные оценки влияния подобных факторов, которые мы попытались выявить, проанализировав статистические данные. Так, были выявлены следующие статистически значимые зависимости между различными социально-экономическими показателями регионов в виде регрессионных моделей:

- на показатель «Прерывание беременности (аборты)» влияют показатели «Смертность в трудоспособном возрасте» и «Уровень безработицы» ($R^2 = 0,486$);
- на показатель «Средний индекс изменения СКР» влияют показатели «Среднедушевое потребление домашних хозяйств», «Ввод в действие жилых домов на 1000 человек населения», «Индекс снижения безработицы», «Индекс снижения смертности» ($R^2 = 0,467$).

Полученные оценки свидетельствуют о том, что при имитации демографических процессов необходимо также учитывать влияние каких-то других факторов на динамику рождаемости, но даже эти результаты задают некоторые ориентиры, которые можно использовать при описании поведения людей и постановки компьютерных экспериментов.

Первая зависимость может использоваться при моделировании влияния мер, направленных на снижение смертности, а также мер, направленных на развитие экономики и создание новых рабочих мест. Это могут быть меры, которые реализуются в рамках национальных проектов. А вторая оценка напрямую связана с планируемыми мерами поддержки семей с детьми, заявленными в послании президента, — с увеличением размера пособий и с расширением возможностей улучшения жилищных условий с помощью материнского капитала. Для подобного моделирования также можно использовать АВМ, но для этого потребуется расширить ее функционал и перейти от моделирования суммарного коэффициента рождаемости на уровне региона к имитации поведения отдельных семей. Что с технологической точки зрения вполне реализуемо на базе суперкомпьютера.

Анализ эффективности распараллеливания модели проводился следующим образом: при постоянных значениях смертности и фертильности рассчитывались усредненные значения по множеству прогонов для разного числа используемых процессоров. В таблице 3.2 приведены результаты, полученные с использованием суперкомпьютера МВС-100К для 2 млн и 8 млн агентов.

Сравнивая полученную зависимость ускорения параллельных вычислений от количества используемых процессоров с кривыми, построенными в соответствии с законом Амдала²⁰², можно оценить эффективность алгоритмов, используемых для распараллеливания агентной модели. Так, сравнение полученных результатов с теоретически достижимым уровнем ускорения показывает, что снижение эффективности сопоставимо со сценариями, при которых доля последовательных вычислений составляет 10% (для 2 млн агентов) и 5% (для 8 млн агентов).

Прогоны осуществлялись также на ресурсах МГУ им. М. В. Ломоносова (суперкомпьютер «Ломоносов-2») и Национального суперкомпьютерного центра КНР (суперкомпьютер «Млечный путь — 2») для проверки переносимости программного пакета. Абсолютное значение времени симуляции за счет более новых процессоров в этих случаях было меньше, однако кривые ускорения остались такими же.

В разделе 3.3 более подробно рассмотрим развитие высокопроизводительных вычислений и сопоставим свой подход с зарубежными аналогами.

3.2.5. V блок — модуль для расчета интегральных показателей национальной силы и национальной безопасности

С применением методов многомерного статистического анализа были рассчитаны веса факторов, влияющих на интегральные показатели национальной силы и национальной безопасности 193 стран — членов ООН. Данный блок позволяет выявлять уязвимости, создающие угрозу национальной безопасности нашей страны, а также прогнозировать ее уровень на различные временные периоды. Рассчитанные веса факторов, влияющих на национальную силу и национальную безопасность, интегральные индексы последних для 193 стран, а также диапазоны допустимых значений для используемых в блоке показателей, нарушение которых влечет за собой повышенные риски для соответствующих государств, были опубликованы в ряде статей^{203, 204} и более подробно будут рассмотрены в разделах 4.1. и 4.2.

3.3. Агент-ориентированные демографические модели

В марте 2011 г. на суперкомпьютере «Ломоносов» была запущена АВМ, имитирующая развитие социально-экономической системы России на протяжении ближайших 50 лет. Реализованная АВМ основана на взаимодействии 100 млн агентов, условно представляющих социально-экономическую среду России. Поведение каждого агента задано набором алгоритмов, которые описывают его действия и взаимодействие с другими агентами в реальном мире. Данные для моделирования были предоставлены Федеральной службой государственной статистики и Российским мониторингом экономического положения и здоровья населения. Модель для обычного компьютера была построена в 2009 г., в 2011 г. она была конвертирована в суперкомпьютерную версию²⁰⁵. В этой версии отсутствовало межагентное взаимодействие, что, с одной стороны, не позволяло в полной мере использовать преимущества агентного подхода, а с другой — значительно упрощало распараллеливание программного кода. В последней версии агенты общаются

²⁰² Amdahl G. M. Validity of the Single Processor Approach to Achieving Large Scale Computing Capabilities / in AFIPS'67 Proc. Spring Joint Computer Conference, Atlantic City, USA, April 18–20, 1967, AFIPS Press, Reston, Va., (1967), p. 483–485.

²⁰³ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Ильин Н. И. Моделирование и оценка национальной силы России // Экономические стратегии. 2020. № 2 (168). С. 6–19.

²⁰⁴ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Ильин Н. И., Сушко Е. Д. Национальная безопасность России // Экономические стратегии. 2020. № 5 (171). С. 6–23.

²⁰⁵ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Васенин В. А., Роганов В. А., Трифонов И. А. Средства суперкомпьютерных систем для работы с агент-ориентированными моделями // Программная инженерия. 2011. № 3.

между собой, что повлекло изменение технологии распараллеливания модели, а также других программных библиотек.

К стоящим перед нами задачам относилось не только рассмотрение различных методов распараллеливания мультиагентных систем для запуска их на суперкомпьютерах, но и сопоставление показателей эффективности этих методов в зависимости от архитектуры мультиагентной системы, численности популяции агентов и числа используемых ядер вычислительных кластеров.

Таким образом, на первом этапе исследования необходимо было разработать такие мультиагентные модели, которые:

- моделировали бы реально происходящие в социально-экономических системах процессы, в которых действуют самостоятельные различающиеся между собой акторы;
- нуждались бы в использовании суперкомпьютеров для проведения численных экспериментов, поскольку моделируемые процессы являются массовыми и требуют для адекватного представления в модели создания популяции агентов очень большой численности;
- отличались бы друг от друга какими-либо особенностями архитектуры, имеющими существенное значение для выбора методов их распараллеливания и реализации на суперкомпьютере.

На втором этапе следовало реализовать и апробировать разработанные конструкции моделей на обычном персональном компьютере для популяции агентов с максимально возможной численностью. Наконец, на третьем этапе нужно было, используя различные методы распараллеливания, каким-то образом преобразовать созданные модели для переноса их на суперкомпьютер, открывая тем самым перспективу значительного увеличения популяции агентов. Первоначальные модели и результаты проведенных на них экспериментов, во-первых, играют роль контрольных примеров, позволяющих существенно сократить время на отладку и верификацию суперкомпьютерных моделей, а во-вторых, служат базой для сравнения показателей эффективности выбранных методов распараллеливания.

Классическим примером массовых социально-экономических процессов, в которых каждый из участников под влиянием своих интересов и в соответствии со своими возможностями может действовать самостоятельно, следует признать демографические процессы. Не случайно поэтому в литературе можно найти описания многочисленных мультиагентных систем, ориентированных на отражение самых разнообразных аспектов основных демографических процессов, таких как смертность, рождаемость и миграция (например, *Diaz, 2010; Wu, Birkin, 2012*).

Концепция разработанных демографических моделей. Предложенные нами демографические мультиагентные модели предназначены для рассмотрения такого известного явления, как демографический переход, и связанных с ним структурных изменений в обществе. Демографическим переходом принято называть переход от традиционного типа воспроизводства населения с высокими показателями смертности и рождаемости к современному — с низкими уровнями этих показателей. Особенности и этапы этого феномена подробно рассматривались в работах многих известных демографов, как зарубежных, так и отечественных, здесь достаточно сослаться на известную работу А. Г. Вишневого²⁰⁶.

Наблюдаемыми признаками демографического перехода являются существенные изменения в показателях смертности и рождаемости. С развитием общества, повышением его благосостояния и улучшением системы здравоохранения показатели смертности (особенно младенческой) снижаются. Происходящее одновременно изменение уровня рождаемости вызвано изменением стиля жизни, особенно женщин — их эмансипацией, повышением уровня образования, появлением личностных целей, не связанных с созданием семьи. Одним из ярких симптомов этого может служить набирающее силу в развитых и благополучных в экономическом отношении странах движение *childfree* — полный отказ от рождения детей. В итоге в современном обществе суммарный коэффициент рождаемости (среднее число детей, рождаемых женщиной в течение

²⁰⁶ Вишневский А. Г. Воспроизводство населения и общество: история, современность, взгляд в будущее. М.: Финансы и статистика, 1982.

репродуктивного периода) зачастую снижается до уровня, не обеспечивающего простое воспроизводство населения. Следует вместе с тем подчеркнуть, что изменение уровней смертности и рождаемости происходит хотя и параллельно, но не синхронно — снижение рождаемости отстает от снижения смертности на одно-два поколения.

Описанные процессы влекут за собой не только сокращение общей численности населения (депопуляцию), но и кардинальную перестройку его возрастной структуры — так называемое старение населения (увеличение доли людей старших возрастных когорт). Обычно такого рода процессы рассматриваются в связи с междустрановыми сопоставлениями, однако они могут наблюдаться и внутри одной страны, если отдельные группы ее населения придерживаются разных репродуктивных стратегий. Так, различия в поведении людей, придерживающихся стратегий, присущих традиционному или, наоборот, современному типу воспроизводства, проявляются в выборе времени вступления в брак, а также в среднем числе рождаемых каждой женщиной детей.

Особенности этих процессов в нашей стране хорошо представлены, например, в сборнике, посвященном результатам уникального социально-демографического обследования «Родители и дети, мужчины и женщины в семье и обществе»²⁰⁷. Оно проводилось в рамках международной программы «Поколения и гендер», объединившей исследователей-демографов из более чем 30 стран мира. Репродуктивные стратегии женщин современной России изучались также О. М. Шубат и А. П. Багировой²⁰⁸.

Использование результатов названных работ позволяет перенести фокус моделирования демографических процессов на микроуровень и применить агент-ориентированный подход. Кроме того, эти результаты позволяют создать достаточное число интеллектуальных, интенциональных агентов²⁰⁹, т. е. агентов, наделенных собственными механизмами мотивации. Для подобных агентов моделируются внутренние убеждения, желания, намерения и мотивы, порождающие цели, которые и определяют их действия. В наших моделях роль «убеждений» будет выполнять желаемое максимальное число детей, а также распределение рождения этих детей в течение репродуктивного периода женщины.

Для моделирования таких демографических процессов, как смертность и рождаемость (миграция в модели не учитывается), и расчета численности населения на перспективу мы воспользовались методом передвижки возрастов²¹⁰. Этот метод опирается на представление, что выжившие в соответствии с половозрастными коэффициентами выживаемости индивиды ежегодно становятся на год старше и участвуют в репродуктивном процессе (в соответствии с данными о рождаемости для женщин фертильного возраста). На основе этого подхода и с использованием реальных статистических данных в ЦЭМИ РАН были разработаны две мультиагентные демографические модели, различающиеся уровнем детализации при имитации репродуктивного поведения людей. Причем направление усложнения поведения агентов было выбрано в том числе с учетом значимости вносимых изменений для выбора алгоритмов распараллеливания моделей при их переносе на суперкомпьютер. С этой точки зрения принципиальным отличием является то, что в первой модели агенты не образуют супружеских пар (нет взаимодействия с другими агентами) — агенты-женщины репродуктивного возраста самостоятельно определяют число желаемых детей и время их рождения (создания новых агентов). Во второй модели агенты-люди между собой взаимодействуют, образуя пары и согласовывая рождение общих детей.

Модели представляют собой программные продукты, реализованные в среде AnyLogic²¹¹ и обладающие интерфейсом для демонстрации пользователю происходящих во времени изменений

²⁰⁷ Родители и дети, мужчины и женщины в семье и обществе. Вып. 1 / Под научной редакцией Т. М. Малевой, О. В. Синявской. М.: НИСП, 2007.

²⁰⁸ Шубат О. М., Багирова А. П. Прогнозирование вторых рождений у российских женщин: социолого-статистический подход // Проблемы прогнозирования. 2014. № 5. С. 131–140.

²⁰⁹ Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. М.: Букинист, 2002.

²¹⁰ Бахметова Г. Ш. Методы демографического прогнозирования. М.: Статистика, 1982.

²¹¹ AnyLogic — инструмент имитационного моделирования, который поддерживает все подходы к созданию имитационных моделей: процессно-ориентированный (дискретно-событийный), системно-динамический и агентный, а также любую их комбинацию. Более подробно см.: <http://www.anylogic.ru>.



Рисунок 3.13. Общая схема работы демографической модели

основных демографических характеристик популяции агентов условного региона. Общая схема работы моделей показана на рисунке 3.13. Охарактеризуем конструкцию первой модели, а затем покажем изменения отдельных элементов конструкции во второй модели.

Конструкция первой модели предполагает разделение агентов на две группы, различающиеся репродуктивными стратегиями — с высокой и низкой рождаемостью соответственно.

Компонентами агентов-людей являются:

- тип репродуктивного поведения;
- пол;
- возраст;
- максимальное (желаемое) число детей;
- фактическое число детей;
- родственная связь с агентом-матерью;
- процедура включения в коллекцию женщин, желающих родить ребенка.

К компонентам среды относятся:

- текущий год;
- общая численность популяции агентов;
- доля агентов традиционного типа;
- половозрастная структура популяции агентов;
- доля агентов традиционного типа в каждой возрастной когорте;
- коэффициенты смертности, дифференцированные по полу и возрасту;
- суммарные коэффициенты рождаемости для двух типов агентов;
- параметры вероятностных распределений, с помощью которых случайным образом определяется число детей для агентов-представительниц каждого типа;

- распределение рождений по возрасту матери для двух типов агентов;
- коллекции агентов-женщин, желающих родить ребенка (отдельно для каждого типа агентов и для каждой возрастной когорты, соответствующей репродуктивному периоду женщин — от 15 до 49 лет);
- процедура имитации смертности;
- процедура имитации рождаемости;
- процедуры связи с внешними файлами (чтение исходных данных и запись результирующих показателей).

При имитационном моделировании большое значение имеет не только правильная организация процессов, происходящих в течение модельного времени, но и точное воссоздание в начале работы модели стартового состояния системы (блоки A2–A5). Для этого из базы данных (таблиц формата Excel) считывается массив исходной информации. Для воссоздания структуры популяции агентов используется исходная информация, представленная в виде двух стандартных половозрастных пирамид, соответствующих двум типам воспроизводства (для популяции агентов традиционного типа характерна относительно бóльшая численность новорожденных и детей, поэтому пирамида имеет более широкое основание).

Параметрами модели служат общая численность популяции агентов, а также доля в этой численности агентов традиционного типа. В соответствии со значениями параметров и соотношениями, заданными половозрастными пирамидами, создается множество агентов и распределяются такие их характеристики, как тип репродуктивного поведения, пол и возраст. Т. е. каждому агенту присваиваются такие значения возраста, пола и типа, чтобы структура создаваемой популяции точно воспроизводила рассчитанную на основе исходных данных. Каждому агенту-женщине присваивается выбранное случайным образом с помощью β -распределения желаемое число детей в интервале от минимального до максимального для ее типа. Затем между созданными агентами устанавливаются связи «мать — ребенок», для чего используются данные о распределении рождений по возрасту матери. Фактически для каждого агента моложе 20 лет случайным образом с помощью β -распределения определяется возраст его матери, а затем из когорты полученного возраста выбирается агент-женщина того же типа, желаемое число детей которой больше числа рожденных. Другими словами, предполагается, что тип ребенка совпадает с типом матери. Агент-ребенок и агент-мать запоминают друг друга, а кроме того, к числу детей агента-женщины добавляется единица. Параметры используемых здесь β -распределений подобраны таким образом, чтобы получаемые частоты выпадения возрастов соответствовали эмпирическим данным о распределении рождений по возрасту матери для двух типов агентов, представленных на рисунке 3.14 (где доли общей численности новорожденных для матерей из разных возрастных групп по каждому типу в сумме составляют единицу).

Анализ текущего состояния (блоки B2–B4) предполагает сбор статистики по популяции агентов — общая численность агентов, численность агентов-мужчин и агентов-женщин по возрастным группам и типам. Собранная статистика сохраняется в таблицах выходного файла формата Excel для последующей обработки и анализа.

Интерфейс модели демонстрирует пользователю «фактическое» состояние популяции в текущем году, а также графики, показывающие изменение отслеживаемых результатов работы модели в течение модельного времени.

После отображения на экране текущего состояния программа ждет решения пользователя о прекращении или продолжении симуляции. В первом случае происходит остановка работы модели, во втором — переход к следующему шагу ее работы. На каждом последующем шаге (блоки C1–C6) выполняются следующие действия:

- к значению переменной года прибавляется единица;
- имитация смертности (блок C2): на основе дифференцированных по полу и возрасту коэффициентов смертности рассчитывается вероятность умереть для каждого агента популяции, после чего вероятностным образом определяется его судьба, часть агентов уничтожается, а остав-

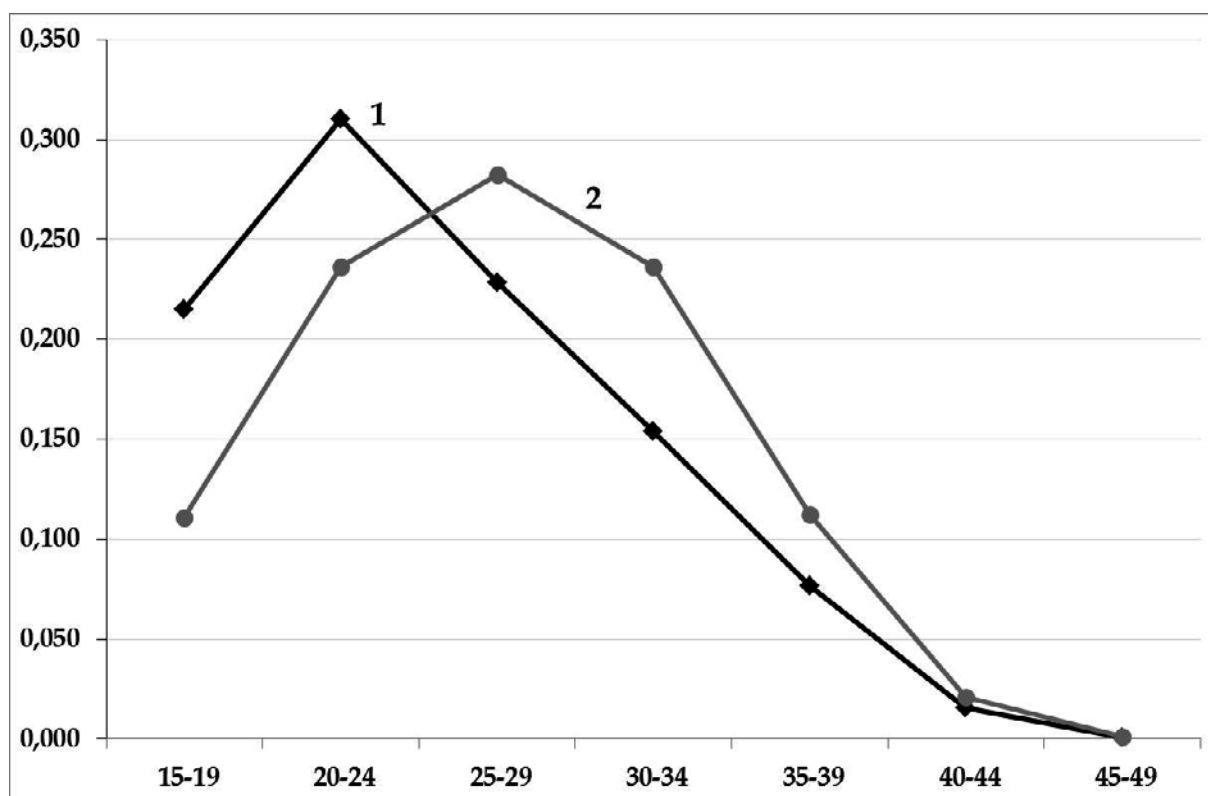


Рисунок 3.14. Доли от общей численности новорожденных для матерей из разных возрастных групп (1 — традиционный тип, 2 — современный тип)

шиеся становятся на год старше (коэффициенты смертности для агентов двух типов приняты одинаковыми и постоянными на протяжении всего периода симуляции);

- имитация рождаемости (блоки С3–С6).

На этом этапе агенты — женщины репродуктивного возраста в соответствии со своим возрастом и типом репродуктивной стратегии пополняют коллекции желающих родить, если их желаемое число детей больше фактического. Именно этот выбор и представляет собой действие, доступное агентам в модели. Затем для каждого типа отдельно рассчитывается общее число агентов — женщин репродуктивного возраста и общее число младенцев, которых они должны родить в текущем году, соответствующее заданным суммарным коэффициентам рождаемости. Для каждого типа создается рассчитанное количество агентов нулевого возраста, а пол каждого новорожденного агента определяется случайным образом (женский — с вероятностью 0,488²¹²). Наконец, каждому новорожденному агенту подбирается мать из коллекций агентов — женщин репродуктивного возраста, желающих в этом году родить ребенка. Если при этом число рожденных агентом-матерью детей сравнивается с числом желаемых, она удаляется из коллекции желающих родить и больше не будет участвовать в репродуктивном процессе.

Результаты апробации первой модели. С использованием модели были проведены эксперименты по прогнозированию изменения численности популяции агентов, населяющих условный регион, возрастной структуры этой популяции, а также соотношения численности агентов разных типов для основных возрастных групп и для популяции в целом. Было проведено 20 экспериментов при следующих значениях параметров:

- общая численность популяции агентов — 100 тыс.;
- доля агентов традиционного типа — 10%;
- в качестве показателей смертности для агентов двух типов выбраны общероссийские значения;

²¹² Шахотько Л. П., Терещенко С. М. Компьютерное решение задачи построения демографических прогнозов // Вопросы статистики. 1999. № 10. С. 57–65.

- суммарный коэффициент рождаемости для агентов — женщин традиционного типа — 3, для современного — 1,4;
- минимальное число желаемых детей для агентов традиционного типа — 2, максимальное — 10, для агентов современного типа — 0 и 3 соответственно;
- базовый год — 2007;
- период симуляции — 20 шагов (лет).

В качестве прогнозных значений характеристик популяции были взяты их соответствующие средние по всем экспериментам, при этом модель продемонстрировала высокую устойчивость. Так, для общей численности популяции отклонения от среднего значения на протяжении 20 лет располагались в интервале от $-0,23\%$ до $0,16\%$, что можно считать очень хорошим результатом.

Анализ результатов экспериментов позволяет утверждать, что модель адекватно имитирует такие наблюдаемые в реальной жизни процессы, как снижение общей численности населения (депопуляция), а также его старение. На рисунке 3.15 показано снижение численности агентов начиная с 2016 г., а также максимальные и минимальные значения численности агентов по годам. Старение населения отражено на рисунке 3.16: численность агентов моложе 50 лет неуклонно снижается на протяжении всего периода, а численность агентов старше 80 лет возрастает.

Помимо этого, модель демонстрирует еще один эмпирически наблюдаемый эффект, а именно что соотношение численности агентов двух типов будет неодинаковым в разных возрастных группах (рисунок 3.17). При общем незначительном росте доли агентов традиционного типа на каждом шаге моделирования она тем выше, чем моложе возрастная группа. Более того: чем моложе агенты, тем больше скорость увеличения этой доли. Так, если в среднем по популяции доля агентов традиционного типа за 20 лет, для которых строился прогноз, выросла на $3,2\%$, то в группе самых младших агентов (от 0 до 14 лет) эта доля выросла на $7,7\%$, а в следующей возрастной группе агентов (от 15 до 24 лет) — уже только на $5,8\%$.

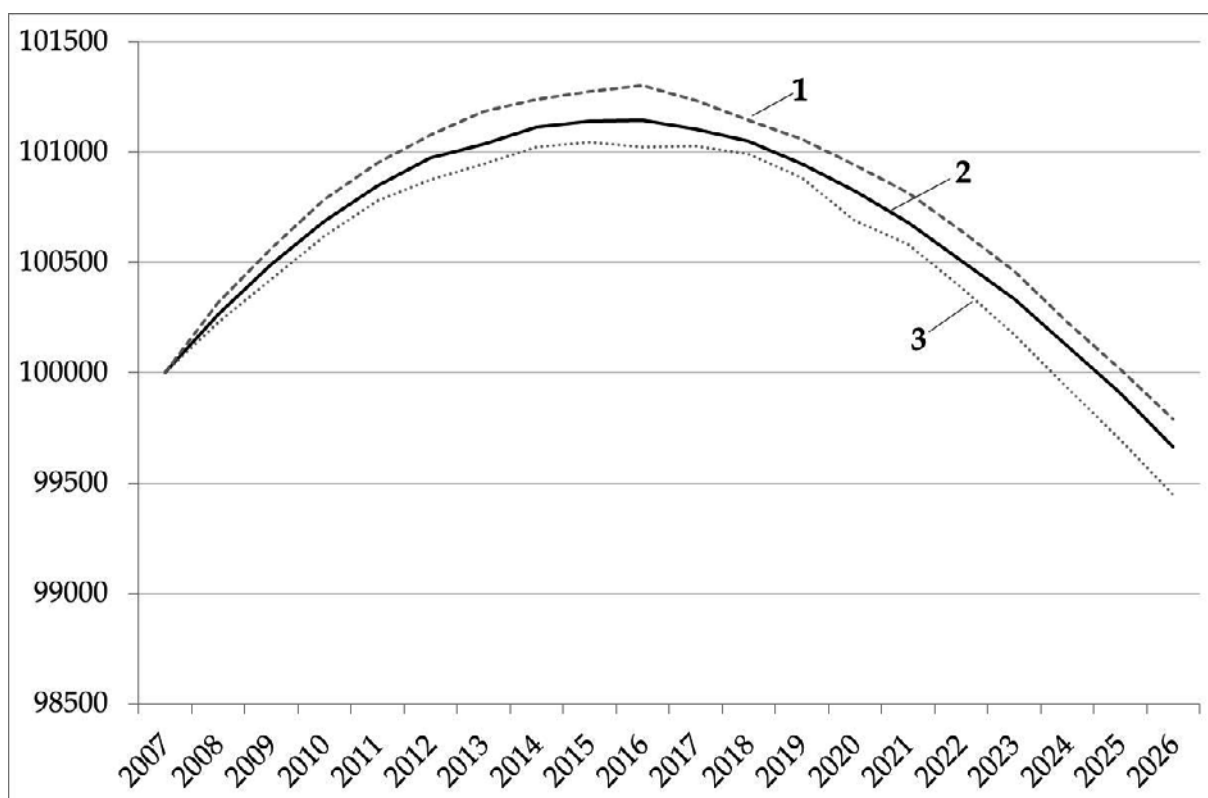


Рисунок 3.15. Динамика численности популяции агентов (1 — максимальные значения, 2 — средние значения, 3 — минимальные значения)

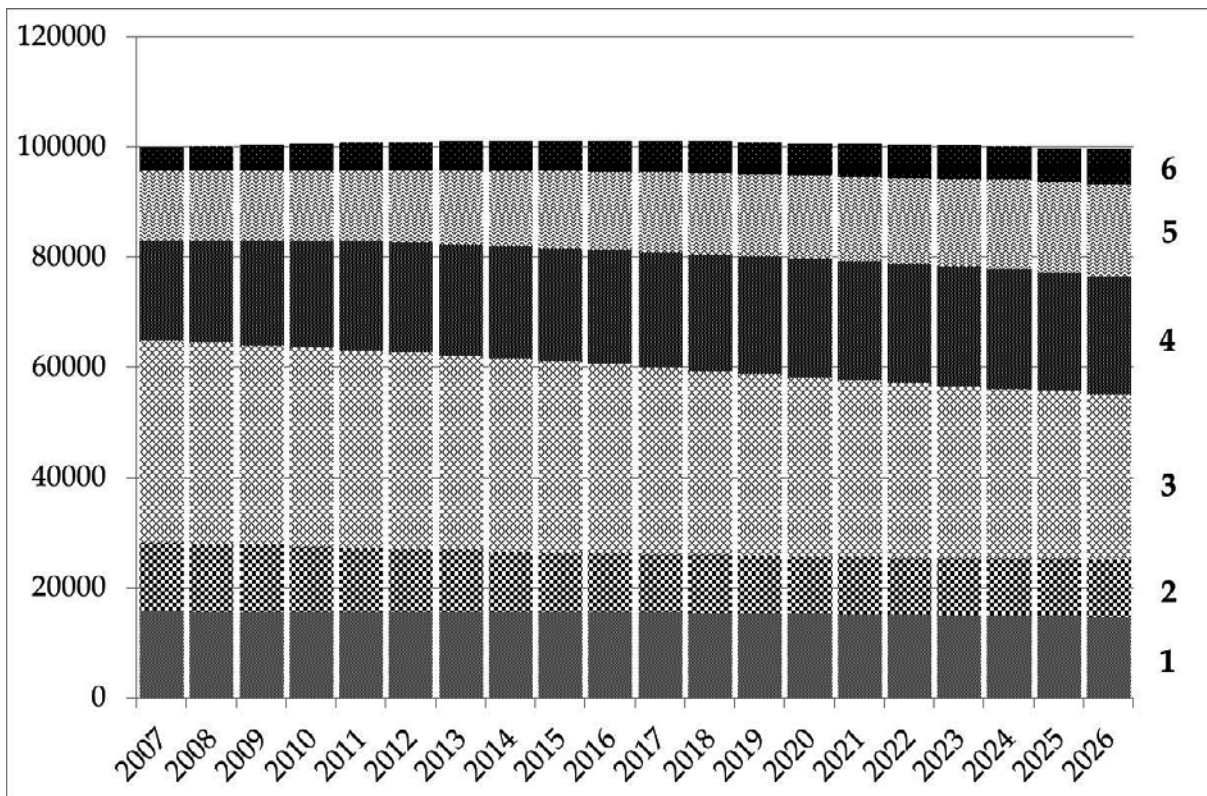


Рисунок 3.16. Динамика возрастной структуры популяции агентов (возрастные группы: 1 — 0–14 лет, 2 — 15–24 года, 3 — 25–49 лет, 4 — 50–64 года, 5 — 65–79 лет, 6 — 80 лет и старше)

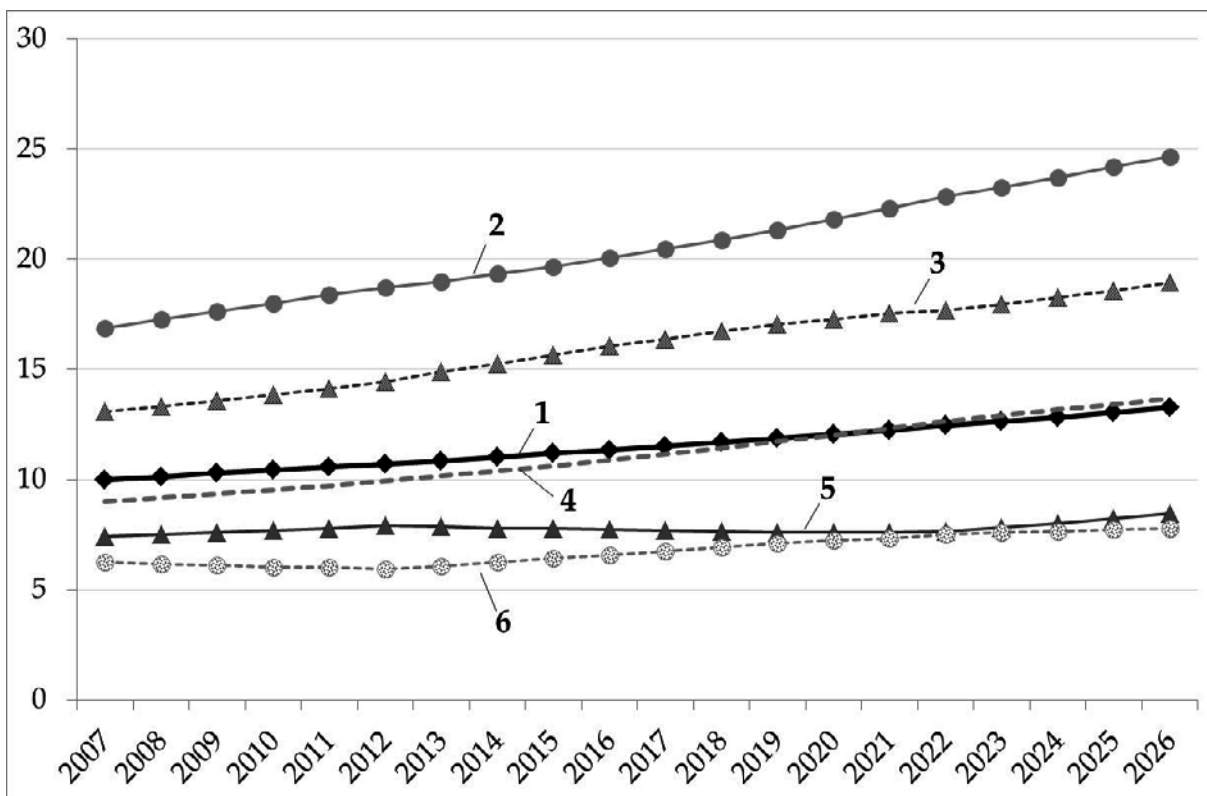


Рисунок 3.17. Доли агентов традиционного типа по популяции агентов в целом (1) и по основным возрастным группам. Возрастные группы: 2 — 0–14 лет, 3 — 15–24 года, 4 — 25–49 лет, 5 — 50–64 года, 6 — 65–79 лет

Отличия второй модели. Исходные данные для второй модели те же, что и для первой. Общая последовательность имитируемых демографических процессов также совпадает со схемой первой модели. С содержательной точки зрения отличие заключается в более детализированном и реалистичном описании процессов воспроизводства населения. Так, рождению детей предшествует образование семейных пар, которые «обсуждают» число желаемых детей, при этом процедура поиска партнера полностью контролируется самим агентом и зависит от его принадлежности к тому или иному типу репродуктивного поведения. «Обсуждение» в модели реализуется в виде обмена сообщениями между агентами, ищущими себе партнера. Взаимодействие агентов при поиске партнера является именно тем отличием новой модели, которое существенным образом влияет на организацию распараллеливания ее работы для запуска на суперкомпьютере.

В соответствии с обозначенной спецификой появляются новые компоненты агентов (место жительства, все родственные связи, процедура поиска партнера, процедура рождения ребенка) и новые компоненты среды (коллекции одиноких агентов — мужчин и женщин, желающих создать семью, и модифицированная процедура имитации рождаемости).

Установка стартового состояния системы включает в себя следующие шаги:

- вся территория, на которой расселяются агенты в рабочем окне модели, делится на кварталы (квадраты), и каждому агенту присваивается его «адрес» — номер квадрата;
- желаемое число детей присваивается всем агентам независимо от пола;
- агенты-дети наделяются обоими родителями;
- устанавливаются все родственные связи агентов — партнер, родители, дети, братья и сестры;
- для каждой возрастной когорты в интервале от 15 до 48 лет для женщин (репродуктивный период) и от 18 до 65 лет для мужчин формируются коллекции (списки) одиноких мужчин и одиноких женщин (отдельно), желающих создать семью;
- агенты из коллекций одиноких женщин пытаются найти одинокого мужчину для образования пары;
- агенты — женщины репродуктивного возраста, имеющие партнера и еще не родившие столько детей, сколько они планировали, пополняют коллекции женщин, желающих родить ребенка.

Модификации подверглась и процедура имитации рождаемости:

- рассчитывается общее количество агентов — женщин репродуктивного возраста каждого типа, а также их количество для пятилетних возрастных когорт;
- рассчитывается общее количество агентов-новорожденных каждого типа с учетом соответствующих общих коэффициентов рождаемости;
- рассчитывается количество агентов-новорожденных, приходящихся на группы агентов-женщин из пятилетних возрастных когорт (с учетом заданного распределения новорожденных по возрасту матерей каждого типа);
- для каждой возрастной когорты и каждого типа рассчитывается вероятность рождения ребенка агентом из коллекций женщин, желающих родить;
- для каждого агента из указанных коллекций вероятностным образом решается его судьба, и если ответ положительный, то выполняется внутренняя процедура рождения ребенка этим агентом.

Алгоритм действий агента в рамках процедуры поиска партнера включает в себя:

- для каждой одинокой женщины-агента случайным образом определяется возраст будущего претендента (максимальная разница в возрасте — 20 лет);
- в коллекции одиноких агентов-мужчин данного возраста и того же типа, что и агент-женщина, находится такой, который проживает в том же квартале и не является ее родственником;
- с этим агентом-претендентом агент-женщина обменивается сообщениями о желаемом числе детей;
- если разница между этими числами не превышает двух, то образуется пара — возникают партнерские связи, а также родственные связи с уже имевшимися у супругов детьми (если они

были). Кроме того, оба партнера удаляются из коллекций одиноких агентов, а агент-женщина добавляется в соответствующую коллекцию женщин, желающих родить (если она еще не имеет столько детей, сколько хотела).

С использованием второй модели были реализованы те же эксперименты, что и с использованием первой, и получены аналогичные результаты. Таким образом, можно заключить, что разработанные АВМ, несмотря на очевидное упрощение действительности, верно воспроизводят как начальное состояние населения условного региона, включая его половозрастную и социальную структуру, так и динамику основных демографических характеристик.

3.3.1. Адаптация моделей для запуска на суперкомпьютере

Для запуска описанных моделей на суперкомпьютерах использовалась разработанная авторами технология поддержки АВМ для суперкомпьютеров *STARS* (Supercomputer Technology for Agent-Oriented Simulation). Важно отметить, что, кроме общей схемы распараллеливания, которая определяет способ преобразования исходного кода модели, обязательным является соответствие базовым требованиям современных суперкомпьютеров, для которых де-факто стандартом выступает ориентация на MPI (программный интерфейс для обмена сообщениями между процессами, выполняющими задачу в параллельном режиме). При этом, к сожалению, нельзя рассчитывать ни на общую память узлов суперкомпьютера, ни на поддержку стандарта OpenMP, в чем авторы убедились еще несколько лет назад. Желаемого результата также не принесет ни установка на суперкомпьютер среды моделирования AnyLogic, ни прочие возможности типа библиотек для работы с файлами в формате MS Excel. Нежелательным является и использование стандартной среды исполнения Java, поскольку она редко присутствует на суперкомпьютере. Таким образом, вся специфика, свойственная исходной среде исполнения AnyLogic и стандартному Java-окружению, должна быть адаптирована к суперкомпьютеру, а взаимодействия между вычислительными узлами — основываться на стандарте MPI.

Имеющийся опыт и анализ новых программных технологий. Уже опробованная авторами при распараллеливании демографической модели России в 2011 г. библиотека для многоагентного моделирования ADEVS показала себя достаточно хорошо²¹³. Последние версии ADEVS, кроме того, в определенном объеме поддерживают Java, что тоже является плюсом. Однако разработчики ADEVS до сих пор не реализовали параллельную работу на суперкомпьютере, за исключением технологии OpenMP для мультипроцессоров, в связи с чем в предыдущей нашей работе потребовалось значительное количество доработок в части поддержки MPI.

При распараллеливании предыдущей, достаточно простой модели она была переписана на C++ целиком, что является избыточным: пред- и постобработка данных, а также создание начального состояния многоагентной среды не относятся к критическим по времени операциям. Для суперкомпьютера обычно достаточно распараллелить лишь вычислительное ядро алгоритма, т. е. в данном случае фазу пересчета состояния популяции. В текущей реализации модели фаза пересчета не использует планировщик AnyLogic, т. к. требуется обеспечить строго заданную очередность обработки состояния агентов.

Анализ новейших программных технологий показал, что в последнее время активно развиваются встраиваемые средства для исполнения Java-программ, которые используют так называемую АОТ- (Ahead-of-Time) компиляцию. При этом результатом работы АОТ-компилятора является обычный автономный исполняемый модуль, содержащий машинный код для целевой платформы. Интересно отметить, что подобный подход используется в новых версиях операционной системы Android, что, на наш взгляд, не случайно: и для встраиваемых систем, и для суперкомпьютера эффективность исполнения кода является основным фактором. Эксперименты с одним из подобных продуктов — АОТ-компилятором Avian — позволили заключить, что, во-первых, он позволяет получить автономный исполняемый модуль в виде MPI-прило-

²¹³ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Васенин В. А., Роганов В. А., Трифонов И. А. Средства суперкомпьютерных систем для работы с агент-ориентированными моделями // Программная инженерия. 2011. № 3. С. 2–14.

жения для суперкомпьютера, при этом на C++ легко реализуется произвольный дополнительный код, включая инициализацию и привязку к коммуникационной библиотеке MPI; во-вторых, скорость работы полученного программного модуля (к примеру, на классической игре Д. Конвея «Жизнь»²¹⁴) приблизительно соответствует скорости работы ADEVS. Это позволило переложить значительную часть работы на AOT-компилятор и реализовать на C++ только самое необходимое, закрепив за ADEVS функцию поддержки ускоренных стадий со сложным межагентным взаимодействием.

Технические решения для распараллеливания модели. В качестве программного средства для организации межузлового взаимодействия выбрана парадигма активных сообщений (мобильных сериализованных объектов). Она широко и с успехом применяется в этом качестве, поскольку обладает неоспоримым преимуществом — избавляет программиста от необходимости анализировать поступающие сообщения. Достигается это благодаря тому, что сообщения пересылаются в виде сериализованных объектов, при приеме и восстановлении объектного вида которых просто вызывается их метод `handle`. Т. е. о том, что должно происходить при приеме сообщения, заботится исключительно формирующая и посылающая его сторона.

На базе активных сообщений для встраиваемой среды исполнения Avian+MPI был реализован программный каркас, в котором выделенный (первый по счету) узел кластера выдает задания (так называемые стадии расчета) и собирает результаты со всех участвующих в расчете узлов (включая его самого). Одному шагу моделирования (году в терминологии текущей модели) может соответствовать несколько стадий, т. к. при межузловом межагентном взаимодействии есть вероятность возникновения потребности в согласовании определенных свойств у агентов (например, согласование желаемого количества детей партнерами).

Для формата ALP, используемого средой AnyLogic для хранения описания моделей, был разработан конвертер, в котором для каждой секции входного файла реализован обработчик, собирающий существенную информацию о модели и генерирующий Java-классы. Все эти обработчики используются конвертером с опорой на программную специфику модели (т. е. набор правил трансляции). Например, инициализация поля главного класса модели `Population` обрабатывается так, чтобы получить количество агентов из окружения. Это позволяет задавать значение моделируемого параметра в виде опций командной строки.

Эмуляция необходимых функций AnyLogic (взаимодействия, генераторы случайных чисел, использующих вероятностные распределения, чтение и запись excel-файлов) была реализована в виде отдельного программного пакета RT (RunTime). C++-код для работы с MPI и низкоуровневыми примитивами размещается в отдельном программном модуле, производит инициализацию и вызывает входную точку модели, предоставляя некоторые примитивы, а также полезные средства для отладки.

Технология получения и запуска параллельной версии. Исходное, разработанное в среде AnyLogic описание модели представляет собой XML-файл с расширением `.ALP` (XML-файл в стандарте AnyLogic), в котором содержится описание агентных сущностей модели, их параметры, а также правила пересчета состояния агентов во время эволюции. Кроме ALP-описания, к модели прилагается файл с данными в формате Excel, в котором указаны численные параметры, используемые как на стадии формирования стартового состояния системы, так и при пересчете соответствующих популяций.

Процесс создания распараллеленного суперкомпьютерного варианта программы включает в себя три стадии. На первой входной ALP-файл с описанием модели считывается конвертером, который реконструирует объектное представление для всех описанных сущностей и правил и, проведя необходимую их обработку, формирует набор программных модулей (Java-классов общим объемом в несколько тысяч строк), содержащих всю существенную информацию. Пере-

²¹⁴ Тоффолли Т., Марголюс Н. Машины клеточных автоматов. М.: Мир, 1991.

менные агентов преобразуются в поля классов, а правила реакции агентов на события — в соответствующие методы.

На второй стадии входной Excel-файл со стартовыми значениями параметров модели преобразуется в исходный текст на языке Java (также объемом в несколько тысяч строк), чтобы обеспечить оперативный доступ к параметрам модели на каждом узле суперкомпьютера. Иными словами, внешний набор параметров модели становится составной частью исполняемого модуля для суперкомпьютера.

Последняя стадия предполагает компиляцию сформированных программных модулей совместно с разработанным кодом эмуляции используемых функций среды AnyLogic и их компоновку в машинный код для целевого суперкомпьютера. Исполняемый модуль является полностью автономным и при запуске принимает лишь несколько ключевых параметров в командной строке. Например, запуск модели с миллионом агентов для 20 лет на 12 вычислительных узлах производится следующей командой:

```
$ mpirun -np 12 -x Population=1000000 rt.Main
```

Выходные данные при этом собираются с вычислительных узлов в процессе счета, ключевые характеристики популяции и общее потраченное на расчет время сохраняются в журнале, а также печатаются по окончании запуска:

```
[0]: totalNumberPeople = 990221
```

```
[0]: * * * Total stages time: 21.173s * * *
```

Сравнительные результаты скорости работы моделей и перспективы развития разработанной технологии. Для первых экспериментов с параллельной версией упрощенной демографической модели использовался фрагмент лабораторного вычислительного кластера с 12 счетными ядрами и общим объемом оперативной памяти 96 Гбайт. При такой конфигурации в оперативной памяти без труда помещаются 60 млн агентов, что позволяет провести моделирование динамики роста населения в масштабах небольшой страны.

Параллельная версия также испытывалась на многоядерном процессоре. Результаты замеров времени работы оригинальной и параллельной версий модели представлены в таблицах 3.3, 3.4 и 3.5, из которых видно, что скорость работы и вместимость по числу агентов суперкомпьютерной версии значительно выше соответствующих показателей оригинальной модели. Также видно, что при повышении локальности межагентных взаимодействий (увеличения числа кварталов и соответствующего уменьшения их площади) производительность счета повышается. Таким образом, для моделирования динамики развития населения России или Европы достаточно небольшого Blade-сервера, при этом время одного расчета не превысит нескольких минут. Для

Таблица 3.3. Оригинальная версия, одно вычислительное ядро (8 Гбайт оперативной памяти)

Агенты	Секунды
50 000	1,8
100 000	6
200 000	28
400 000	92
800 000	360
1 600 000	1485

Таблица 3.4. Параллельная версия, четыре вычислительных ядра

Ядра	Кварталы	Агенты	Секунды
1	12	1 000 000	210
4	12	1 000 000	50
4	40	1 000 000	30
4	40	2 000 000	75
4	20	4 000 000	344

Таблица 3.5. Фрагмент вычислительного кластера (12 счетных ядер Core i7, 96 Гбайт оперативной памяти)

Ядра	Кварталы	Агенты	Секунды
12	12	1 000 000	21
12	24	1 000 000	12
12	24	10 000 000	516
12	60	10 000 000	303
12	300	10 000 000	132
12	300	30 000 000	585
12	300	50 000 000	1371
12	300	60 000 000	1833

проведения более масштабных экспериментов с использованием разработанной модели потребуются уже более вместительный и производительный суперкомпьютер.

Главным положительным моментом разработанного подхода к распараллеливанию моделей, разработанных в среде AnyLogic, является автоматизация создания их суперкомпьютерных версий. Это значительно упрощает разработку, т. к. в большинстве случаев после несущественной модификации исходной модели не требуется доработка правил преобразования в исполняемый модуль для суперкомпьютера.

Данный подход является расширяемым в части используемого целевого языка и программно-аппаратной платформы. Кроме уже успешно опробованных платформ исполнения Avain и ADEVS, можно разработать и более низкоуровневые средства для ускорения фазы пересчета состояния агентов, а в перспективе — рассмотреть вопрос об использовании таких аппаратных ускорителей, как Xeon Phi и NVidia CUDA. Использование более эффективных низкоуровневых средств предпочтительнее также в целях ускорения работы некоторых примитивов. Как выяснилось в процессе разработки, на итоговую скорость работы модели весьма существенное влияние оказывает эффективность используемых генераторов случайных чисел. Поэтому их оптимизация является приоритетной задачей. Перспективным подходом здесь может быть генерация случайных чисел с нужными параметрами используемых вероятностных распределений в отдельных счетных потоках.

Примененная технология межузлового взаимодействия при помощи технологии активных сообщений позволяет в случае необходимости легко реализовать как интерактивное моделирование, так и интерактивную визуализацию процесса моделирования в масштабе расчетного времени. Однако это возможно лишь в том случае, если суперкомпьютер будет доступен в монопольном режиме — например, будет использоваться компактный персональный суперкомпьютер.

Основным вопросом, который сохраняет актуальность, является вопрос о максимально достижимой эффективности распараллеливания в случае массового взаимодействия агентов, находящихся на разных вычислительных узлах суперкомпьютера. Достаточно очевидно, что, если каждый агент активно взаимодействует со всеми остальными агентами, производительность будет низкой ввиду объемного межузлового трафика. Тем не менее даже при таких неблагоприятных условиях суперкомпьютер позволяет существенно ускорить моделирование, когда модель запускается или многократно (для набора статистики), или с разными параметрами. В другом крайнем случае, когда почти все взаимодействия локализованы по географическому расположению агентов, эффективность распараллеливания будет хорошей. Таким образом, эффективность параллельной версии напрямую зависит от той доли межагентных взаимодействий, которая требует пересылки больших объемов данных между вычислительными узлами.

Подчеркнем несколько моментов, связанных с использованием разработанных и распараллеленных мультиагентных моделей, имитирующих явление демографического перехода.

Во-первых, хотя обычно различия в репродуктивном поведении людей рассматриваются в связи с междустрановыми сопоставлениями, однако они могут наблюдаться и внутри одной страны, если ее население в этом отношении неоднородно.

Во-вторых, выбранный подход (перенос фокуса моделирования демографических процессов на микроуровень) позволяет адекватно воспроизвести в модели особенности репродуктивного поведения людей с учетом их индивидуальных различий.

В-третьих, результаты проведенных на модели экспериментов соответствуют наблюдаемым в реальной жизни процессам, таким как снижение общей численности и старение населения.

В-четвертых, за счет имитации различий в репродуктивном поведении людей из разных социальных групп, а именно различий в выборе времени вступления в брак, а также в среднем числе рождаемых каждой женщиной детей, модели адекватно демонстрируют изменения в социальной структуре населения.

Ввиду этих особенностей представленные модели могут быть использованы при изучении динамики численности и структуры населения тех или иных регионов.

3.3.2. Цифровой двойник (искусственное общество) социально-экономической системы России — платформа для экспериментов в сфере управления демографическими процессами²¹⁵

В этом разделе мы рассмотрим динамику численности населения России, а также факторы повышения рождаемости, успешные примеры практической реализации агентных моделей для изучения социальных процессов и краткое описание разработанной нами модели, включающей в себя 146 млн агентов. С помощью этого инструмента были получены прогноз численности населения России и оценка влияния на этот показатель некоторых мероприятий, направленных на улучшение демографической ситуации.

В 2020 г. исследователи ЦЭМИ РАН провели комплексное обследование факторов, влияющих на уровень национальной безопасности 193 стран и определяющих их потенциал (показатель национальной силы). Подробные результаты этой работы приведены в разделах 4.1 и 4.2. С помощью методов многомерного статистического анализа было выявлено, что основную угрозу национальной безопасности нашей страны создает ухудшение демографической ситуации, связанное с повышенной смертностью населения, снижением продолжительности жизни и рождаемости^{216, 217}. Конечно, как показали расчеты, существенное влияние оказывают также недостаток денежного предложения, высокий уровень инфляции, соотношение денежных доходов 10% наиболее и 10% наименее обеспеченного населения и другие показатели, но все-таки численность и качество населения являются более фундаментальными факторами развития страны. В долгосрочной перспективе низкая рождаемость может привести к экономическому спаду, усилению неравенства, снижению уровня научного и инновационного развития и т. д. В этой связи весьма актуально, что в отдельную национальную цель развития страны выделено «сохранение населения, здоровье и благополучие людей», в том числе предусматривающее повышение ожидаемой продолжительности жизни и устойчивый рост численности населения.

На рисунке 3.18 приведены данные по численности населения России²¹⁸ за длительный период (с 1928 по 2020 г.). Как видно на рисунке, на протяжении большей части рассматриваемого периода население росло, по инерции достигнув пика после перестройки и начала реформ 1990-х гг. (146,58 млн человек в 1993 г.). С тех пор запустились многочисленные негативные процессы депопуляции (проблемы в экономической сфере, ухудшение качества и снижение уровня жизни, стрессы, высокая заболеваемость, возросший уровень преступности и др.). Все это привело к повышенной смертности населения (рисунок 3.19) и снижению продолжительности жизни. На графике красная линия показывает численность умерших, а зеленая — родившихся, и их пересечение в 1992 г. предопределило первую демографическую яму. Непродолжительная стабилизация была достигнута

²¹⁵ Исследование выполнено совместно с Р. И. Нигматулиным, Н. И. Ильиным, Е. Д. Сушко и М. Ю. Сидоренко.

²¹⁶ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Ильин Н. И. Моделирование и оценка национальной силы России // Экономические стратегии. 2020. № 2 (168). С. 6–19. DOI: 10.33917/es-2.168.2020.6-19.

²¹⁷ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Ильин Н. И., Сушко Е. Д. Национальная безопасность России // Экономические стратегии. 2020. № 5 (171). С. 6–23. DOI: 10.33917/es-5.171.2020.6-23.

²¹⁸ До 25 декабря 1991 г. — РСФСР.

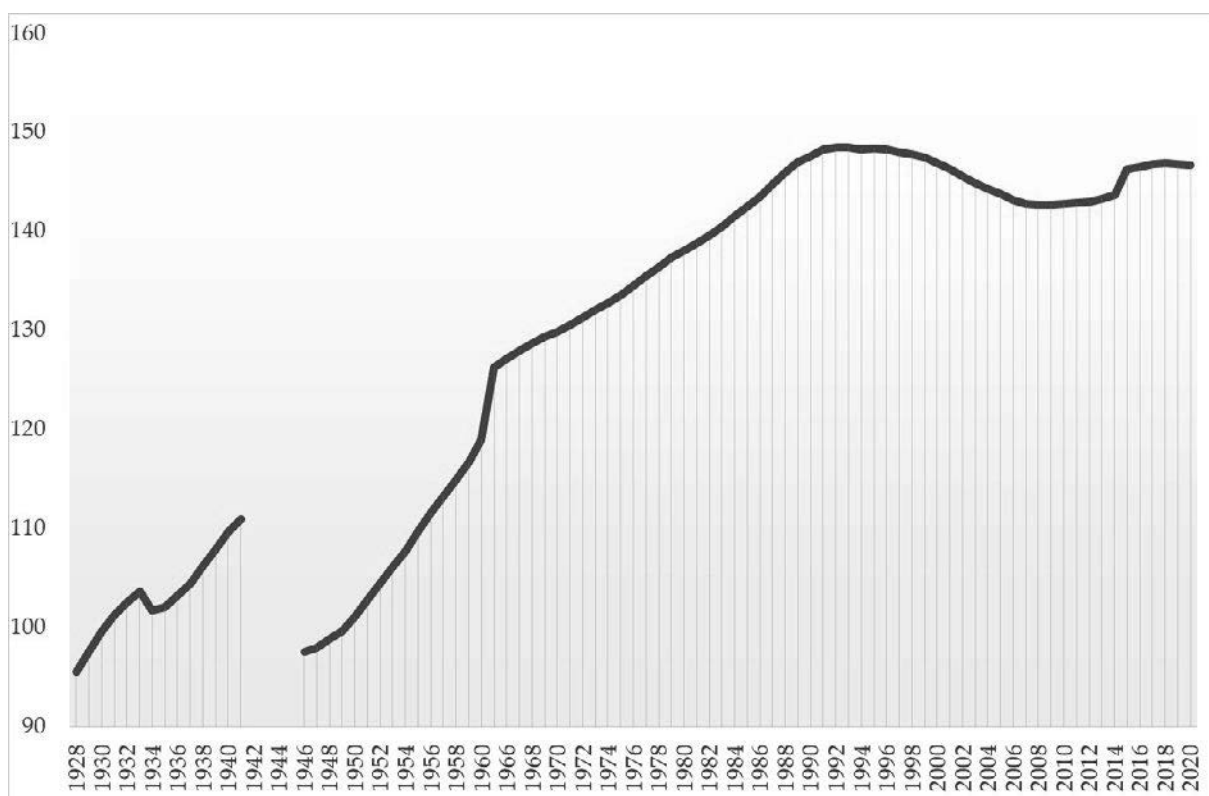


Рисунок 3.18. Численность населения, млн человек (источник: до 1960 г. — «Население Советского Союза»²¹⁹, после 1960 — <https://rosstat.gov.ru>)

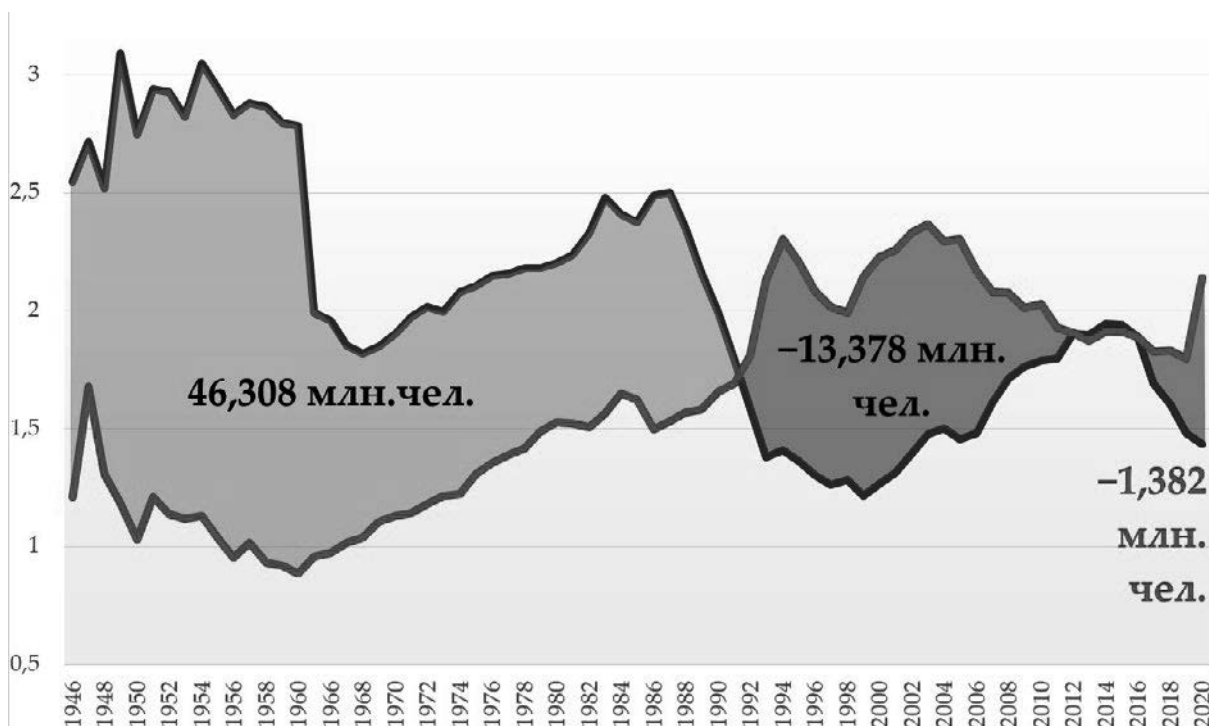


Рисунок 3.19. Число родившихся и умерших, млн человек (источник: до 1960 г. — «Население Советского Союза»²²⁰, после 1960 — <https://rosstat.gov.ru>)

²¹⁹ Андреев Е. М., Дарский Л. Е., Харьковская Т. Л. Население Советского Союза: 1922–1991. М.: Наука, 1993.

²²⁰ Андреев Е. М., Дарский Л. Е., Харьковская Т. Л. Население Советского Союза: 1922–1991. М.: Наука, 1993.

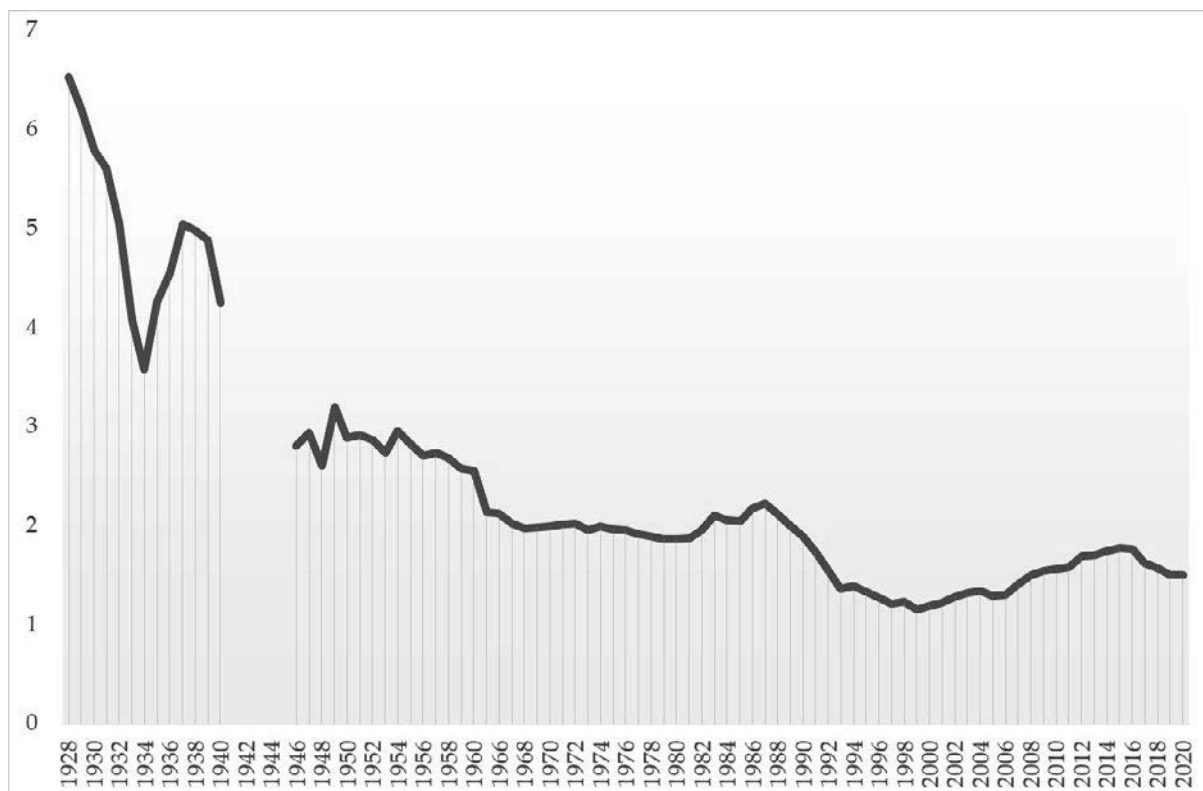


Рисунок 3.20. Суммарный коэффициент рождаемости (источник: до 1960 г. — «Население Советского Союза»²²¹, после 1960 г. — <https://rosstat.gov.ru>)

в 2013–2014 гг., а затем кривые снова разошлись с тенденцией на превышение числа умерших над числом родившихся, что вызвало дальнейшее снижение численности населения.

Помимо высокой заболеваемости²²¹ и низкой продолжительности жизни заметный вклад в этот процесс вносит снижение рождаемости. Так, суммарный коэффициент рождаемости — важнейший показатель, определяющий ее уровень, — в последний раз превышал значение, необходимое для простого воспроизводства (2,1) в 1988 г., а с тех пор заметно снизился. Рост СКР наблюдался только в течение относительно небольшого периода начиная с 2000 г., с максимальным значением 1,777 в 2015 г. (рисунок 3.20).

Справедливости ради отметим, что процессы сокращения рождаемости с различными вариациями характерны для многих стран. На рисунке 3.21 приведены данные по СКР для 15 стран — лидеров по уровню национальной силы, а на рисунке 3.22 — для 15 стран с самыми высокими показателями уровня национальной безопасности. Для 2019 г. эти данные также отдельно представлены в таблице 3.6. Долгосрочная динамика показывает, что даже страны, у которых СКР несколько десятилетий назад был высоким (Саудовская Аравия, Китай, Индия, ОАЭ, Корея), к 2020 г. пришли к новому этапу демографического перехода, характеризующемуся снижением как рождаемости, так и смертности. Человеческий капитал является одним из важнейших конкурентных преимуществ в международной конкуренции, поэтому его развитие, а также увеличение численности населения является приоритетной задачей органов государственной власти. Так, количество стран, правительства которых за период с 1986 по 2011 г. объявили о цели повысить рождаемость, возросло почти в 3 раза²²³.

²²¹ По данным Росстата (<https://rosstat.gov.ru/folder/13721>, дата обращения: 25.10.2021).

²²² Андреев Е. М., Дарский Л. Е., Харьковская Т. Л. Население Советского Союза: 1922–1991. М.: Наука, 1993.

²²³ Sobotka T., Matysiak A., Brzozowska Z. (2019): Policy responses to low fertility: How effective are they? Working Paper No. 1, May 2019. URL: https://www.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/Policy_responses_low_fertility_UNFPA_WP_Final_corrections_7Feb2020_CLEAN.pdf (дата обращения: 25.10.2021).

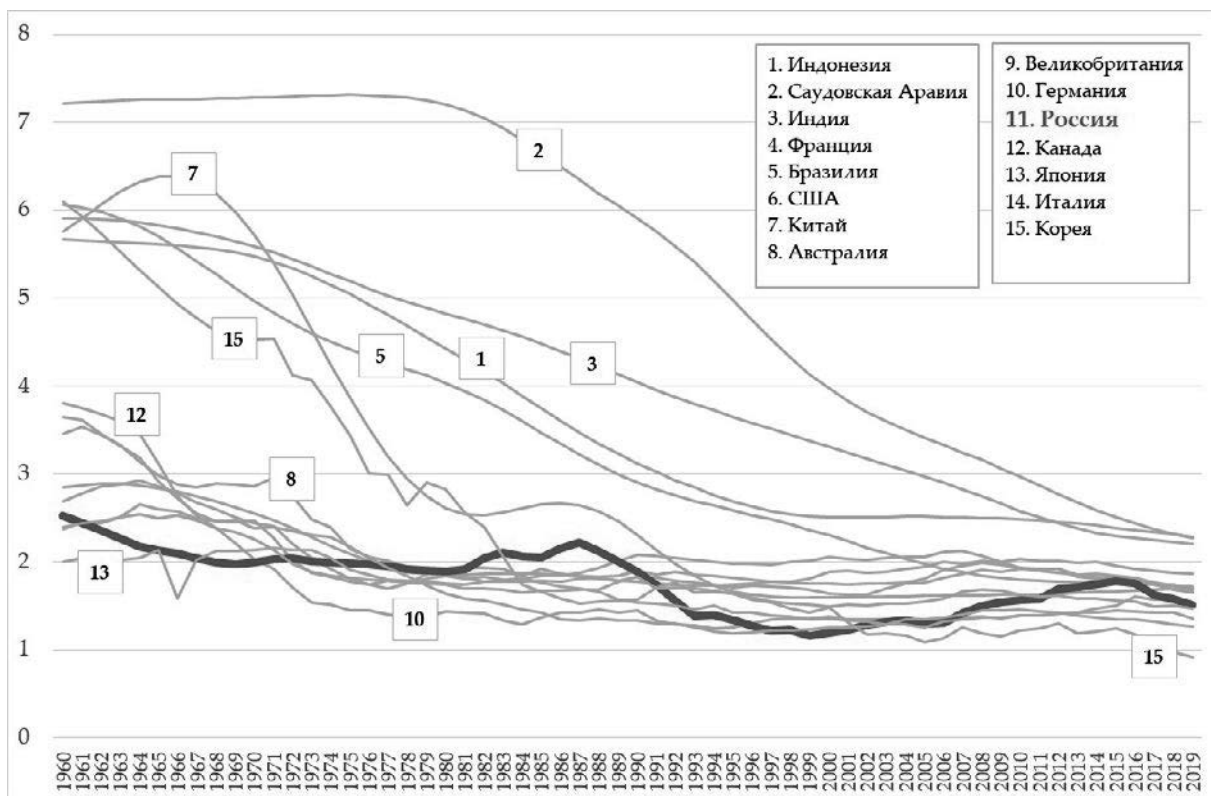


Рисунок 3.21. Суммарный коэффициент рождаемости для 15 стран — лидеров по уровню национальной силы (источник: база данных Всемирного банка — <https://data.worldbank.org>)

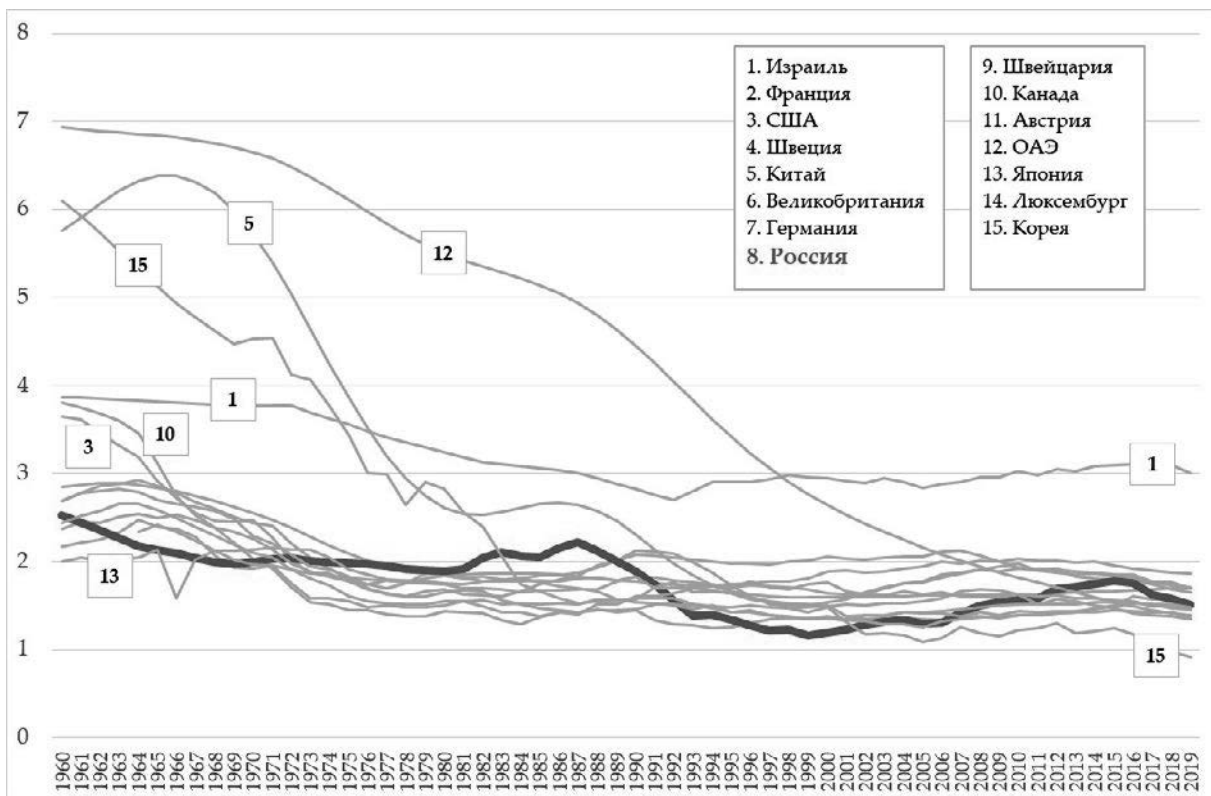


Рисунок 3.22. Суммарный коэффициент рождаемости для 15 стран — лидеров по уровню национальной безопасности (источник: база данных Всемирного банка — <https://data.worldbank.org>)

Таблица 3.6. Суммарный коэффициент рождаемости для 15 стран-лидеров, 2019 г.

По уровню национальной силы		По уровню национальной безопасности	
Индонезия	2,288	Израиль	3,010
Саудовская Аравия	2,275	Франция	1,870
Индия	2,202	США	1,705
Франция	1,870	Швеция	1,700
Бразилия	1,719	Китай	1,696
США	1,705	Великобритания	1,650
Китай	1,696	Германия	1,540
Австралия	1,657	Россия	1,504
Великобритания	1,650	Швейцария	1,480
Германия	1,540	Канада	1,468
Россия	1,504	Австрия	1,460
Канада	1,468	ОАЭ	1,387
Япония	1,360	Япония	1,360
Италия	1,270	Люксембург	1,340
Корея	0,918	Корея	0,918

Источник: база данных Всемирного банка — <https://data.worldbank.org>.

Следует отметить, что среди рассматриваемых стран Россия находится далеко не на последнем месте, однако помимо низкой рождаемости у нашей страны более серьезная проблема заключается в повышенной смертности населения. И по этому показателю по оценке 2021 г. Россия среди упомянутых государств лидирует (рисунки 3.23 и 3.24), а в общемировом рейтинге уступает лишь пяти странам (Литве, Латвии, Болгарии, Украине и Сербии). Вклад в создавшуюся ситуацию вносят высокий уровень заболеваемости, убийств, несчастных случаев и т. д. Как отмечал академик РАН А. Г. Аганбегян, одна из причин сверхсмертности заключается «в трагичности проводившейся с 2010 г. так называемой оптимизации здравоохранения»²²⁴.

В таблице 3.7 приведен фрагмент базы данных с пороговыми значениями ряда показателей, используемых нами для оценки уровня национальной безопасности. Минимальные и максимальные значения были выбраны среди группы 15 стран — лидеров по уровню национальной безопасности, куда входит и Россия. Как видно, упомянутые выше показатели, связанные со смертностью населения, создают угрозу национальной безопасности и влекут за собой снижение численности населения.

Таблица 3.7. Пороговые значения некоторых показателей, определяющих социальный блок показателей, используемых для расчета интегрального индекса национальной безопасности

Наименование показателя	Минимум и максимум среди 15 стран-лидеров	Показатели России
Коэффициент смертности взрослого населения мужского пола (вероятность смерти в возрасте 15–60 лет на 1000 взрослых мужчин)	Мин.: 58,2 (Швейцария) Макс.: 138,3 (США)	322 (за пределами)
Коэффициент смертности взрослого населения женского пола (вероятность смерти в возрасте 15–60 лет на 1000 взрослых женщин)	Мин.: 2,9 (Республика Корея) Макс.: 81,9 (США)	120 (за пределами)
Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний, рака и диабета (процент 30-летних людей, которые умрут до своего 70-летия от перечисленных болезней)	Мин.: 7,800 (Республика Корея) Макс.: 17,000 (Китай)	25,4 (за пределами)
Смертность в результате ДТП (количество случаев на 100 тыс. населения)	Мин.: 2,7 (Швейцария) Макс.: 18,2 (Китай)	12,4 (13-е место)
Число умышленных убийств на 100 000 населения	Мин.: 0,2 (Япония) Макс.: 5,3 (США)	10,8 (за пределами)

Источник: база данных Всемирного банка – <https://data.worldbank.org>.

²²⁴ Аганбегян А. Г. О катастрофическом увеличении смертности и мерах по сбережению народа в России // Экономические стратегии. 2021. № 4. С. 6–13. DOI: 10.33917/es-4.178.2021.6-13.

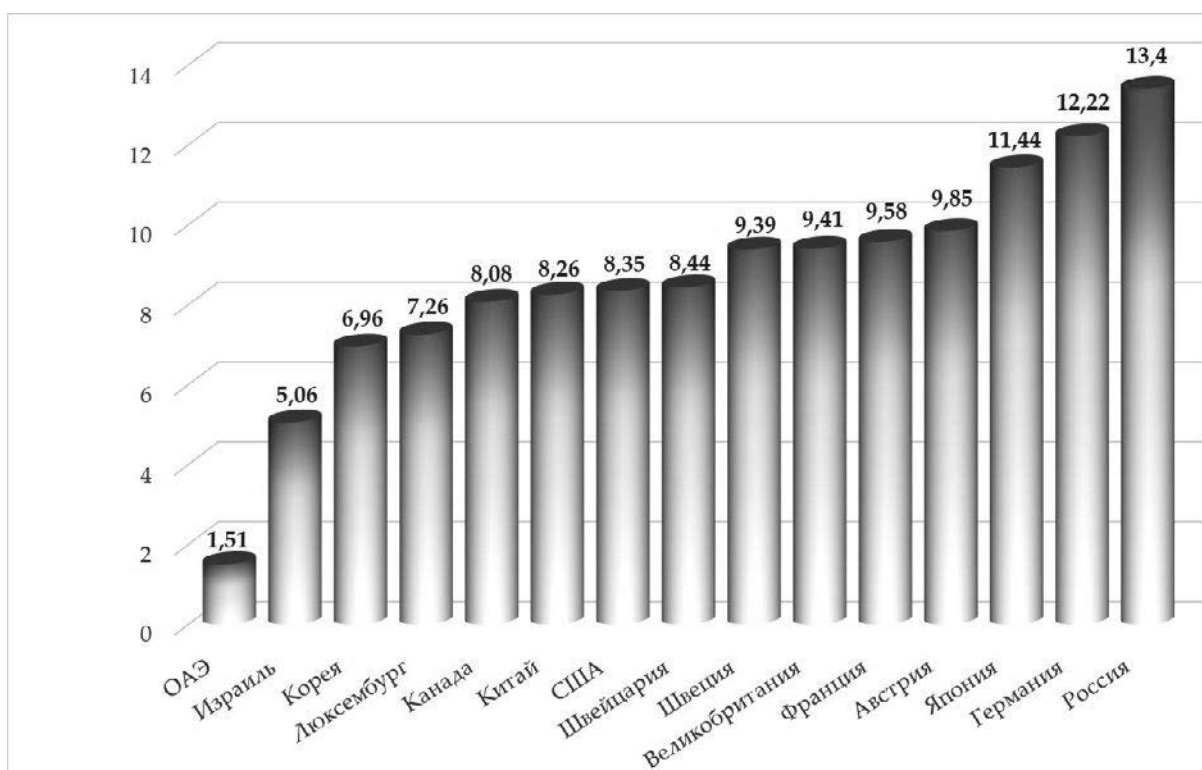


Рисунок 3.23. Общий коэффициент смертности для 15 стран — лидеров по уровню национальной силы (число смертей за год на 1000 человек населения)²²⁵

²²⁵ Источник: <https://www.cia.gov/the-world-factbook/field/death-rate/country-comparison>.

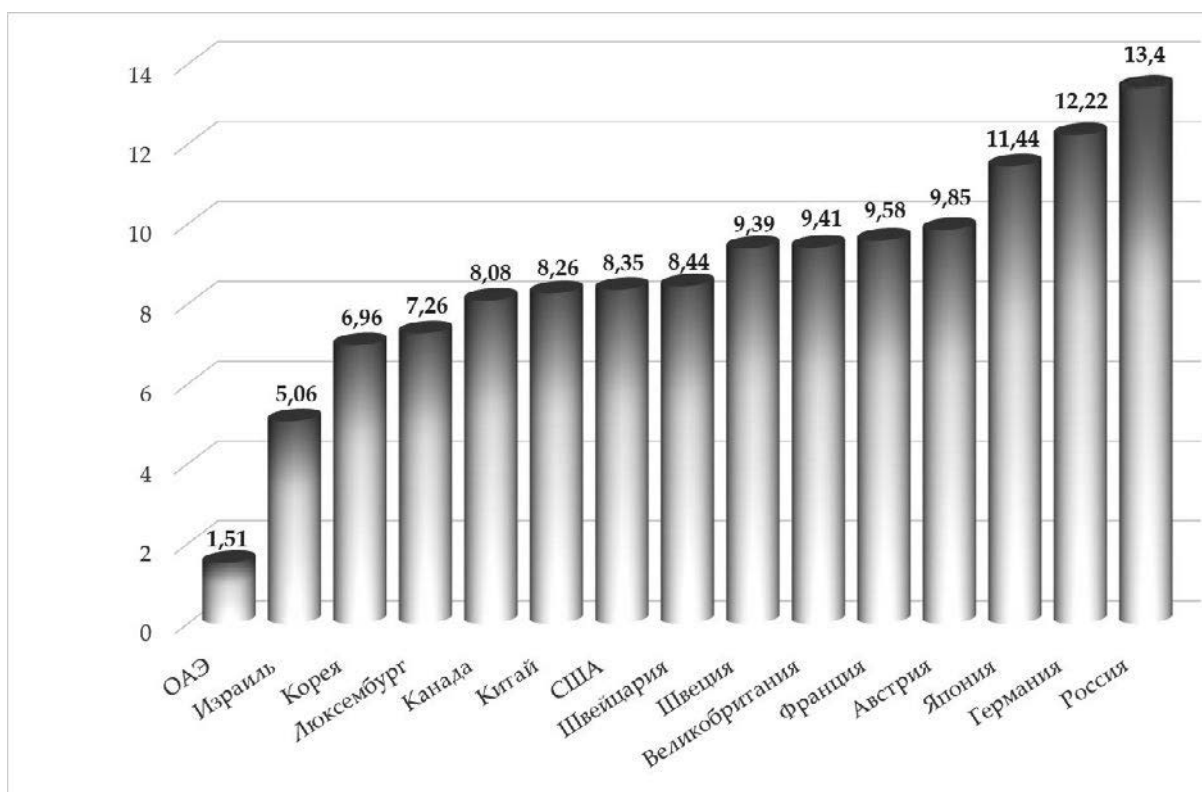


Рисунок 3.24. Общий коэффициент смертности для 15 стран — лидеров по уровню национальной безопасности (число смертей за год на 1000 человек населения)²²⁶

²²⁶ Там же.

Факторы повышения рождаемости

Далее рассмотрим меры стимулирования рождаемости, опробованные в различных странах. Вообще говоря, их немало, поэтому сконцентрируемся на основных и заодно отметим, что приведенный ниже обзор заведомо неполный, поскольку соответствующей литературы также очень много. Среди наиболее эффективных факторов, способствующих повышению рождаемости, можно выделить следующие:

1. Финансовая поддержка семей с детьми (различные пособия, льготные кредиты, налоговые послабления и т. д.).
2. Гибкий график работы для одного (или двоих) родителей.
3. Расширенный отпуск по уходу за ребенком.
4. Ценностные установки (намерение иметь детей, религиозность).
5. Доступность услуг по уходу за детьми. Есть количественные оценки положительного влияния таких услуг на показатели рождаемости²²⁷, причем в большей степени они определяют поведение женщин с высоким уровнем образования^{228, 229}.
6. Качественное медицинское обслуживание, а также доступность вспомогательной репродуктивной технологии²³⁰ и ограничение абортов²³¹.
7. Проживание в сельской местности²³².
8. Социальная среда.
9. Обеспеченность жильем.
10. Налог на бездетность.
11. Пропаганда материнства и др.

К основным факторам, негативно влияющим на процессы рождаемости, относят:

1. Отсутствие стабильной работы²³³.
2. Неблагоприятную экономическую ситуацию²³⁴.
3. Рост безработицы²³⁵.
4. Предпочтение женщин в пользу работы²³⁶.
5. Плохие жилищные условия²³⁷.
6. Повышенные расходы на жилье²³⁸.
7. Социальные потрясения²³⁹.

²²⁷ Goldstein J. R., Koulovatianos C., Li J., Schröder C. (2017): Evaluating how child allowances and daycare subsidies affect fertility, CFS Working Paper Series, No. 568, Goethe University Frankfurt, Center for Financial Studies (CFS), Frankfurt a. M. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hebis:30:3-430067> (дата обращения: 24.10.2021).

²²⁸ Kalwij A. (2010): The impact of family policy expenditure on fertility in western Europe. *Demography*, 47 (2), 503–519. <https://doi.org/10.1353/dem.0.0104>.

²²⁹ Baizan P., Arpino B., Delclòs C. E. (2016): The Effect of Gender Policies on Fertility: The Moderating Role of Education and Normative Context. *Eur J Population* 32, 1–30, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10680-015-9356-y>.

²³⁰ De Geyter C., Calhaz-Jorge C., Kupka M. S., Wyns C., Mocanu E., Motrenko T., Scaravelli G., Smeenk J., Vidakovic S., Goossens V. (2018): ART in Europe, 2014: results generated from European registries by ESHRE: The European IVF-monitoring Consortium (EIM) for the European Society of Human Reproduction and Embryology (ESHRE). *Hum Reprod.* 2018 Sep 1;33 (9):1586–1601. DOI: 10.1093/humrep/dey242. PMID: 30032255.

²³¹ Soare F. S. (2013): Ceausescu's population policy: a moral or an economic choice between compulsory and voluntary incentivised motherhood? *European Journal of Government and Economics*, 2 (1), 59–78. <https://doi.org/10.17979/ejge.2013.2.1.4287>.

²³² Kulu H., Boyle P. J., Andersson, G. (2009): High suburban fertility: Evidence from four Northern European countries. *Demographic Research*, 21, 915–944. <http://www.jstor.org/stable/26349367>.

²³³ Adsera A. (2017): Education and fertility in the context of rising inequality, *Vienna Yearbook of Population Research*, 15, issue 1, p. 063–94. <https://EconPapers.repec.org/RePEc:vid:yearbk:v:15:y:2017:i:1:p:063-94>.

²³⁴ Fahlén S., Oláh L. S. (2018): Economic uncertainty and first-birth intentions in Europe. *Demographic Research*, 39 (28), 795–834. DOI: 10.4054/DemRes.2018.39.28.

²³⁵ Barbieri P., Bozzon R., Scherer S., Grotti R., Lugo M. (2015): The Rise of a Latin Model? Family and fertility consequences of employment instability in Italy and Spain, *European Societies*, 17:4, 423–446. DOI: 10.1080/14616696.2015.1064147.

²³⁶ Goldin C. (2006): The Quiet Revolution That Transformed Women's Employment, Education, and Family. *American Economic Review*, 96 (2): 1–21. DOI: 10.1257/000282806777212350.

²³⁷ Mulder C. H., Billari F. C. (2010): Homeownership Regimes and Low Fertility, *Housing Studies*, 25:4, 527–541. DOI: 10.1080/02673031003711469.

²³⁸ Mulder C. H. (2006): Home-ownership and family formation. *Journal of Housing and the Built Environment*, 21 (3), 281–298. <http://www.jstor.org/stable/41107349>.

²³⁹ Billingsley S. (2010): The Post-Communist Fertility Puzzle. *Population Research and Policy Review*, 29 (2), 193–231. <http://www.jstor.org/stable/40608425>.

8. Отложенное деторождение²⁴⁰.

9. Разрушение института брака²⁴¹.

Вычленив влияние какого-либо отдельного фактора весьма затруднительно. К примеру, в работе ученых из Венского института демографии Австрийской академии наук показано, что один из часто называемых механизмов влияния на рождаемость — финансовая поддержка семей — хотя и оказывает соответствующее воздействие, но при этом носит непостоянный характер и не во всех странах. Так, для большинства государств ОЭСР был вычислен статистически значимый коэффициент корреляции между упомянутыми расходами и СКР для периода 2007–2013 гг., однако для кризисного 2014 г. и последующих лет влияние других факторов вызвало снижение рождаемости, и связь нарушилась. Кроме того, исследователи подчеркивают, что, к примеру, для США и некоторых других стран этот механизм никогда и не был определяющим²⁴². Проведенный ими обзор большого количества работ, содержащих в себе количественный анализ, показал, что влияние одних и тех же факторов бывает противоречивым в зависимости от страны, методов оценки и используемых данных.

Обратимся далее к зарубежному опыту стимулирования рождаемости.

Правительство Южной Кореи, имеющей минимальное значение суммарного коэффициента рождаемости среди рассматриваемых выше стран, с 2005 г. опробовало множество различных мер поддержки (налоговые льготы, хорошо оплачиваемый отпуск по уходу за детьми, строительство детских садов и др.), которые обошлись бюджету более чем в 120 млрд долларов²⁴³, однако практически не принесли желаемого результата. Цель мероприятий заключалась в увеличении рождаемости до 1,6 ребенка на одну женщину к 2020 г. И хотя в 2012 г. СКР действительно вырос практически до 1,3, затем он резко упал до значений около 0,9. Одной из возможных причин специалисты в области социологии называют набирающий все большую популярность «либеральный эгалитаризм», мотивирующий женщин на реализацию себя в первую очередь на оплачиваемой работе, а не в домашнем быту²⁴⁴.

В Японии СКР также один из самых низких (1,36), и органы государственной власти предусмотрели увеличение денежных выплат за рождение детей (до 9400 долларов), увеличили продолжительность декретного отпуска, компенсировали часть затрат по уходу за детьми, сделали бесплатными дошкольные учреждения²⁴⁵. Однако эти меры практически не повлияли на уровень рождаемости. Эксперты увязывают это с увеличением числа японских женщин фертильного возраста, отдающих предпочтение карьере²⁴⁶.

Правительство Италии, являющейся одной из европейских стран с самой низкой рождаемостью (СКР \approx 1,27), помимо непосредственного финансового стимулирования, проработало вопрос о предоставлении сельскохозяйственных земель семьям с третьим ребенком²⁴⁷. Однако эти механизмы также не помогли выправить ситуацию.

Обзор можно продолжать и дальше, но принципиально отличающихся действенных мер в других странах нет, поэтому сделаем основные выводы:

1. Само по себе финансовое стимулирование ни в одной стране не привело к стабильному увеличению рождаемости. Если влияние и было, то на кратковременном периоде, и при этом однозначно отделить его от других факторов также проблематично.

²⁴⁰ Beaujouan É., Sobotka T. (2019): Late childbearing continues to increase in developed countries. *Population & Societies* 562 (January 2019); URL: https://www.ined.fr/fichier/s_rubrique/28820/562.ang.web_1.en.pdf (дата обращения: 25.10.2021).

²⁴¹ Sobotka T., Matysiak A., Brzozowska Z. (2019): Policy responses to low fertility: How effective are they? Working Paper No. 1, May 2019, URL: https://www.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/Policy_responses_low_fertility_UNFPA_WP_Final_corrections_7Feb2020_CLEAN.pdf (дата обращения: 25.10.2021).

²⁴² Там же.

²⁴³ <https://www.channelnewsasia.com/asia/cash-kids-south-korea-seeks-raise-falling-birth-rate-912071>.

²⁴⁴ <https://foreignpolicy.com/2019/07/25/how-to-fix-the-baby-bust/>.

²⁴⁵ <https://www.japantimes.co.jp/news/2019/10/08/national/politics-diplomacy/free-preschool-education-raises-concerns-run-nurseries/>.

²⁴⁶ <https://www.npr.org/2019/12/24/791132555/japans-births-decline-to-lowest-number-on-record>.

²⁴⁷ <https://www.euronews.com/2018/11/01/italy-s-land-for-children-idea-and-other-european-attempts-at-reversing-declining-birthrate>.

2. Изменение рождаемости — сложный процесс, связанный с множеством факторов, среди которых социальное давление, система ценностей, финансовая поддержка, территория проживания (сельская местность или город), уровень образования, демографическая политика, уровень гендерного равенства в обществе и многие другие. Так, во Франции, где уровень рождаемости один из самых высоких в Европе (СКР $\approx 1,87$), государственная политика сочетает в себе комбинацию нескольких мер, направленных на достижение гендерного равенства, доступность услуг по уходу за детьми, финансовую поддержку и улучшение жилищных условий семей с детьми²⁴⁸.

Таким образом, проведенный выше краткий обзор показал, что одиночные меры государственной политики в области демографии никогда не приносили долговременного эффекта, а больший эффект обеспечивало одновременное задействование нескольких механизмов. Также важна их согласованность с управленческими решениями, принимаемыми для других сфер. Кроме того, в упомянутой выше работе ученых из Австрии подчеркивается, что количественный анализ, осуществляемый на агрегированном уровне, часто приводит к ложным результатам, и в этой связи целесообразно использовать модели, позволяющие оценивать эффекты на микроуровне. Такими инструментами могут быть агент-ориентированные модели, дающие возможность проводить сложные эксперименты, предусматривающие как изменение условий функционирования для агентов (жителей страны), так и дифференцированные механизмы влияния на определенные группы населения. К настоящему моменту есть множество примеров их практического использования, часть из которых приведена ниже.

Исследователи из Оксфордского университета и Университета Южной Дании построили агент-ориентированную модель для Южной Кореи, с использованием которой исследовались процессы рождаемости. Модель продемонстрировала ряд интересных результатов: 1) несмотря на снижение предпочтений родителей к появлению в семье мальчиков (оценивается исследователями на уровне 30%), аборт, зависящие от результатов тестов на определение пола, оказывают существенное влияние на показатель соотношения полов при рождении (до 114 мальчиков на 100 девочек); 2) адаптация этой модели для Индии показала схожие результаты, однако соотношение полов менялось заметно меньше; 3) регулирующие параметры модели (доступ агентов к технологии определения пола, предпочтение пола будущего ребенка и др.) практически не оказали влияния на показатели рождаемости²⁴⁹.

Агент-ориентированная модель, разработанная специалистами Института демографических исследований Общества Макса Планка (Германия), Болонского университета (Италия) и Лундского университета (Швеция), показала, что процессы депопуляции, как правило, начинаются с больших городов, а затем распространяются на остальные территории²⁵⁰. Было также показано, что репродуктивное поведение наиболее обеспеченной части социума, определенной разработчиками как «элита», постепенно оказывало влияние на остальные группы (фермеры, рабочие и др.).

Расчеты на модели, построенной исследователями Университета имени Помпеу Фабры (Испания) и Университета Южной Дании, в которой весьма обстоятельно рассмотрен алгоритм принятия агентом решения о рождении ребенка на примере Испании, показали, что отсрочка в этом вопросе объясняется несколькими основными причинами: 1) возрастающей экономической неопределенностью и нестабильностью на рынке труда; 2) необходимостью получения дополни-

248 Thévenon O. (2016): The Influence of Family Policies on Fertility in France: Lessons from the Past and Prospects for the Future. In: Rindfuss R., Choe M. (eds) *Low Fertility, Institutions, and their Policies*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32997-0_3.

249 Kashyap R., Villavicencio F. (2017) An Agent-Based Model of Sex Ratio at Birth Distortions. In: Grow A., Van Bavel J. (eds) *Agent-Based Modelling in Population Studies*. The Springer Series on Demographic Methods and Population Analysis, vol 41. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32283-4_12.

250 Klüsener S., Scalone F., Dribe M. (2017) Exploring the Role of Communication in Shaping Fertility Transition Patterns in Space and Time. In: Grow A., Van Bavel J. (eds) *Agent-Based Modelling in Population Studies*. The Springer Series on Demographic Methods and Population Analysis, vol 41. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32283-4_13.

тельного образования; 3) социальным взаимодействием агентов, которое заметно влияет на их целевые установки в части репродуктивной стратегии²⁵¹.

Агент-ориентированная модель, разработанная исследователями из Гарвардского и Брауновского университетов, позволила получить интересные результаты, показывающие возможность стимулирования рождаемости в Японии с помощью увеличения времени, проводимого мужчинами дома, за счет перевода части работы на удаленный режим. Кроме того, дополнительное положительное влияние на этот процесс оказывает мнение близкой по возрасту к агенту группы его контактов²⁵².

В свою очередь, наш авторский коллектив также разработал модель — **цифровой двойник социально-экономической системы России, или искусственное общество**, на базе агентного подхода. Перейдем к ее краткому описанию.

Каждый агент-человек является экземпляром соответствующего программного класса со своими значениями набора **характеристик**:

- пол;
- возраст;
- регион проживания;
- тип поселения (город, село);
- обеспеченность жильем;
- обеспеченность медицинскими услугами;
- уровень образования;
- число детей;
- доход;
- тип репродуктивного поведения;
- социальные связи (имеется в виду коллекция агентов, имеющих связь с конкретным индивидуумом);
- уровень удовлетворенности.

Также перечислим основные программные **методы**, реализующие поведение агентов модели:

- миграция;
- рождение ребенка;
- смерть агента;
- образование семьи.

На рисунке 3.25 приведена общая схема (без детализации) работы демографической агент-ориентированной модели, предполагающая программную реализацию нескольких этапов. Один из важнейших среди них заключается в точном воспроизведении моделируемого социума, или, иными словами, в **создании искусственного общества — цифрового двойника населения страны**.

Технически это реализовано следующим образом:

1. На первом шаге происходит считывание информации из базы данных и формирование в программе массивов для дальнейшей настройки агентов модели.

2. Процесс вычисления структуры искусственного общества заключается в подборе корректных функций распределения вероятностей для различных свойств агентов (пол, возраст, регион проживания, доход и т. д.) для последующего назначения агентам этих свойств таким образом, чтобы демографические структуры созданного цифрового двойника совпадали со структурами реального социума.

3. Третий шаг, на котором происходит создание агентов, включает в себя процедуры создания экземпляров программных классов и может представлять сложность в случае реализации параллельной версии модели, предполагающей запуск на суперкомпьютере. Особенности разработки

²⁵¹ Ciganda D., Villavicencio F. (2017) Feedback Mechanisms in the Postponement of Fertility in Spain. In: Grow A., Van Bavel J. (eds) Agent-Based Modelling in Population Studies. The Springer Series on Demographic Methods and Population Analysis, vol 41. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32283-4_14.

²⁵² Brinton M. C., Zhou Y. (2019): Low Fertility in Japan: An Agent-Based Modeling Approach. Электронный ресурс: <http://paa2019.populationassociation.org/abstracts/191755> (дата обращения: 15.10.2021).



Рисунок 3.25. Укрупненная схема работы демографической агент-ориентированной модели — цифрового двойника российского общества

и запуска высокопроизводительных агент-ориентированных моделей были подробно рассмотрены нами в ряде публикаций (к примеру, «Моделирование социальных процессов на суперкомпьютерах: новые технологии»²⁵³).

Далее на экран выводится интерфейс модели, представляющий собой интерактивную карту страны, и при активации одного из ее субъектов можно получить о нем информацию (половозрастную пирамиду, суммарный коэффициент рождаемости, количество родившихся и умерших за определенный период, средний возраст и т. д.) на текущий момент времени. После изменения управляющих параметров система переходит к *расчету* следующего шага или шагов *модельной симуляции*, которые относятся к нескольким важным блокам — имитации *смертности*, *рождаемости*, *миграции* и *образования семьи*.

4. На основе таблиц с коэффициентами смертности, дифференцированными для агентов в зависимости от пола, возраста, региона и типа поселения, рассчитываются вероятности смерти для всех членов искусственного общества, а затем в зависимости от реализации этого события происходит либо удаление соответствующих агентов, либо увеличение их возраста на одну единицу (год).

5. Этот шаг происходит сразу же после предыдущего, и в соответствующем процессе у оставшихся агентов модели уничтожаются связи с только что удаленными.

Блок «*рождаемость*» включает в себя следующие шаги:

6. Формирование коллекций агентов — женщин фертильного возраста, которые хотели бы завести ребенка. На такое решение влияет несколько факторов (помимо необходимых свойств — пола и фертильного возраста): обеспеченность жильем, тип репродуктивного поведения, доход, наличие детей у агентов из своей социальной группы, а также наличие собственных детей и тип поселения.

7. В случае реализации события «рождение» для нового агента срабатывает процедура присвоения значений свойствам (пол, регион проживания, родственные связи, тип поселения и т. д.), частично зависящим от свойств агента-родителя.

Следующий блок включает в себя процедуру расчета внутренней и внешней *миграции*:

8. В случае переезда в другой регион у агента сохраняются все его связи, а при выезде на постоянное место жительства в другую страну происходит удаление агента из модели (аналогично имитации смертности).

²⁵³ Макаров В. Л., Бахтин А. Р., Сушко Е. Д., Сушко Г. Б. Моделирование социальных процессов на суперкомпьютерах: новые технологии // Вестник Российской академии наук. 2018. Т. 88, № 6. С. 508–518. <https://doi.org/10.7868/S086958731806004X>.

И наконец, блок, отвечающий за динамику *семейных отношений*.

9. С некоторой вероятностью (различающейся по возрастным группам и регионам) свободные агенты могут образовать пару, если они оба старше 18 лет и разница в возрасте не превышает 20 лет. В свою очередь, имеющиеся союзы могут прекратиться, а агенты получают статус «свободные».

После симуляции перечисленных шагов происходит:

10. Сбор и обработка статистики по агентам, а также пересчет всех программных коллекций.

11. Вывод результатов на экран и ожидание действий от пользователя. При проведении экспериментов обычно данный шаг автоматизируется — к примеру, задается циклическое проведение множественных экспериментов, усреднение полученных результатов и/или большее количество единиц модельного времени.

Эксперименты

Отметим, что с одной из версий модели ранее были проведены расчеты для оценки влияния федеральной программы материнского капитала на численность населения России²⁵⁴. Разница между вариантами, первый из которых предусматривал реализацию этой программы с 2007 по 2030 г., а второй — те же параметры, но без ее реализации, к концу рассматриваемого периода достигает почти 3 млн человек (или 2,14% между этими сценариями).

С текущей версией модели предполагается проведение расчетов следующих сценариев:

1. *Расселение людей по территории страны*. В последние годы наблюдается процесс внутренней миграции людей из сельских поселений в города. К примеру, в Москве в 2000 г. проживало 6,91% населения страны, а к 2020 г. — уже 8,64%. Присоединение дополнительных территорий сыграло в этом вопросе совсем незначительную роль (около 0,17%). В целом по стране доля сельского населения также постепенно уменьшается — с 27% в 1992 г. до 25,3% в 2020 г. В рамках расчетов предполагается постепенное увеличение доли сельского населения на 0,1 процентного пункта в год (до 26,7% к 2036 г.). При этом у агентов, переехавших из города в село, соответствующим образом меняется их репродуктивная стратегия. Вообще говоря, процесс дезурбанизации комплексный и не решается простыми мерами вроде инициативы «дальневосточный гектар», а требует развития инфраструктуры, стимулирующих денежных выплат и т. д. Но вместе с тем многочисленные риски больших городов (эпидемиологические, экологические и др.), а также цифровая трансформация многих видов деятельности могут катализировать описываемый процесс.

2. *Прирост объема предоставляемых медицинских услуг* за счет увеличения числа больничных коек. На данный момент значение этого показателя на 10 тыс. человек населения составляет 61,3% от уровня 1992 г. В ходе экспериментов этот показатель будет меняться с шагом 2,5 процентного пункта в год, с тем чтобы к 2036 г. его значение достигло 101% к 1992 г. Прирост числа больничных коек в модели оказывает влияние на уровень обеспеченности медицинскими услугами у каждого агента и в конечном счете опосредованно воздействует на вероятность его смерти. Так же как и в предыдущем случае, мы не будем рассматривать финансовые затраты на реализацию данного сценария, предполагая безусловную важность сохранения населения.

Прежде чем проводить сценарные расчеты, приведем результаты базового варианта, предусматривающего инерционную динамику населения с учетом сложившейся эпидемиологической обстановки и уровня рождаемости по регионам России.

На рисунке 3.26 приведены полученные результаты в сравнении с альтернативными прогнозами Росстата и ООН. Сразу отметим два обстоятельства: 1) поскольку в модели не учитывалась внешняя миграция, прогнозы Росстата и ООН были соответствующим образом скорректированы, и, таким образом, на графике приведены данные, основанные только на естественном при-

²⁵⁴ Бахтизин А. Р., Макаров В. Л., Максаков А. А., Сушко Е. Д. Демографическая агент-ориентированная модель России и оценка ее применимости для решения практических управленческих задач // Искусственные общества. 2021. Т. 16. Вып. 2 [Электронный ресурс]. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800015357-1-1/> (дата обращения: 14.11.2021). DOI: 10.18254/S207751800015357-1.

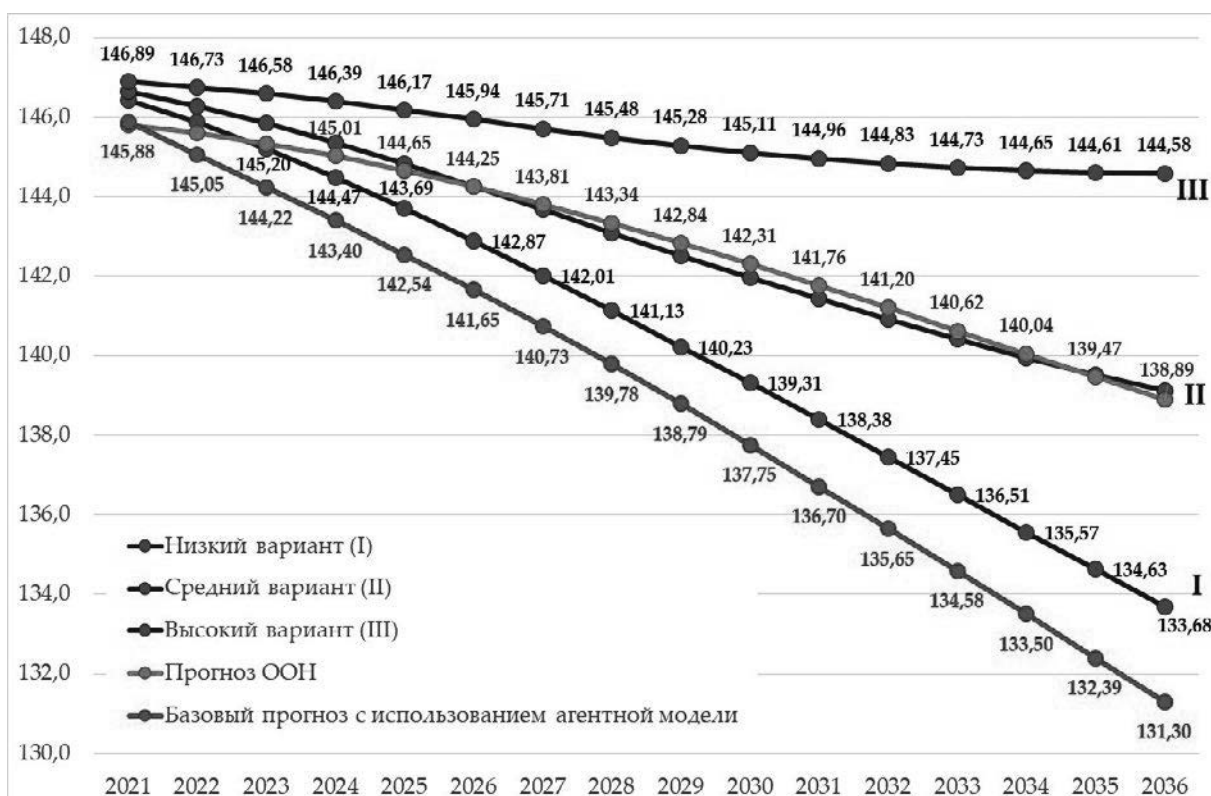


Рисунок 3.26. Различные прогнозы численности населения России до 2036 г., млн человек

росте населения; 2) прогноз Росстата был опубликован 26 марта 2020 г., а ООН — в 2019 г., поэтому в них не учитывалась повышенная смертность от коронавируса и соответствующие сбои в работе организаций здравоохранения, поэтому их оценки заведомо выше.

Как видно на рисунке, низкая рождаемость и высокая смертность приводят к сильной депопуляции, нарастающей с каждым годом.

Далее рассмотрим результаты расчетов для описанных выше сценариев (таблица 3.8).

Таблица 3.8. Результаты расчетов сценариев 1 и 2, предусматривающих расселение людей и прирост объема предоставляемых медицинских услуг, — численность населения России, млн человек

Года	Базовый вариант	Сценарий 1	Сценарий 2
2021	145,88	145,94	146,01
2022	145,05	145,18	145,30
2023	144,22	144,42	144,59
2024	143,40	143,64	143,85
2025	142,54	142,84	143,10
2026	141,65	142,01	142,32
2027	140,73	141,15	141,50
2028	139,78	140,23	140,63
2029	138,79	139,28	139,73
2030	137,75	138,29	138,78
2031	136,70	137,29	137,81
2032	135,65	136,25	136,82
2033	134,58	135,22	135,82
2034	133,50	134,15	134,81
2035	132,39	133,09	133,80
2036	131,30	132,02	132,78

Реализация описанных выше мероприятий приводит к незначительному улучшению демографической ситуации. В случае инициирования процесса дезурбанизации, предполагающего увеличение доли людей, проживающих в сельской местности на 0,1 процентного пункта в год, прирост численности населения страны за 16 лет по сравнению с базовым вариантом составит 0,719 млн человек. В результате постепенного увеличения объема предоставляемых медицинских услуг к 2036 г. до уровня 1992 г. дополнительный прирост населения за тот же период составит 1,482 млн человек. Хотя изменения и позитивные, но отрицательный тренд депопуляции они существенно не меняют, поэтому решение задачи увеличения численности населения необходимо реализовывать совокупностью перечисленных выше мер повышения рождаемости, снижения смертности, профилактики заболеваний, пропаганды здорового образа жизни и др.

Приведенный выше обзор зарубежных демографических исследований, а также опыт использования агент-ориентированных моделей показывают, что эффективная демографическая политика не может ограничиваться одиночными решениями, а должна включать в себя комплекс мероприятий, согласованных по срокам, имеющимся для их выполнения ресурсам и взаимосвязанных с другими управленческими решениями, реализующими стратегические приоритеты в развитии страны.

Нами показан пример использования сложного с точки зрения технической реализации инструмента, оперирующего более 140 млн программных объектов — членов искусственного общества, условно представляющих собой население России. Расширять функционал агентов, с тем чтобы проводить новые реалистичные расчеты, к примеру связанные с корректировкой ценностных установок, возможно лишь при наличии соответствующей статистической информации. И в случае ее использования потенциал у подобных программных решений очень серьезный, что в том числе показывает опыт наших зарубежных коллег (Аргоннской национальной лаборатории, Университета Джонса Хопкинса и др.), реализовавших агент-ориентированные модели с числом агентов более 1 млрд и, к примеру, предсказавших скорость распространения заболеваний различной этимологии в зависимости от ограничительных мер.

3.4. Дальнейшее развитие технологии моделирования социальных процессов на суперкомпьютерах²⁵⁵

Далее описывается альтернативная реализация системы для проведения многоагентных симуляций, изначально построенная для запуска на суперкомпьютерах и использования большого числа процессорных ядер. Эта реализация совмещает использование языка программирования высокого уровня C# для написания кода логики модели и низкоуровневого языка C++ для привязки к системной среде обмена сообщениями MPI. Такой подход позволяет минимизировать трудозатраты на разработку АВМ для суперкомпьютеров, при этом не происходит заметной потери эффективности работы программы. Использование технологии MPI позволяет запускать программу как на многоядерных рабочих станциях, так и на кластерных суперкомпьютерах, что нереализуемо с использованием технологии многопоточности и OpenMP.

Важным отличием данной модели от технологии STARS является необходимость явного описания всех взаимодействий в системе через посылку сообщений, что требует дополнительных усилий при разработке, но позволяет лучше структурировать программу и делает ее более эффективной.

Для проведения детальных многоагентных симуляций в масштабе больших регионов с вычислительной точки зрения модель должна эффективно масштабироваться до 10^9 агентов. Чтобы проводить симуляцию такой системы, программа должна быть адаптирована к запуску на современных суперкомпьютерах. Для упрощения разработки и последующей модификации кода модели был использован язык высокого уровня C# и среда выполнения Microsoft .Net, которая недавно получила поддержку запуска в среде Linux, обычно применяемой на суперкомпьютерах.

²⁵⁵ Данная работа осуществлялась совместно с Е. Д. Сушко и Г. Б. Сушко.

Наиболее стандартная конфигурация современного суперкомпьютера — кластер, состоящий из многоядерных серверов (узлов), связанных высокоскоростной сетью с низкими задержками при передаче данных. Для того чтобы эффективно работать на таком суперкомпьютере, программа должна быть разбита на несколько процессов, обменивающихся сообщениями, каждый из которых содержит часть данных решаемой задачи и будет работать на отдельном ядре кластера. Стандартный способ написания таких программ — использование языков программирования C++ или Fortran и библиотеки MPI, доступной на всех суперкомпьютерах.

В качестве платформы для проведения расчетов мы использовали комбинацию базового уровня, написанного с использованием низкоуровневого языка программирования C++ и библиотеки MPI, предоставляемой системой, и платформы Microsoft .NET в качестве среды исполнения основного кода модели, написанного на высокоуровневом языке программирования C#. Большая часть современных суперкомпьютеров работает под управлением операционной системы Linux, поэтому в качестве реализации платформы .NET были использованы Microsoft .Net Core и MONO²⁵⁶, доступные для этой операционной системы.

Выбор этих технологий определялся следующими критериями:

1. Система должна быть масштабируемой на множество узлов вычислительного кластера (т. е. использовать ресурсы нескольких узлов для ускорения счета), поэтому многопоточная модель расчета оказалась неподходящей, т. к. она ограничена одним узлом кластера.

2. Модель должна быть легкой в разработке и при дальнейшем развитии, поэтому использовался язык программирования высокого уровня C#.

3. Система должна быть эффективной и использовать системную библиотеку MPI вместо стандартного механизма сетевого взаимодействия TCP/IP или библиотек .Net, таких как Windows Communication Foundation, поскольку эти технологии неоптимальны для суперкомпьютеров и приложений HPC. Библиотеки MPI, установленные на каждом кластере, обычно настраиваются на конкретную сетевую систему кластера, такую как Infiniband, и обеспечивают максимальную пропускную способность и минимальные задержки передачи данных. Кроме того, библиотека MPI доступна и для использования на обычных персональных компьютерах, что позволяет применять одну технологию и при разработке, и при проведении расчетов с использованием суперкомпьютеров.

На уровне отдельных агентов поддерживаются моделирование эволюции внутреннего состояния агента, формирование постоянных и временных связей между агентами, обмен сообщениями, а также появление и исчезновение агентов в системе. Чтобы эффективно проводить моделирование, системе необходимо реализовать динамический механизм балансировки нагрузки между вычислительными процессами, т. е. переносить агентов с более загруженных процессов на другие с сохранением их состояния и связей. Правильное описание и учет связей агентов в процессе декомпозиции задачи имеет решающее значение для уменьшения сетевого обмена, необходимого для линейного масштабирования модели до сотен и тысяч процессоров.

Для балансировки нагрузки между процессами были выбраны алгоритмы METIS/ParMETIS²⁵⁷, которые обычно используются для декомпозиции больших графов (до 10^9), расчетных сеток и матриц. Эти алгоритмы позволяют разделить граф агентов и связи между ними на части сходного размера с наименьшим возможным числом связей между частями. Алгоритм можно применять рекурсивно для эффективного расчета иерархического распределения графа. Использование алгоритма позволяет как строить начальную декомпозицию (распределение) системы, так и проводить уточнение декомпозиции в процессе расчета, что необходимо для поддержания балансировки нагрузки по мере добавления новых агентов в систему и удаления части старых агентов. Динамическая декомпозиция и перераспределение агентов должны позволять нам эффективно использовать до 1000 процессорных ядер современных суперкомпьютеров.

²⁵⁶ Подробнее об этом на странице: <http://www.mono-project.com>.

²⁵⁷ Karypis G., Vipin Kumar V. A fast and high quality multilevel scheme for partitioning irregular graphs // International Conference on Parallel Processing, 1995, p. 113–122.



Рисунок 3.27. Код агентов модели реализован с использованием языка программирования C# и выполняется в виртуальной машине. Связь между экземплярами виртуальной машины на разных узлах кластера реализована через низкоуровневую библиотеку и вызовы системной библиотеки MPI

Реализация платформы для агентного моделирования требует правильного определения классов для агентов, сообщений, модели, шагов по времени и служебных классов для входных файлов и вычисления характеристик.

Эффективный механизм обмена сообщениями между агентами был реализован посредством очереди сообщений и коллективных операций на основе MPI. Очередь сообщений накапливает буфер сообщений для разных процессов, а затем использует операцию обмена MPI-сообщениями AllToAll (каждый с каждым) для доставки содержимого сообщений на другие узлы кластера. Эта операция доставляет буферы произвольного размера из каждого процесса MPI ко всем другим процессам наиболее эффективным способом, разбивая буфер на блоки оптимального размера для передачи по сети и скрывая латентность сетевых операций, выполняя одновременно несколько операций отправки и получения.

Для того чтобы использовать платформозависимые MPI-операции из изолированной среды исполнения .Net, были написаны операции бинарной сериализации (упаковки данных в массив байт) и десериализации (распаковки) объектов и C# функции-обертки.

Реализация native-обертки для C++-библиотеки выполнялась с использованием библиотеки InteropServices и аннотаций DllImport в управляемом C#-коде. На рисунке 3.27 показана схема взаимодействия модельных агентов через native-библиотеку и операцию обмена сообщениями MPI.

3.4.1. Описание тестовой модели

Для того чтобы проверить разработанный механизм доставки сообщений, была реализована тестовая модель и был проведен ряд тестовых симуляций для оценки масштабируемости спроектированной модели. Тестовая модель состояла из одинаковых агентов, обменивающихся сообщениями на каждом шаге по времени. Модель характеризуется следующими параметрами:

- общее число агентов N ;
- доля агентов, участвующих в обмене сообщениями S ;
- интенсивность обмена сообщениями I ;
- общее время моделирования T ;
- количество процессов MPI U .

Традиционно для программ, использующих MPI, программа запускается как набор отдельных процессов, выполняющих одну и ту же программу с разными значениями входных параметров. На начальном этапе модели создается исходный набор из N агентов. Каждый агент имеет единственный числовой параметр — количество сообщений, которое он должен отправить на каждом шаге моделирования (A). Множество агентов распределяется по всем процессам MPI, т. е. каждый процесс MPI создает только N/M агентов согласно своему номеру про-

цесса. Процесс с индексом 0 создает агентов 0, ..., N/M , процесс с индексом 1 создает агентов $N/M + 1$, ..., $2 \times N/M$, и т.д.

На каждом шаге моделирования для каждого агента системы генерируется случайное число, которое определяет, будет ли агент участвовать в процессе отправки сообщения (вероятность события равна S/N). Если агент отправляет сообщения на этом этапе моделирования, то случайное число сообщений A генерируется с равномерным распределением вероятности между 1 и I . После этого агент отправляет A сообщений агентам со случайными номерами, а затем получает ответы от них. Каждый шаг моделирования состоит из пяти этапов:

1. Цикл по всем агентам в текущем процессе и вызов метода `performStep` для каждого агента, в котором генерируется случайное число сообщений в соответствии с вероятностями отправки сообщений. Все сообщения помещаются в очередь исходящих сообщений.

2. После создания всех исходящих сообщений вызывается метод `sendReceiveMessages`, который инициирует обмен частями очереди сообщений между всеми MPI-процессами, используя коллективную операцию `AllToAll`. Каждый процесс отправляет буферы данных всем остальным процессам и получает соответствующие буферы от всех других процессов. На этом этапе сообщения в очереди сериализуются в двоичные массивы, эти массивы передаются в C++-библиотеку, которая использует библиотеку MPI для выполнения обмена, после чего новые буферы передаются в C#-часть программы, и сообщения десериализуются (переводятся в формат C#-объектов).

3. После обмена блоками данных и десериализации всех сообщений выполняется доставка сообщений соответствующим агентам в каждом MPI-процессе, что приводит к генерации нового набора ответных сообщений.

4. Обмен частями очереди сообщений между всеми MPI-процессами с использованием коллективной операции `AllToAll`. Каждый процесс отправляет блоки данных всем остальным процессам и получает соответствующие блоки от всех других процессов.

5. Доставка сообщений заданным агентам в каждом MPI-процессе и вызов соответствующих методов агентов.

Использование отложенной доставки сообщений через очередь позволяет оптимизировать обмен сообщениями, который в этом случае ограничен не задержками сети, а ее пропускной способностью.

После обработки всех агентов популяции вычисляются и записываются в текстовый файл следующие выходные характеристики модели:

- номер шага;
- среднее число получателей сообщений для агентов, участвующих в обмене сообщениями;
- общее время расчета.

3.4.2. Процедура обмена сообщениями

Очередь сообщений, реализованная в программе, представляет собой объект C#, который получает объекты абстрактного класса `Message` от агентов, каждый процесс MPI содержит один экземпляр объекта очереди сообщений. Имитационная модель состоит из агентов разных типов, и сообщения могут также иметь разные типы, наследованные от класса `Message`. Для каждого типа сообщения реализованы операции чтения и записи в бинарный поток (сериализация и десериализация), которые используют классы `BinaryReader` и `BinaryWriter` стандартной библиотеки C#. Эти операции кодируют и декодируют тип объекта сообщения, номера объектов отправителя и получателя и все дополнительные поля данных сообщения в двоичном формате.

Каждая очередь сообщений содержит набор объектов `BinaryWriter`, которые используются в качестве буферов для исходящих сообщений. Для каждого исходящего сообщения, помещенного в очередь, определяется номер процесса адресата, и сообщение записывается в соответствующий буфер.

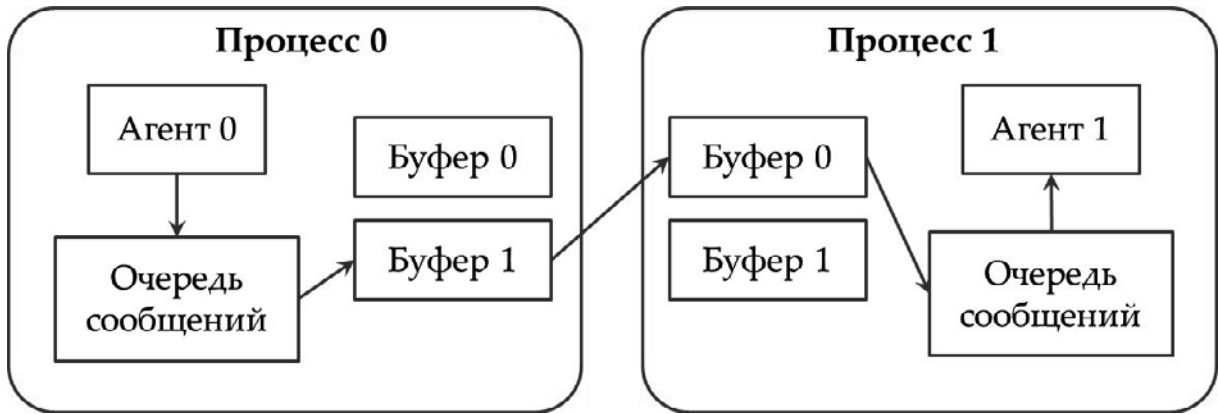


Рисунок 3.28. Процедура отправки сообщения. Сообщение от агента 0 передается в очередь сообщений процесса 0, затем сообщение сериализуется и помещается в исходящий буфер для отправки на процессор 1. После обмена сообщениями этот буфер становится входящим на процессоре 1, затем сообщение десериализуется и направляется агенту 1 через очередь сообщений

Очередь сообщений реализует метод `sendReceiveMessages`, который выполняет доставку всех сообщений соответствующим агентам. Для доставки сообщений объекты очереди сообщений всех процессов MPI обмениваются соответствующими буферами сообщений, для чего все объекты `BinaryWriter` записываются в объект `MemoryStream`, который генерирует исходящий массив байтов. Для доставки исходящего массива байтов сначала используется функция `MPI_AllToAll` для обмена размерами всех буферов сообщений между всеми процессами. После этого функция `MPI_Alltoally` используется для доставки частей исходящего массива байтов в соответствующие процессы.

После обмена буферами сообщений каждая очередь сообщений имеет отдельные буферы с сообщениями от всех других процессов, т. е. процесс 0 имеет K_1 байт от процесса 1, K_2 байт от процесса 2 и т. д. Для всех этих буферов создаются объекты `BinaryReader` и происходит десериализация. Программа считывает сообщения из всех входящих буферов и генерирует массив объектов типа `Message`. Для каждого из этих сообщений определяется индекс агента получателя, а для соответствующего агента вызывается метод уведомления с соответствующим объектом сообщения, переданным в качестве аргумента. Процесс доставки сообщения проиллюстрирован на рисунке 3.28.

3.4.3. Результаты численных экспериментов

Для того чтобы оценить влияние параметров модели на параллельную масштабируемость и эффективность, были проведены численные эксперименты. В ходе экспериментов для каждого набора значений параметров модели проводилось несколько расчетов, а затем результаты усреднялись.

Для проведения тестовых расчетов и исследования скорости работы и масштабируемости модели был использован тестовый кластер, состоящий из четырех двухпроцессорных серверов на основе процессоров AMD Opteron 6172 (12 ядер). Полное число ядер в каждом сервере составляло 24, суммарно в кластере было доступно 96 ядер, это же число MPI-процессов использовалось при запуске модели. Сервера в кластере соединялись с использованием высокоскоростной сети QDR Infiniband.

Кроме того, тестирование проводилось также на суперкомпьютере Tianhe-2 (Тяньхэ-2). Суперкомпьютер Тяньхэ-2 (или «Млечный путь — 2»), спроектированный Оборонным научно-техническим университетом Народно-освободительной армии Китайской Народной Республики и компанией Inspur, находится в Национальном суперкомпьютерном центре города Гуанчжоу. Его производительность составляет 34 Пфлопс, а теоретическая пиковая — около 55 Пфлопс, и до 2016 г. он являлся самым производительным суперкомпьютером в мире. В ноябре 2016 г. он уступил первое место другому китайскому суперкомпьютеру, Sunway TaihuLight, производи-

тельность которого составляет приблизительно 93 Пфлопс (пиковая — около 125 Пфлопс). В то же время планы развития «Млечного пути — 2» предусматривают доведение его производительности до эксафлопсного уровня и вновь занятие лидирующего положения. На данный момент этот суперкомпьютер также из двухпроцессорных узлов, но оборудован 12-ядерными процессорами Intel Xeon E5-2692 (всего 16 тыс. узлов, т. е. 384 тыс. ядер).

Тестирование модели на этом суперкомпьютере показало схожие параметры масштабируемости, но выявило несовместимость платформы Microsoft .Net Core со старыми версиями ОС Linux. Вместо этого использовалась менее производительная свободная реализация .Net mono (<http://www.mono-project.com>).

Для изучения параллельной эффективности программы использовался следующий набор параметров:

$N = 10\,000\,000$ (число агентов);

$S = 200\,000$ (число агентов, отправляющих сообщения на каждом шаге моделирования);

$I = 10$ (максимальное количество сообщений для одного агента на каждом шаге);

$T = 3000$ (количество шагов моделирования).

Моделирование проводилось для числа MPI-процессов $M = 1, 24, 48, 96$. Запуски с разным числом MPI-процессоров сравнивались в терминах параллельного ускорения (отношение общего времени вычисления для параллельных и последовательных случаев) и параллельной эффективности (ускорение, деленное на количество использованных ядер процессора).

На рисунке 3.29 показана зависимость ускорения от числа ядер процессора. Увеличение числа ядер процессора приводит к почти линейному ускорению вычислений. Использование 96 ядер приводит к ускорению вычислений в 60 раз, что означает 65%-ную эффективность использования кластера. На рисунке 3.30 показана зависимость параллельной эффективности от числа ядер процессора.

Для оценки влияния параметров модели на масштабируемость были проведены тестовые симуляции со значениями параметров $N = 10\,000\,000$, $S = 200\,000$, $T = 3000$ с использованием $M = 96$ MPI-процессов при разных значениях интенсивности обмена сообщениями $I = 30, 50, 100, 200, 1000$.

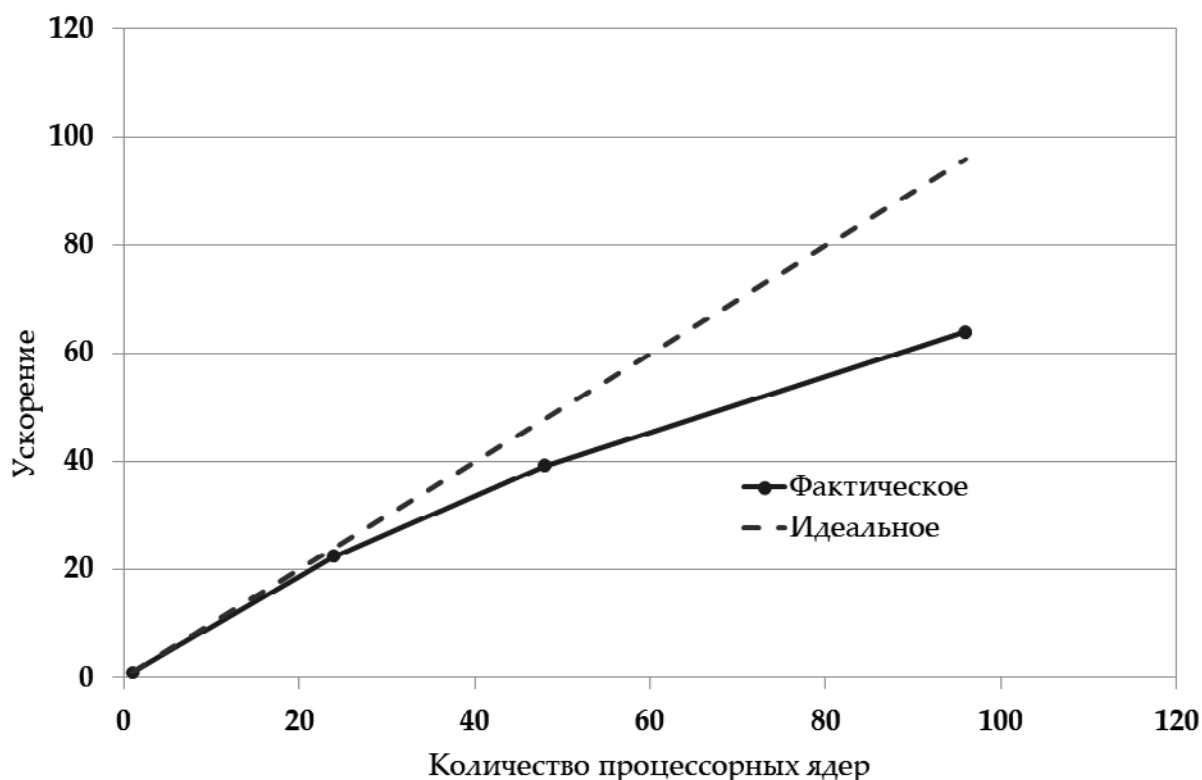


Рисунок 3.29. Зависимость параллельного ускорения тестовой модели от числа используемых процессорных ядер

Увеличение интенсивности обмена сообщениями приводит к линейному увеличению сетевого трафика на каждом шаге моделирования, а также к увеличению вычислений (генерации случайных чисел). На рисунке 3.31 зависимость ускорения от интенсивности обмена сообщениями показывает, что эти факторы сбалансированы, а увеличение интенсивности не приводит к ухудшению параллельной эффективности.

Для изучения влияния параметра S параметр I был зафиксирован ($I = 10$), а расчеты были выполнены для значений $S = 300, 500, 1\,000\,000, 10\,000\,000$. Увеличение параметра S также приводит к линейному увеличению и сетевого трафика, и количества вычислений случайных чисел, что суммарно не должно сильно влиять на масштабируемость из-за сбалансированного роста этих параметров. В случае малых значений параметра S размер данных является довольно небольшим, а ускорение определяется больше латентностью сети. Этот эффект приводит к снижению эффективности при низких значениях S и значительно лучшей эффективности при больших значениях параметра.

Следующая серия экспериментов проводилась для исследования влияния межпроцессорного обмена данными.

Во втором варианте тестовой модели агенты делились на группы размера G и обмен сообщениями осуществлялся только между агентами внутри группы. Для этого каждый агент получил дополнительный параметр — номер группы N_G , который определялся в начале моделирования для установления равномерного распределения агентов между группами. Использование таких групп соответствует случаю идеальной декомпозиции графа агентов, в котором исчезают большинство связей агентов на разных процессорах.

Для изучения этого эффекта был выполнен набор тестовых расчетов и построена зависимость ускорения от количества участвующих агентов S . Результаты этих расчетов показаны на рисунке 3.32. На графике видно, что влияние наличия блоков значительно выше при высоких значениях параметра S , т. е. при высокой доле агентов, участвующих в обмене сообщениями.

Представленная технология агентного моделирования для запуска на суперкомпьютерах была применена при реализации крупномасштабной АВМ стран Евразии, имитирующей основные про-

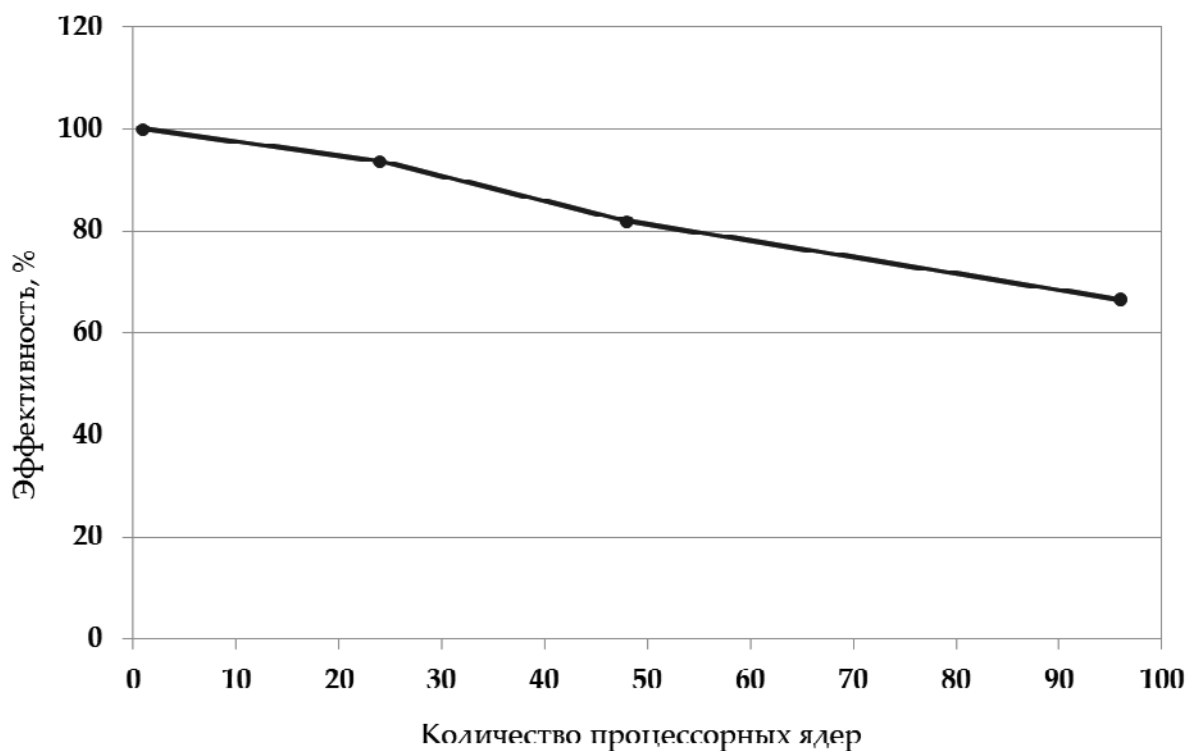


Рисунок 3.30. Зависимость параллельной эффективности программы от числа MPI-процессов

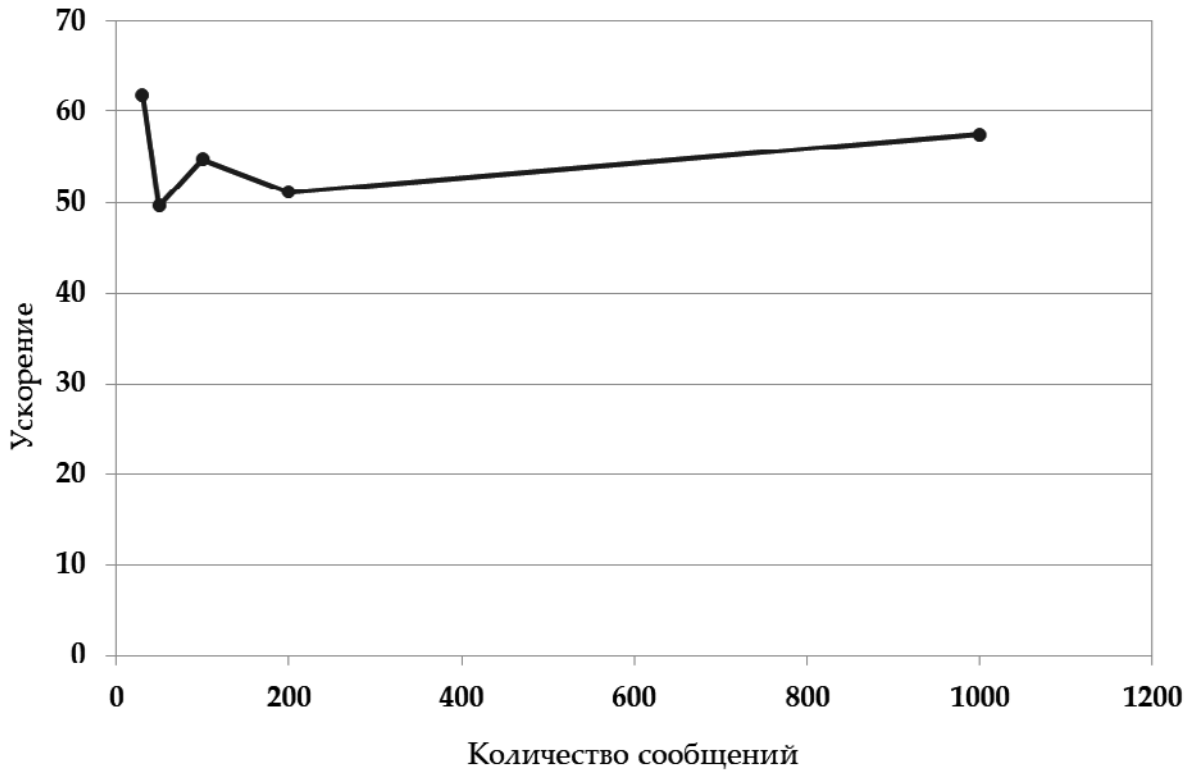


Рисунок 3.31. Влияние интенсивности обмена сообщениями (l) на масштабируемость программы

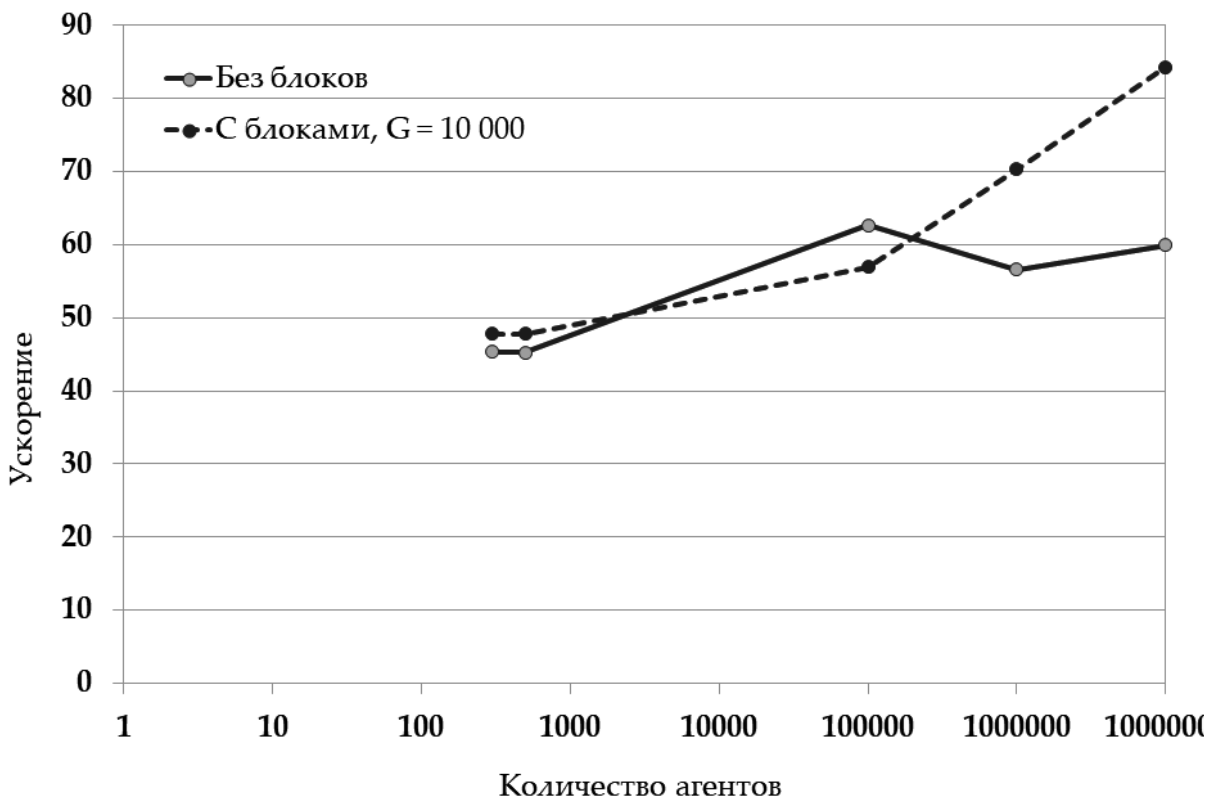


Рисунок 3.32. Зависимость параллельного ускорения от числа агентов, участвующих в обмене сообщениями (S). Количество MPI-процессов $M = 96$

цессы движения населения этих стран и их экономики, а также последствия реализации крупных инфраструктурных проектов как результат действий множества самостоятельных агентов.

В модели присутствуют агенты двух типов, образующие иерархию:

1. Страны, которые заинтересованы в расширении экономических связей с другими странами и экономическом росте, чему способствует участие в больших инфраструктурных проектах (например, создание «Нового шелкового пути»). Поэтому страны в модели оценивают выгоду от возможной реализации того или иного инфраструктурного проекта и лоббируют или блокируют его запуск в соответствии со своими интересами.

Адекватность имитации этого процесса была подтверждена экспериментально. Так, в ходе экспериментов агентами-странами осуществлялся выбор между двумя маршрутами прохождения Нового шелкового пути. При этом учитывалось то, что страны входят в различные междунациональные объединения — ЕАЭС, Европейский союз, НАТО — и согласовывают свои позиции внутри этих союзов (т. е. интенсивно обмениваются сообщениями внутри соответствующих групп стран). Причем мнение разных стран при выработке общего решения внутри союзов учитывается в модели в соответствии с их экономическим весом, в роли которого выступает ВВП.

2. Люди — жители этих стран. В модели они могут объединяться в семьи и рожать детей (создавать новых агентов), работать в какой-то отрасли, менять вид деятельности и/или место жительства также в соответствии со своими экономическими интересами. При имитации процесса воспроизводства населения агенты обмениваются сообщениями при поиске партнера для создания семьи. А при имитации процесса миграции обмен сообщениями используется для сбора информации о вакансиях в разных регионах и/или странах Евразии для определения направления миграции. При этом процессы взаимосвязаны, и в них играют роль разные типы связей агента, такие как семейные отношения и пространственное соседство.

Такой подход позволил максимально точно имитировать в модели воспроизводство населения стран Евразии с учетом не только начальной структуры их населения, но и поведенческих особенностей жителей разных стран (например, различные представления о желаемом числе детей в семье). Адекватность имитации миграционных процессов оценивалась на примере трудовой миграции из Китая в Россию. К региональным особенностям, которые были учтены в модели, относятся: а) высокая безработица среди сельского населения Китая; б) образовательная структура населения Китая; в) существенно зависящая от уровня образования тактика сбора информации для принятия миграционного решения. Так, основным источником информации для людей с низким образовательным уровнем являются их близкие родственники и знакомые (в модели соответствующие агенты обмениваются сообщениями). С использованием модели были поставлены эксперименты по оценке мощности и структуры миграционного потока из китайской провинции Хэйлунцзян в регионы Дальневосточного федерального округа при изменении курса юаня по отношению к рублю и при повышении информированности населения Китая об условиях рынка труда в России.

Исходные условия экспериментов представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9. Распределение китайских мигрантов по видам деятельности, а также соотношение их среднемесячной заработной платы в ДФО и в провинции Хэйлунцзян

Отрасли	Доля занятых, %	Соотношение заработной платы при разных значениях курса юаня		
		6,264	9,74	10,466
Строительство	8,5	1,86	1,20	1,11
Промышленность	8,5	1,28	0,82	0,76
Сельское хозяйство	8,5	1,60	1,03	0,96
Торговля	59,5	1,84	1,18	1,10
Услуги своим соотечественникам	10,0	1,50	1,20	1,20
Научные исследования	5,0	3,75	3,75	3,75

В ходе эксперимента по варьированию курса валют наблюдалось ожидаемое снижение общего миграционного потока, которое не коснулось группы китайских специалистов, работающих в России. Так, при курсе 9,74 происходило снижение общей численности агентов-мигрантов не менее чем на 10,9% относительно базового варианта, а при курсе 10,466 — уже более чем на 25%. Причем в последнем случае мигрантами в основном становились безработные²⁵⁸. Эксперимент по повышению информированности агентов (когда параметры рынка труда сообщались всем агентам) также продемонстрировал адекватную реакцию модели: при огромной разнице в численности населения рассмотренных регионов происходило активное вовлечение в процессы трудовой миграции из Китая в Россию сельских жителей, заполнявших вакансии работников низкой квалификации.

Взаимодействие агентов двух уровней реализуется следующим образом: страна создает условия для жизни и работы агентов (ВВП на душу населения, рабочие места и уровень заработной платы в различных отраслях, уровень безопасности и т. д.) и сообщает агентам-людям эти параметры среды. Для оценки уровня безопасности в модели используются данные глобального индекса терроризма (The Global Terrorism Index).

С началом реализации выбранного варианта инфраструктурного проекта (маршрута) изменяются условия для деятельности людей: появляются новые рабочие места на территориях стран, через которые проходит данный маршрут, а появление новых рабочих мест и изменение уровней зарплат вызывает миграцию агентов-людей. В свою очередь, деятельность людей влияет на экономические показатели отраслей и стран в целом.

Очевидно, что такая иерархия агентов в модели создает дополнительные сложности при параллелизации ее работы, т. к. вместо одинаковых по величине условных «кварталов» и соответствующих групп агентов, к ним принадлежащих, появляются страны с очень большой разницей в численности населяющих их агентов-людей. При этом между жителями одной страны обмен сообщениями явно интенсивнее.

3.4.4. Сравнение скорости работы агентной модели на суперкомпьютерах Тяньхэ-2 и МВС-100К

Последняя серия расчетов была реализована с целью сравнения скорости работы агентной модели на двух суперкомпьютерах: Тяньхэ-2 и МВС-100К (суперкомпьютер Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН).

Расчеты проводились при следующих параметрах:

- полное число агентов — 1 млн;
- число агентов, посылающих сообщения на каждом шаге, — 200 тыс.;
- число сообщений, рассылаемых агентом — 10.

Сравнение проводилось как между кластерами, так и между C++- и C#- версиями программы. В качестве среды исполнения C#-версии программы использовалась среда mono. Эта среда отличается большей кроссплатформенностью и доступна для старых версий ОС Linux, установленных на кластерах.

Результаты приведены в таблице 3.10 и на рисунке 3.33.

По результатам можно сказать, что суперкомпьютер Тяньхэ-2 несколько быстрее за счет использования более новых процессоров. Также можно сказать, что C#-версия программы работает примерно в два раза медленнее, чем C++- версия, но разница между ними может снижаться при большом количестве процессоров. Возможно, что скорость работы C#-версии удастся повысить за счет использования более быстрой среды исполнения .net, но это вряд ли будет применимо ко всем доступным кластерам.

В исследовании была представлена и опробована новая библиотека для параллельного выполнения агентного моделирования. Эта библиотека соединяет использование высокоуровневого языка программирования C# и высокопроизводительной платформы для обмена сообщениями,

²⁵⁸ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Агеева А. Ф. Агент-ориентированный подход при моделировании трудовой миграции из Китая в Россию // Экономика региона. 2017. Т. 13. Вып. 2. С. 331–341.

Таблица 3.10. *Время расчета итерации двух версий агентной модели для различных кластеров, с*

Число использованных процессорных ядер	МВС-100К (mono)	Тяньхэ-2 (mono)	Тяньхэ-2 (C++)
1	1,328		
8	0,352		0,113
16	0,180		0,064
24	0,146	0,078	0,044
48	0,086	0,038	0,035
96	0,076	0,026	

написанной с использованием C++-библиотеки и системной библиотеки MPI, установленной на суперкомпьютере. Представленные результаты тестового моделирования показывают хорошую масштабируемость программы на множестве вычислительных узлов. Кроме того, эксперименты с крупномасштабной АВМ Евразийского континента подтвердили, на наш взгляд, применимость предложенного подхода к моделированию больших социально-экономических систем со сложными взаимодействиями агентов.

Описанные выше результаты были представлены в рамках пленарных докладов на встречах рабочей группы стран БРИКС, посвященных инновационному сотрудничеству в сфере информационно-коммуникационных технологий и высокопроизводительных вычислений (BRICS Working Group Meeting and Innovation Collaboration Forum on Information Technology and Communication and High-Performance Computing).

Основная цель встреч — достигнуть существенных результатов в развитии искусственного интеллекта, больших данных, высокопроизводительных вычислений, кибербезопасности, моделирования социально-экономических систем стран БРИКС с использованием агент-ориентированного подхода и суперкомпьютерных технологий в рамках принятого ранее рабочего плана стран БРИКС

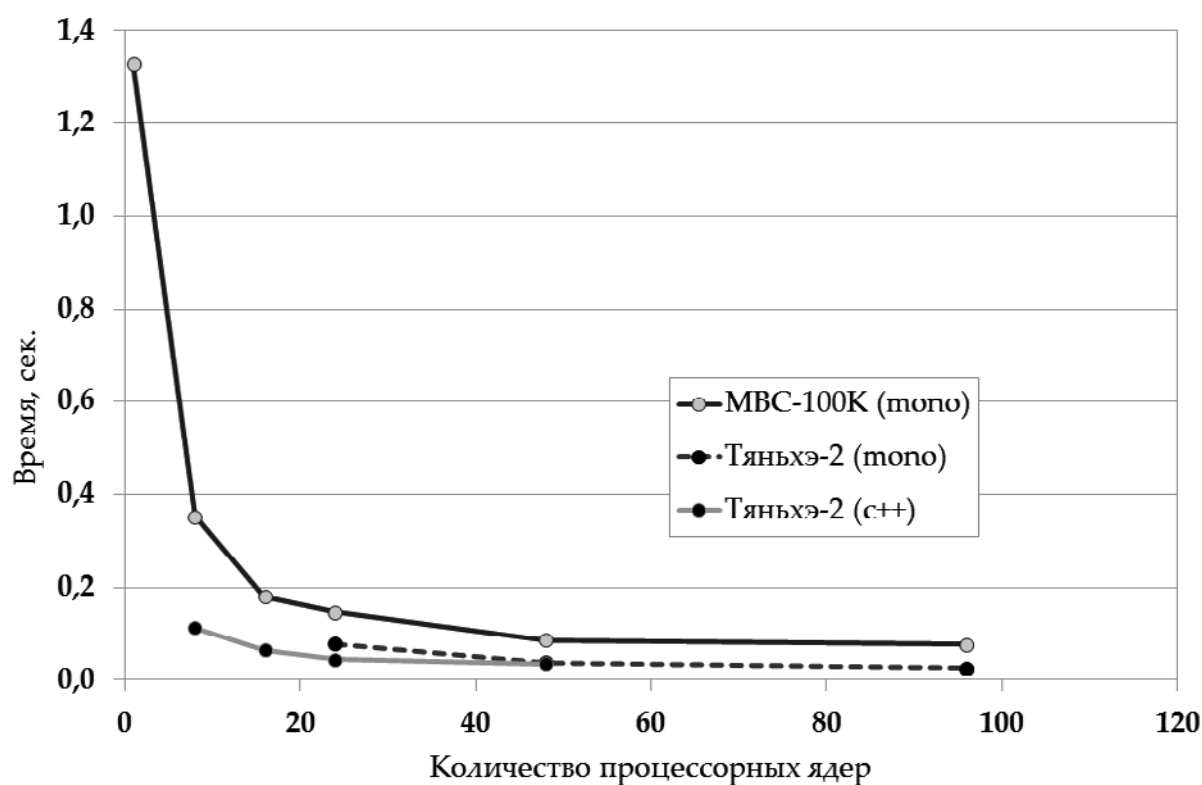


Рисунок 3.33. *Время расчета итерации двух версий агентной модели для различных кластеров, с*

в сфере науки, технологий и инноваций на следующие пять лет. Обсуждаемые вопросы касались также глобальных вопросов, связанных с реструктуризацией и модернизацией промышленного производства, сельским хозяйством, экологией, развитием умных городов и др. Каждая из сторон представила информацию о текущем состоянии информационно-коммуникационных технологий и высокопроизводительных вычислений в своей стране и перспективе их дальнейшего развития.

В процессе обсуждения были определены критерии для выбора приоритетных проектов БРИКС, которые будут финансироваться из нового банка развития (НБР), а также правительством КНР. После нескольких презентаций изначально выбранные 16 тем были сужены до девяти, а затем, по результатам открытого голосования, было определено пять тем для поддержки. Для того чтобы проект вошел в итоговый список, была необходима поддержка не менее трех стран-участниц. Ниже приведен список отобранных проектов:

1. Smart Manufacturing Cloud.
2. Improving and Optimizing the Delivery of Health Services using big data, machine learning and HPC, including but not limited to precision public health.
3. Integrated Precision Farming.
4. Large Scale Multi-agent based Simulation of Virtual Society.
5. Pollution Control and Prevention using big data, machine learning and HPC.

Как мы видим, разработка крупномасштабных АВМ с использованием суперкомпьютерных технологий является одним из важнейших приоритетов, который будет реализовываться в ближайшие годы.

3.5. Матрица финансовых потоков — инструмент реализации экономической политики страны²⁵⁹

В последнем разделе этой главы мы рассмотрим перспективный и хорошо зарекомендовавший себя инструмент анализа хозяйственных связей в социально-экономических системах, активно применяемый во всем мире, — матрицы финансовых потоков. Такие матрицы в том числе используются в качестве информационной базы для построения вычислимых моделей общего равновесия. Нами обозначены основные направления использования и кратко описана история их разработок в мире и отдельно для России. Также показан процесс построения матрицы для 12 экономических районов нашей страны в детализированном разрезе видов экономической деятельности. В процессе наполнения статистическими данными возникла проблема оценки объемов межрегиональной торговли, что сделало необходимым проведение дополнительного исследования, результаты которого будут приведены ниже. В заключение продемонстрирован пример практического использования построенной матрицы в качестве самостоятельного инструмента, а также в составе более сложной экономико-математической модели.

3.5.1. Краткая история и направления использования

Матрица финансовых потоков (МФП) — удобная форма представления данных о транзакциях между участниками экономической системы за определенный временной период. Матрица может быть использована как непосредственно для анализа экономической ситуации и отображения структуры социально-экономической системы, так и в составе сложных математических моделей (к примеру, вычислимых моделей общего равновесия (CGE-моделей)).

МФП представляет собой квадратную матрицу, в которой каждый счет хозяйствующего субъекта или фактора производства определяется строкой (финансовые поступления на счет) и столбцом (расходы с определенного счета). Такая система двойной записи обеспечивает равенство суммы любой строки и соответствующего ей столбца с тем же индексом.

С точки зрения показателей МФП является расширением леонтьевской межотраслевой таблицы «затраты — выпуск» (также весьма полезного инструмента экономического анализа) за счет

²⁵⁹ Авторы благодарят сорудников Всемирного банка Евгения Стейнбукса и Ирину Ростовцеву за помощь в построении матрицы финансовых потоков.

включения трансакций, связывающих институциональные сектора с производством, промежуточными и конечными товарами и пр., в совокупности дополняющими матрицу до целостной системы, рассматривающей все финансовые операции, происходящие в экономике страны (от формирования доходов до конечного потребления). Также в МФП учитываются финансовые платежи и торговля с внешним миром.

Как правило, типовая МФП включает в себя шесть базовых частей: 1) виды деятельности и продукты; 2) факторы производства; 3) домашние хозяйства; 4) капитал; 5) государственное управление; 6) остальной мир²⁶⁰.

В зависимости от решаемой задачи и имеющихся статистических данных МФП может расширяться как за счет увеличения числа рассматриваемых отраслей и факторов производства, так и за счет включения дополнительных институциональных единиц. Таким образом, преимуществом МФП является возможность детализации интересующих исследователей процессов до требуемого уровня.

Основные направления использования МФП:

1. Анализ социально-экономических процессов, в том числе:
 - оценка последствий структурной перестройки и диверсификации экономических систем, а также оценка возможностей и последствий импортозамещения;
 - изучение потребительских предпочтений, уровня занятости, проблем неравенства, производительности, возможностей устранения диспропорций на рынке труда;
 - оценка эффективности инвестиций, госрасходов и системы налогообложения, последствий перераспределения финансовых ресурсов, торговых дисбалансов;
 - поиск возможностей для экономического роста и др.
2. Обоснование управленческих мер, направленных на решение экологических проблем и борьбу с изменением климата, в том числе:
 - оценка последствий изменения уровня выбросов в зависимости от модификации структуры экономики, технологической трансформации производства и др.;
 - изучение последствий изменения климата для социальной и экономической сфер.
3. Изучение эволюции социально-экономических систем путем сопоставления матриц, составленных для разных временных периодов.
4. Включение МФП в состав более сложных инструментов (к примеру, в состав CGE-моделей).

3.5.2. Исторический экскурс

Впервые идеи МФП были предложены в 1947 г. в работе лауреата Нобелевской премии по экономике Р. Стоуна “Measurement of national income and the construction of social accounts”²⁶¹, а затем развиты им до матрицы финансовых потоков, представленной в исследовании “A Social Accounting Matrix for 1960”²⁶², выполненной в рамках проекта “A Programme for Growth”. Этот проект был направлен на поиск возможностей роста экономики Великобритании, предполагающих структурные изменения, а его основные идеи изложены в одноименном 12-томнике, изданном на экономическом факультете Кембриджского университета за период с 1960 по 1975 г.

По мнению Стоуна, комбинация положений «Общей теории»²⁶³ Дж. Кейнса с теорией межотраслевого анализа В. В. Леонтьева позволяет дезагрегировать и анализировать экономиче-

²⁶⁰ Mainar-Causapé A. J., Ferrari E., McDonald S. (2018): Social accounting matrices: basic aspects and main steps for estimation, EUR 29297 EN, JRC Technical Reports. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018. DOI:10.2760/010600.

²⁶¹ Stone R. N. (1947): Measurement of national income and the construction of social accounts: report of the Sub-Committee on National Income Statistics of the League of Nations Committee of Statistical Experts. With app., Definition and measurement of the national income and related totals. Geneva: U.N.

²⁶² Stone R., Brown A. (1962): A Social Accounting Matrix for 1960 (with Alan Brown and others). No. 2 in “A Programme for Growth”, Chapman and Hall, London, 1962.

²⁶³ Keynes J. M. (1936): The General Theory of Employment, Interest and Money. Электронный ресурс: <https://www.marxists.org/reference/subject/economics/keynes/general-theory/index.htm>.

скую систему с целью достижения высоких темпов роста. Подробная библиография научных работ Р. Стоуна содержится в 180-страничной монографии “Richard Stone: An Annotated Bibliography”, где можно проследить эволюцию принципов построения системы национальных счетов²⁶⁴.

С тех пор МФП были разработаны для большинства стран мира, а крупнейшие международные организации используют их в качестве стандартного инструмента для решения обозначенных выше задач. К примеру, 16–21 апреля 1978 г. Всемирный банк провел большую международную конференцию, которую можно считать отправной точкой в принятии МФП в качестве корпоративного стандарта. Одним из результатов стала коллективная монография, включающая в себя как описание методологии построения МФП, так и опыт их практического применения для некоторых стран²⁶⁵.

Перечислять даже самые известные разработанные за рубежом МФП большого смысла нет, поскольку многие из них реализованы схожим образом, но здесь мы упомянем статью «Использование матриц социальных счетов в моделировании структуры экономической системы», в которой рассматривается подробная классификация матриц, построенных за длительный период — с 1950-х гг. по настоящее время²⁶⁶ (Захарченко, 2012). Вместо обзора МФП, разработанных в других странах, мы приведем данные по распределению по годам 1000 наиболее цитируемых статей, посвященных вопросам построения матриц для различных стран, из международной базы научной периодики SCOPUS (рисунок 3.34).

²⁶⁴ Baranzini M., Marangoni G. (2015): Richard Stone: An Annotated Bibliography. First ed. 2015. Электронный ресурс: <https://core.ac.uk/download/pdf/43664097.pdf>.

²⁶⁵ Social Accounting Matrices: a Basis for Planning (eds. G. Pyatt and J.I. Round), The World Bank, Washington, D.C., 1985.

²⁶⁶ Захарченко Н. Г. Использование матриц социальных счетов в моделировании структуры экономической системы // Пространственная экономика. 2012. № 1. С. 69–89. DOI: 10.14530/se.2012.1.069-089.

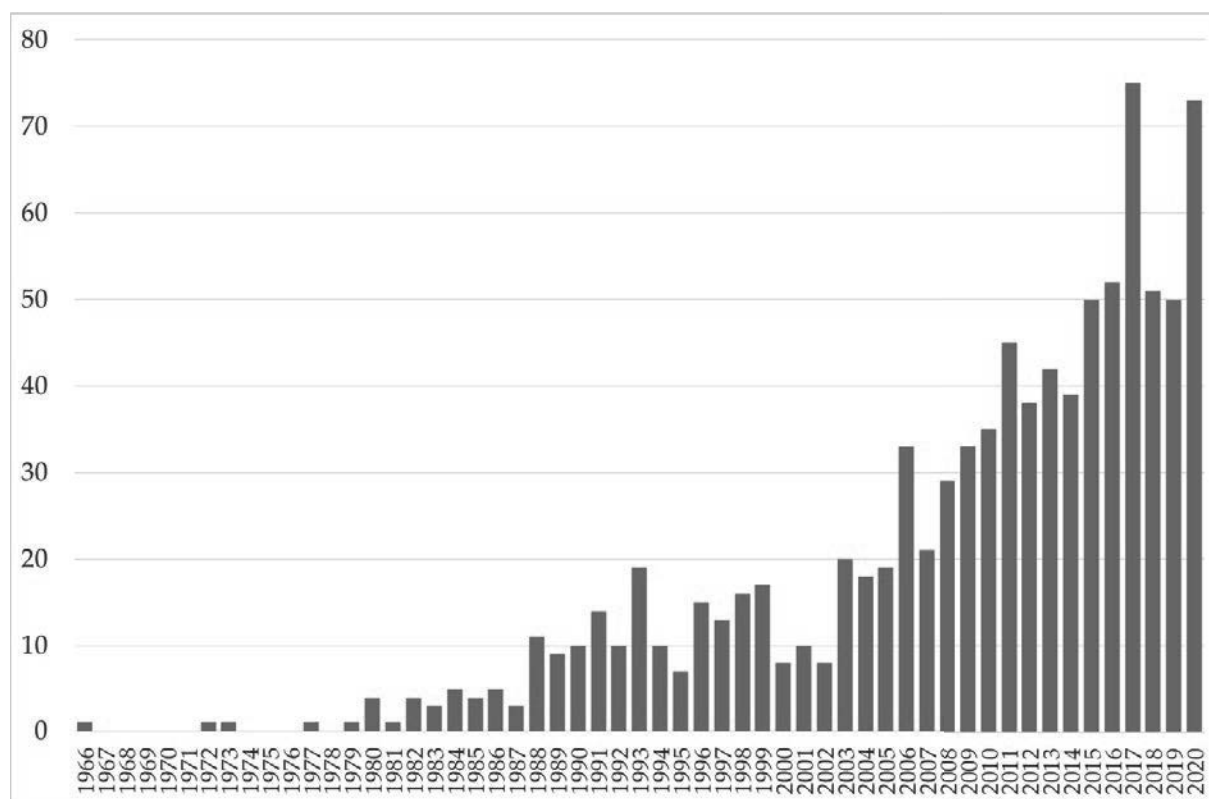


Рисунок 3.34. Распределение 1000 наиболее цитируемых статей из базы SCOPUS, посвященных вопросам построения МФП

Источник: составлено авторами.

Как мы видим, интерес к этому инструменту со временем только возрастает, поскольку происходящие глобальные изменения (разрыв части хозяйственных связей, высокая волатильность на финансовых рынках, переконфигурирование производственных цепочек, увеличение разрыва в доходах, рост безработицы и т. д.) актуализируют исследования по выявлению возможностей для устранения структурных дисбалансов в социально-экономических системах и поиску оптимальных траекторий для дальнейшего роста.

3.5.3. Российский опыт

В России также имеется опыт построения МФП, приведенных в таблице 3.11 с указанием авторов. Первые матрицы были разработаны действующим вице-премьером Правительства РФ А. Р. Белоусовым за период 1988–1998 гг. и научным сотрудником ЦЭМИ РАН А. Л. Ведевым для 1992 г.

С тех пор МФП для всей России в целом строились за 2002, 2003 и 2008 гг., а большинство матриц составлено для отдельных субъектов страны.

Таблица 3.11. Матрицы финансовых потоков для России и ее регионов

Охват и период	Название публикации и авторы
Россия, 1988–1998 гг.	Экспериментальная разработка интегрированных матриц финансовых потоков 1988–1998 гг. ²⁶⁷
Россия, 1992 г.	Изменения в экономике России в первый год рыночных реформ (анализ на основе матриц финансовых потоков) ²⁶⁸
Макрорегион «Центр» (включает в себя Центральный федеральный округ), 2001 г. Макрорегион «Север» (включает в себя Дальневосточный, Северо-Западный, Сибирский и Уральский федеральные округа), 2001 г. Макрорегион «Юг» (включает в себя Приволжский и Южный федеральные округа), 2001 г.	Оценка последствий реформирования системы социальных гарантий: монетизация льгот и реформа ЖКХ ²⁶⁹
88 регионов России, 2001 г.	Documentation of Social Accounting Matrices for the Regions of Russia. Social Accounting Matrices For The Regions Of Russia ²⁷⁰
Россия, 2003 г.	Методика построения интегрированных матриц финансовых потоков (Social Accounting Matrix). Сравнительный анализ SAM для России и Франции ²⁷¹
Республика Башкортостан, 2008 г.	Матрицы финансовых потоков и их региональные приложения ²⁷²

²⁶⁷ Белоусов А. Р., Абрамова Е. А. Экспериментальная разработка интегрированных матриц финансовых потоков 1988–1998 гг. М.: ИНИ РАН, 2003.

²⁶⁸ Ведев А. Л. Изменения в экономике России в первый год рыночных реформ (анализ на основе матриц финансовых потоков) // Вопросы экономики. 1993. № 6.

²⁶⁹ Волчкова Н., Горшкова Е., Лобанов С., Макрушин А., Турдыева Н., Халева Ю. Оценка последствий реформирования системы социальных гарантий: монетизация льгот и реформа ЖКХ. М.: ЦЭФИР, 2006.

²⁷⁰ Jensen J., Rutherford T., Tarr D. (2006): Documentation of Social Accounting Matrices for the Regions of Russia. Social Accounting Matrices For The Regions Of Russia, 2001. Электронный ресурс: <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/wps-4015-social-accounting-matrices-regions-russia-2001>, дата обращения: 13.06.2021.

²⁷¹ Акопов А. С., Бекларян Г. Л. Методика построения интегрированных матриц финансовых потоков (Social Accounting Matrix). Сравнительный анализ SAM для России и Франции // Аудит и финансовый анализ. 2004. № 1. С. 209–215.

²⁷² Климова Н. И., Чередникова Л. Ю. Матрицы финансовых потоков и их региональные приложения // Известия Уфимского научного центра РАН. 2011. № 2. С. 83–91.

Охват и период	Название публикации и авторы
Россия, 2002, 2008 гг.	Матрицы социальных счетов: направления и ограничения использования ²⁷³
Хабаровский край, 2007–2010 гг.	Исследование региональных макроэкономических пропорций и мультипликативных эффектов: Хабаровский край ²⁷⁴
Краснодарский край, 2010 г.	Развитие системы региональных счетов: матрица социальных счетов ²⁷⁵
Свердловская область, 2012 г.	Использование матрицы финансовых потоков в моделировании экономического развития регионов (на примере Свердловской области) ²⁷⁶
Свердловская область с дезагрегированным счетом домашних хозяйств, 2012 г.	Моделирование влияния домохозяйств на создание мультипликативных эффектов в регионе (на примере Свердловской области) ²⁷⁷
Калининградская область, 2012 г.	Матричное представление показателей системы региональных счетов Калининградской области: экспериментальная разработка и перспективы моделирования ²⁷⁸
Свердловская, Вологодская, Челябинская и Курганская области, 2016 г.	Моделирование инвестиционной привлекательности видов экономической деятельности в регионе с использованием матрицы финансовых потоков ²⁷⁹

Эксперты Всемирного банка (Jesper Jensen, Thomas Rutherford, David Tarr) построили весьма подробную МФП для 88 регионов России за 2001 г., причем экономика каждого субъекта была рассмотрена в разрезе 30 отраслей. Однако ввиду отсутствия данных по межрегиональной торговле исследователи сильно скорректировали исходные показатели при балансировке соответствующих МФП и отметили данное обстоятельство в рабочем документе на сайте организации, на котором также можно скачать все рассчитанные таблицы²⁸⁰.

В своей работе мы уделили серьезное внимание именно оценке межрегиональных взаимодействий, поэтому полученные результаты более реалистичны. Кроме того, такая оценка сама по себе имеет ценность, поскольку определяет степень хозяйственной связанности территорий, снижение которой влечет за собой угрозу национальной безопасности. Об этом будет рассказано в соответствующем разделе. Также отметим, что в отличие от упомянутой выше региональной матрицы построенная нами МФП включает в себя межбюджетные финансовые и миграционные потоки между рассматриваемыми районами.

Помимо разработанных МФП ряд исследователей определяли преимущества и недостатки общепринятых подходов к построению матриц и предлагали подходы к их модификации.

²⁷³ Михеева Н. Н. Матрицы социальных счетов: направления и ограничения использования // ЭКО. 2011. № 3 (6). С. 103–118. <http://dx.doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2011-6-103-118>.

²⁷⁴ Власюк Л. И., Захарченко Н. Г., Калашников В. Д. Исследование региональных макроэкономических пропорций и мультипликативных эффектов: Хабаровский край // Пространственная экономика. 2012. № 2. С. 44–66.

²⁷⁵ Тримова О. В. Развитие системы региональных счетов: матрица социальных счетов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2013. № 2. С. 70–79.

²⁷⁶ Татаркин Д. А., Сидорова Е. Н., Трынов А. В. Использование матрицы финансовых потоков в моделировании экономического развития регионов (на примере Свердловской области) // Экономика. Налоги. Право. 2015. № 1. С. 92–99.

²⁷⁷ Анимца П. Е. Моделирование влияния домохозяйств на создание мультипликативных эффектов в регионе (на примере Свердловской области) // Управленец. 2016. № 2 (60). С. 28–33.

²⁷⁸ Солдатова С. Э., Волошенко К. Ю., Огнева Н. Ф. Матричное представление показателей системы региональных счетов Калининградской области: экспериментальная разработка и перспективы моделирования // Балтийский регион. 2015. № 3. С. 126–137.

²⁷⁹ Наумов И. В., Трынов А. В. Моделирование инвестиционной привлекательности видов экономической деятельности в регионе с использованием матрицы финансовых потоков // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2019. Т. 12, № 4. С. 53–66. DOI: 10.15838/esc.2019.4.64.4.

²⁸⁰ Jensen J., Rutherford T., Tarr D. (2006): Documentation of Social Accounting Matrices for the Regions of Russia. Social Accounting Matrices For The Regions Of Russia, 2001. Электронный ресурс: <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/wps-4015-social-accounting-matrices-regions-russia-2001> (дата обращения: 13.06.2021).

К примеру, в работе «Региональная балансовая модель финансовых потоков на основе секторального подхода системы национальных счетов» предложена методология построения региональных МФП с детализированными показателями финансового баланса²⁸¹. В исследовании «Мультипликационные эффекты в экономике» проведен подробный анализ существующих концепций построения МФП и предложена методика построения мультипликаторов совокупных расходов и отраслевых мультипликаторов доходов²⁸².

Тем не менее главный вывод на текущий момент следующий: для России и большинства ее субъектов нет актуальных МФП, хотя, на наш взгляд, работа по их составлению как для России, так и для всех ее регионов должна носить регулярный характер и осуществляться официальными организациями, занимающимися сбором и обработкой статистической информации. Имеющиеся разработки носят во многом случайный характер, более того — они не согласованы друг с другом как по набору учитываемых институциональных единиц, так и по рассматриваемому временному периоду. По нашему мнению, этот процесс должен быть нормативно урегулирован и отлажен.

3.5.4. Построение матрицы МФП

В рамках исследования была построена МФП, позволяющая оценивать трансакции, формирующие доходы и расходы различных видов экономической деятельности (ВЭД) и прочих институциональных секторов, а также прогнозировать показатели системы национальных счетов в составе более сложных моделей (в нашем случае — CGE).

Учитывая текущую структуру экономики России, укрупненные ВЭД были дезагрегированы путем выделения более специализированных отраслей энергетики — добычи угля, добычи нефти, добычи природного газа и газового конденсата, производства и распределения газообразного топлива.

Ниже приведен список отобранных нами ВЭД.

1) Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство; 2) добыча угля; 3) добыча нефти; 4) добыча природного газа и газового конденсата; производство и распределение газообразного топлива; 5) добыча прочих полезных ископаемых; 6) производство кокса и нефтепродуктов; 7) обрабатывающие производства; 8) производство, передача и распределение электроэнергии; 9) водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений; 10) строительство; 11) торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов; 12) деятельность гостиниц и предприятий общественного питания; 13) транспортировка и хранение; 14) деятельность в области информации и связи; 15) финансовая и страховая деятельность; 16) деятельность по операциям с недвижимым имуществом; 17) профессиональная, научная и техническая деятельность; административная деятельность и сопутствующие дополнительные услуги; 18) деятельность в области культуры, спорта, организации досуга и развлечений; предоставление прочих видов услуг; 19) государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование; 20) образование; 21) деятельность в области здравоохранения и социальных услуг.

Построенная МФП имеет структуру, приведенную в таблице 3.12.

Пояснения к таблице 3.12:

I — матрица размерностью 21×21, содержащая в себе объемы промежуточного потребления в разрезе отраслей.

II — конечное потребление домашних хозяйств.

III — государственные закупки товаров и услуг.

IV — расходы некоммерческих организаций, обслуживающих домашние хозяйства.

²⁸¹ Захарчук Е. А., Пасынков А. Ф. Региональная балансовая модель финансовых потоков на основе секторального подхода системы национальных счетов // Экономика региона. 2017. Т. 13. Вып. 1. С. 318–330.

²⁸² Дондоков З. Б. Мультипликационные эффекты в экономике. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2000.

Таблица 3.12. Концептуальная структура МФП

		Товары	Отрасли	Труд	Капитал	Домашние хозяйства	Государственные расходы	Внебюджетные фонды	Некоммерческие организации, обслуживающие домашние хозяйства	Инвестиции	Экспорт
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Товары	1		I			II	III		IV	V	VI
Отрасли	2	VII									
Труд	3		VIII								
Капитал	4		IX								
Домашние хозяйства	5			X	XI		XII	XIII			XIV
Бюджет	6		XV		XVI	XVII					
Внебюджетные фонды	7			XVIII			XIX				
Некоммерческие организации, обслуживающие домашние хозяйства	8					XX					
Сбережения	9				XXI	XXII	XXIII				
Импорт	10	XXIV				XXV				XXVI	

V — валовое накопление основного капитала.

VI — экспорт товаров и услуг.

VII — матрица размерностью 21×21, содержащая в себе объемы отраслевого производства товаров для внутреннего потребления.

VIII — фонд заработной платы по отраслям.

IX — чистая прибыль по отраслям.

X — доход домашних хозяйств в виде заработной платы.

XI — доход домашних хозяйств от собственности.

XII — иные выплаты домашним хозяйствам.

XIII — выплаты домашним хозяйствам из внебюджетных фондов.

XIV — экспорт конечных товаров.

XV — налоги за вычетом субсидий на продукты и производство.

XVI — доходы от собственности.

XVII — налоги с домашних хозяйств за вычетом субсидий на продукты.

XVIII — социальные взносы.

XIX — перечисления из бюджета.

XX — социальные трансферты в натуральной форме, предоставляемые некоммерческими организациями, обслуживающими домашние хозяйства.

XXI — инвестиции.

XXII — сбережения домашних хозяйств.

XXIII — разница между государственными доходами и расходами.

XXIV — импорт.

XXV — разница между покупками резидентов за рубежом и покупками нерезидентов на отечественном рынке.

XXVI — отток капитала.

Строки и столбцы:

Строка 1: распределение произведенных товаров по направлениям дальнейшего использования.

Столбец 1: определение направлений возникновения товаров в стране (либо отечественное производство, либо импорт).

Строка 2: предложение товаров со стороны отраслей.

Столбец 2: затраты на производство.

Строка 3: фонд заработной платы.

Столбец 3: распределение фонда заработной платы (на заработную плату и социальные взносы).

Строка 4: доход от капитальных вложений.

Столбец 4: распределение полученной прибыли.

Строка 5: доходы домашних хозяйств из всех источников.

Столбец 5: расходы домашних хозяйств.

Строка 6: доходы консолидированного бюджета.

Столбец 6: расходование средств консолидированного бюджета.

Строка 7: доходы внебюджетных фондов.

Столбец 7: расходование средств внебюджетных фондов.

Строка 8: социальные трансферты.

Столбец 8: расходы некоммерческих организаций, обслуживающих домашние хозяйства.

Строка 9: сбережения всех участников экономической системы.

Столбец 9: инвестиции и отток капитала.

Строка 10: импорт.

Столбец 10: экспорт.

Отметим, что выше было приведено только концептуальное описание построенной МФП, поскольку полное перечисление столбцов и строк (около 180) заняло бы слишком много места.

Калибровка

После заполнения МФП данными обнаружилось, что суммы некоторых строк и соответствующих им столбцов не совпадают. Для их балансировки был применен хорошо зарекомендовавший себя метод *RAS*, основанный на последовательной корректировке матрицы *A* с использованием двух диагональных матриц *R* и *S*. Для обозначения матриц чаще всего используется именно такая нотация, поэтому соответствующий акроним, получившийся при записи операции калибровки МФП, стал названием метода. Этот способ балансировки был предложен В. В. Леонтьевым, а в дальнейшем доработан до алгоритма для практического использования Р. Стоуном²⁸³.

Данные

Для заполнения МФП данными был использован широкий перечень статистических источников, публикуемых Росстатом (Российский статистический ежегодник, национальные счета России, таблицы ресурсов и использования товаров и услуг и др.), данные Федеральной налоговой службы, Министерства финансов и Министерства экономического развития РФ.

Самая важная часть работы заключалась в оценке межрегиональной торговли. Вообще говоря, эта оценка, а по сути, определение степени связности регионов страны, является одной из важнейших задач региональной экономики. Прочность таких связей важна не только с позиции экономики транс-

²⁸³ Stone R., Brown A. (1965): Behavioral and Technical Change in Economic Models // Problems in Economic Development, MacMillan, New York, 1965.

портных и прочих затрат — она напрямую влияет на целостность страны и уровень ее национальной безопасности. В этой связи важно проводить исследования в данной области на постоянной основе с целью корректировки задач пространственного развития России, но, к сожалению, подобного рода расчетов немного. Так, в исследовании А. Б. Гусева получены оценки вовлеченности регионов РФ во внутреннюю и внешнюю торговлю, которые в 2009 г. показали превышение внешнеэкономического оборота субъектов страны над внутренним товарооборотом как минимум в 1,5 раза. Таким образом, автор делает вывод о том, что регионы России являются «в большей степени частью мировой торговли, чем экономическими единицами национальной экономики»²⁸⁴. Помимо этого в исследовании была проведена оценка степени экономической интеграции федеральных округов. Для этого использовались данные о межрегиональной торговле потребительскими продовольственными и непродовольственными товарами, полученные автором на договорной основе от Росстата. На рисунке 3.35 приведены коэффициенты, отражающие уровень торговой связности федеральных округов в 2009 г. Эти показатели являются отношениями торгового оборота между парой округов и суммой ВРП их регионов. Для наглядности отображены только значимые результаты.

Как видно, степень связности весьма неоднородна: разрыв между максимальными и минимальными значениями — более чем в 100 раз. Но не менее важный результат заключается в том, что, по сути, целостность экономического пространства страны во многом определяется только двумя федеральными округами, связывающими сопредельные территории — Центральным и Приволжским. В свою очередь, Дальневосточный федеральный округ не имеет существенных связей с остальной частью страны, что создает риски ее целостности.

Росстат показатели межрегиональной торговли официально не публикует, однако на уровне первичной информации нами были получены данные по ввозу и вывозу 140 ключевых товаров между 85 регионами Российской Федерации в 2019 г. С использованием цен на учитываемые товары были проведены расчеты совокупных объемов межрегиональной торговли²⁸⁵. Несмотря на

²⁸⁴ Гусев А. Б. Ослабленная экономическая интеграция регионов России — угроза территориальной целостности страны // Общество и экономика. 2011. № 10. С. 50–66.

²⁸⁵ Расчеты в основном проводились Ириной Ростовцевой (Всемирный банк).

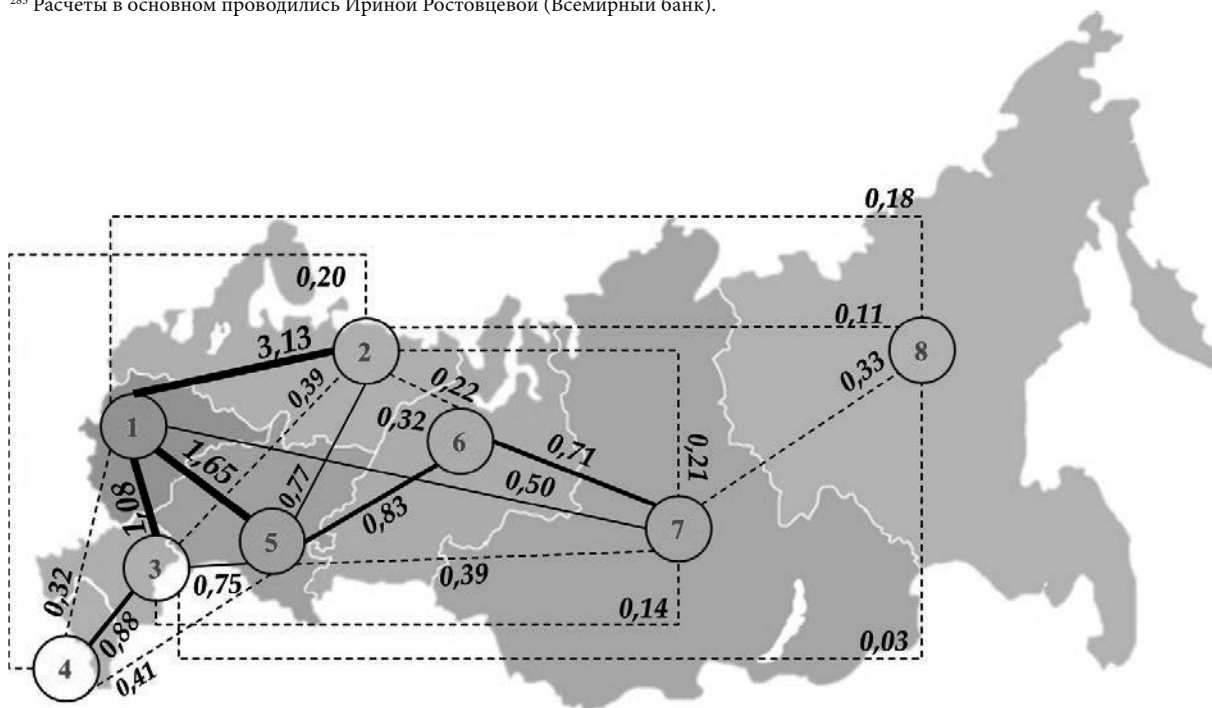


Рисунок 3.35. Степень торговой связности федеральных округов (1 — Центральный, 2 — Северо-Западный, 3 — Южный, 4 — Северо-Кавказский, 5 — Приволжский, 6 — Уральский, 7 — Сибирский, 8 — Дальневосточный) в 2009 г., %

Источник: составлено на основе расчетов А. Б. Гусева.

то что данные по всем продуктам в итоге были агрегированы в единую таблицу, из-за большого количества регионов России привести ее здесь не получится, поэтому мы представим получившиеся значения для экономических районов РФ.

Поскольку мы рассчитали данные по межрегиональной торговле для всех регионов, то теоретически могли построить матрицы и соответствующую математическую модель также для всех регионов. Но такая детализация на текущий момент затруднительна, поскольку построение инструмента с таким большим количеством экономических субъектов — процесс трудоемкий и в идеале должен осуществляться на уровне крупного проектного института.

Экономическое районирование территории России предпринималось в рамках ГОЭЛРО и пятилеток СССР. Первое научно обоснованное деление было предпринято К. И. Арсеньевым еще в 1818 г., а районирование, учитывающее производственную специализацию территорий, их кадровый потенциал, имеющуюся инфраструктуру и другие факторы, многократно осуществлялось в дальнейшем. Теоретические и практические принципы районирования достаточно подробно приведены в фундаментальном труде академика РАН А. Г. Гранберга «Основы региональной экономики»²⁸⁶. Используемое в данном исследовании деление основано в первую очередь на производственной специализации районов, соответствует классификации, утвержденной Госстандартом России от 27 декабря 1995 г. в редакции от 10 февраля 2021 г.²⁸⁷ и включает в себя: Центральный, Центрально-Черноземный, Восточно-Сибирский, Дальневосточный, Северный, Северо-Кавказский, Северо-Западный, Поволжский, Уральский, Волго-Вятский, Западно-Сибирский и Калининградский районы (всего 12).

Далее рассмотрим некоторые результаты проведенных расчетов межрегиональной торговли.

В таблице 3.13 приведены данные, отражающие распределение вывезенных товаров, произведенных отраслью «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» по экономическим районам России. Значения главной диагонали наглядно демонстрируют, что торговля осуществляется преимущественно внутри экономических районов.

Таблица 3.13. Тепловая карта, отражающая распределение вывезенных товаров отрасли «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» по экономическим районам России в 2019 г. (сумма элементов строки = 100%)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	33,9	2,3	0,6	1,4	2,6	0,0	4,1	7,5	2,2	20,8	2,4	22,2
2	6,1	8,1	0,1	0,0	1,6	0,0	55,9	14,6	0,1	0,1	8,1	5,4
3	1,4	0,0	75,0	0,8	14,6	1,5	0,0	0,1	0,1	4,8	1,4	0,1
4	0,3	5,3	29,0	30,5	33,2	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	1,1	0,3
5	1,0	0,4	10,4	0,0	56,2	0,4	4,0	0,0	0,0	0,2	21,3	5,9
6	2,5	0,5	9,9	0,0	6,4	0,0	19,2	0,0	0,3	7,0	2,7	51,5
7	11,2	18,3	1,4	0,0	0,5	0,0	27,7	1,4	0,1	12,3	18,3	8,8
8	38,4	1,1	1,3	0,0	0,8	0,1	3,7	30,6	1,7	0,0	14,8	7,6
9	7,4	0,2	19,3	0,0	11,4	0,0	2,4	7,9	20,4	7,1	2,0	21,9
10	2,4	1,6	1,8	0,0	2,7	0,0	5,3	0,7	0,1	38,9	2,5	44,1
11	1,2	2,1	0,4	0,0	21,8	0,1	12,9	0,1	0,0	11,5	48,2	1,6
12	13,5	0,9	0,2	0,0	0,9	0,0	1,6	0,3	0,1	6,7	1,5	74,3

1 — Центральный, 2 — Волго-Вятский, 3 — Восточно-Сибирский, 4 — Дальневосточный, 5 — Западно-Сибирский, 6 — Калининградский, 7 — Поволжский, 8 — Северный, 9 — Северо-Западный, 10 — Северо-Кавказский, 11 — Уральский, 12 — Центрально-Черноземный

²⁸⁶ Гранберг А. Г. Основы региональной экономики: Учебник для вузов. М.: ГУ ВШЭ, 2000.

²⁸⁷ Общероссийский классификатор экономических регионов. ОК 024-95 / утв. Постановлением Госстандарта России от 27.12.1995 № 640, ред. от 10.02.2021, дата введения 01.01.1997. Электронный ресурс: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_115583, дата обращения: 13.06.2021.

В таблице 3.14 приведены данные, отражающие распределение вывезенных товаров обрабатывающих производств по экономическим районам России. Полученные значения также демонстрируют торговую активность внутри экономических районов и во многом повторяют выводы А. Б. Гусева для 2009 г. о доминирующей роли Центрального и Поволжского районов для экономической целостности страны.

Таблица 3.14. Тепловая карта, отражающая распределение вывезенных товаров обрабатывающих производств по экономическим районам России в 2019 г. (сумма элементов строки = 100%)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	42,2	5,0	0,1	0,6	0,6	9,6	9,7	0,6	14,0	3,0	2,2	12,6
2	34,1	15,2	0,0	1,4	1,6	0,8	24,2	1,8	3,0	0,9	8,6	8,3
3	31,7	7,0	9,0	3,2	18,9	0,8	10,2	0,0	3,4	2,7	10,0	2,9
4	21,7	3,3	3,7	44,0	9,2	0,3	4,7	0,3	3,2	2,2	3,1	4,2
5	32,7	8,0	1,7	1,1	23,5	0,3	11,3	0,0	4,3	1,7	11,9	3,3
6	43,5	5,1	0,0	2,6	1,2	0,0	8,2	6,6	17,4	2,5	0,9	12,1
7	37,2	16,8	0,1	0,2	1,3	0,4	23,5	0,0	4,1	3,6	5,2	7,7
8	35,3	10,5	0,0	5,5	1,3	1,0	12,3	6,7	14,3	1,6	5,5	6,0
9	44,5	5,2	0,0	0,4	1,9	2,5	11,8	1,5	16,0	5,8	2,7	7,8
10	35,3	6,8	0,0	0,4	1,0	0,9	12,2	0,1	6,0	18,9	2,4	15,9
11	31,9	10,3	0,2	1,0	3,5	0,5	26,0	0,0	3,7	1,8	17,7	3,4
12	29,7	7,3	0,1	0,5	0,5	0,5	16,0	0,1	3,4	8,7	0,9	32,3

1 — Центральный, 2 — Волго-Вятский, 3 — Восточно-Сибирский, 4 — Дальневосточный, 5 — Западно-Сибирский, 6 — Калининградский, 7 — Поволжский, 8 — Северный, 9 — Северо-Западный, 10 — Северо-Кавказский, 11 — Уральский, 12 — Центрально-Черноземный

Рассчитав данные по межрегиональной торговле, МФП России была разделена на 13 матриц, каждая из которых описывает экономику отдельного района.

3.5.5. Практическое применение МФП

Выше говорилось, что МФП могут быть использованы как самостоятельно, так и в составе более сложных моделей.

Один из способов применения — расчет матрицы мультипликаторов для оценки влияния изменений экзогенных параметров на целевые макроэкономические переменные (к примеру, добавленную стоимость в отраслевом разрезе, доходы домашних хозяйств и т. д.). В матричной форме искомые значения мультипликаторов вычисляются следующим образом: $M = (I - A)^{-1}$, где A — эндогенные коэффициенты, рассчитанные путем нормировки значений элементов МФП к суммам соответствующих столбцов, а I — единичная матрица.

Из-за недостатка места выложить МФП и соответствующую ей матрицу мультипликаторов здесь не получится, но отметим, что максимальное значение имеет мультипликатор валового выпуска у обрабатывающих производств (2,177), а минимальное значение — у отрасли «деятельность в области культуры, спорта, организации досуга и развлечений; предоставление прочих видов услуг» (0,087). Таким образом, разница в значениях мультипликаторов весьма существенна — почти в 25 раз.

Далее рассмотрим вариант использования МФП в составе экономико-математической модели, в которой рассматриваются перечисленные выше отрасли и экономические районы. С помощью построенного инструмента был проведен вычислительный эксперимент, в котором рассмотрен один из возможных вариантов предпочтений для экономических районов с наихудшими показателями экономического развития.

Одной из наиболее серьезных проблем в развитии России является высокая дифференциация социально-экономического развития ее регионов, связанная как с различными уровнями их потенциалов (социальным, инновационным, инвестиционным, экономическим и др.), так и с географическими особенностями и развитостью инфраструктуры (социальной, транспортной, рыночной и т. д.). Причины различий в уровне развития территорий подробно рассмотрены в многочисленных исследованиях по данной тематике, и в этой связи здесь мы не будем подробно их анализировать, а ограничимся рассмотрением ключевого показателя — ВРП на душу населения. На рисунке 3.36 представлено отношение максимальных и минимальных значений этого индикатора в разрезе регионов России для периода 1995–2018 гг. Отметим, что уровень дифференциации по данному показателю по сравнению с 90-ми гг. прошлого века значительно возрос.

В разрезе экономических районов дифференциация менее заметна (рисунок 3.37), поскольку недостаток развития депрессивных регионов в некоторой степени компенсируется показателями более развитых субъектов, но и на более агрегированном уровне пока не прослеживается тенденция к выравниванию ключевых показателей территорий.

Диспропорции в региональном развитии обусловили необходимость принятия Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 г., утвержденной распоряжением Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. № 207-р (ред. от 23 марта 2021 г.). Согласно этому документу «целью пространственного развития Российской Федерации является обеспечение устойчивого и сбалансированного пространственного развития Российской Федерации, направленного на **сокращение межрегиональных различий** в уровне и качестве жизни населения, ускорение темпов экономического роста и технологического развития, а также на обеспечение национальной безопасности страны». Достижение поставленной цели определяется решением ряда задач, ключевой среди которых является «сокращение уровня **межрегиональной дифферен-**

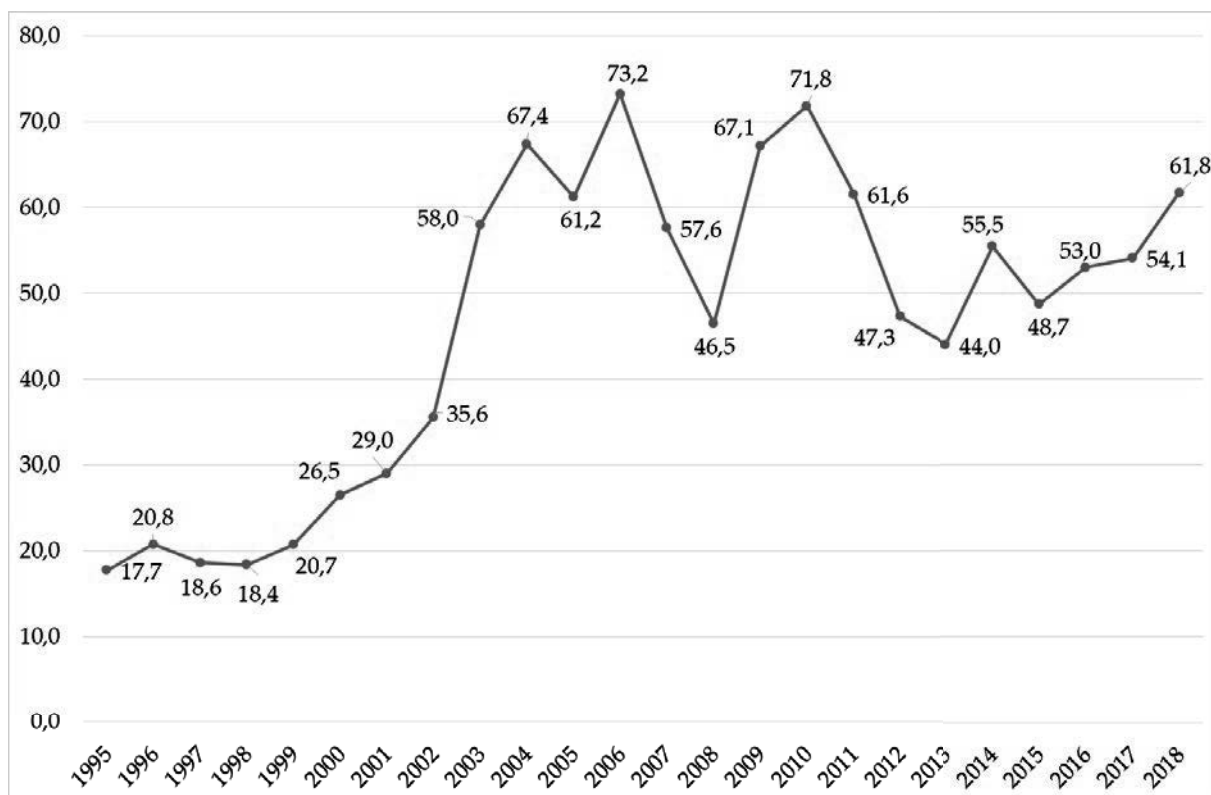


Рисунок 3.36. Различия показателей «ВРП на душу населения» в разрезе регионов России за период 1995–2018 гг., раз

Источник: рассчитано авторами на основе данных Росстата: Федеральная служба государственной статистики: Электронный ресурс: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 04.07.2021).

циации в социально-экономическом развитии субъектов Российской Федерации, а также снижение внутрирегиональных социально-экономических различий».

В одном из важнейших документов стратегического планирования — Стратегии национальной безопасности Российской Федерации, утвержденной 3 июля 2021 г.²⁸⁸, в качестве одной из ключевых задач для ее реализации обозначено «сокращение дифференциации субъектов Российской Федерации по уровню и темпам социально-экономического развития, качеству жизни...».

Таким образом, на самом высоком уровне задача выравнивания регионального развития выделяется в качестве приоритета. В числе механизмов ее решения — предоставление налоговых льгот, а также предоставление бюджетам субъектов РФ субсидий и иных целевых трансфертов из федерального бюджета.

В рамках вычислительных экспериментов с использованием модели мы рассчитаем последствия снижения налоговых ставок для трех экономических районов с наихудшими значениями показателя «ВРП на душу населения», к которым относятся Поволжский, Волго-Вятский и Северо-Кавказский (рисунок 3.38).

В модели мы рассматриваем основные виды налогов — налог на прибыль предприятий и организаций, налог на доходы физических лиц, налог на имущество, НДС и другие. В ходе экспериментов мы снижаем изымаемые у налогоплательщиков суммы для трех сценариев на 5, 10 и 15% соответственно. Таким образом, оставленные у институциональных агентов средства направляются на расширение производства, формируя дополнительное предложение товаров и услуг, а домохозяйства увеличивают совокупный спрос.

²⁸⁸ Указ Президента Российской Федерации от 2 июля 2021 г. № 400 «О стратегии национальной безопасности Российской Федерации». Электронный ресурс: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107030001>, дата обращения: 04.07.2021.

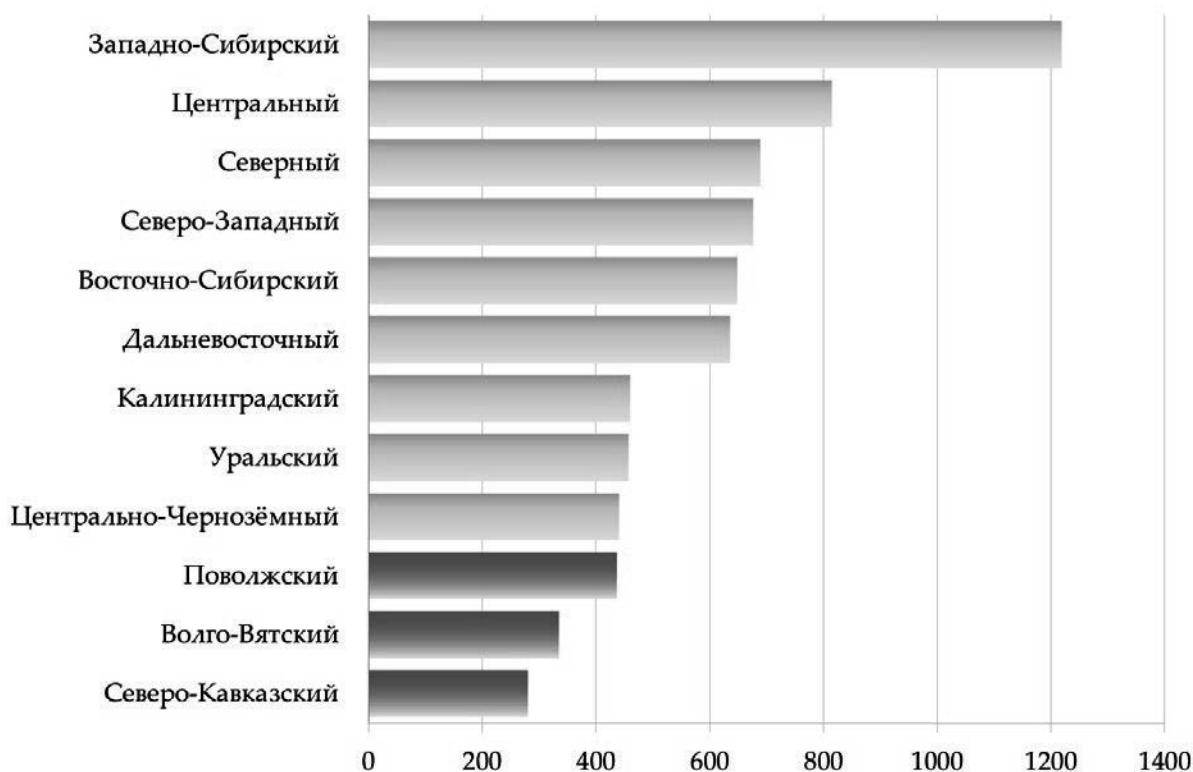


Рисунок 3.37. Различия показателей «ВРП на душу населения» в разрезе экономических районов России за период 1995–2018 гг., руб

Источник: рассчитано авторами на основе данных Росстата: Федеральная служба государственной статистики: Электронный ресурс: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 04.07.2021).

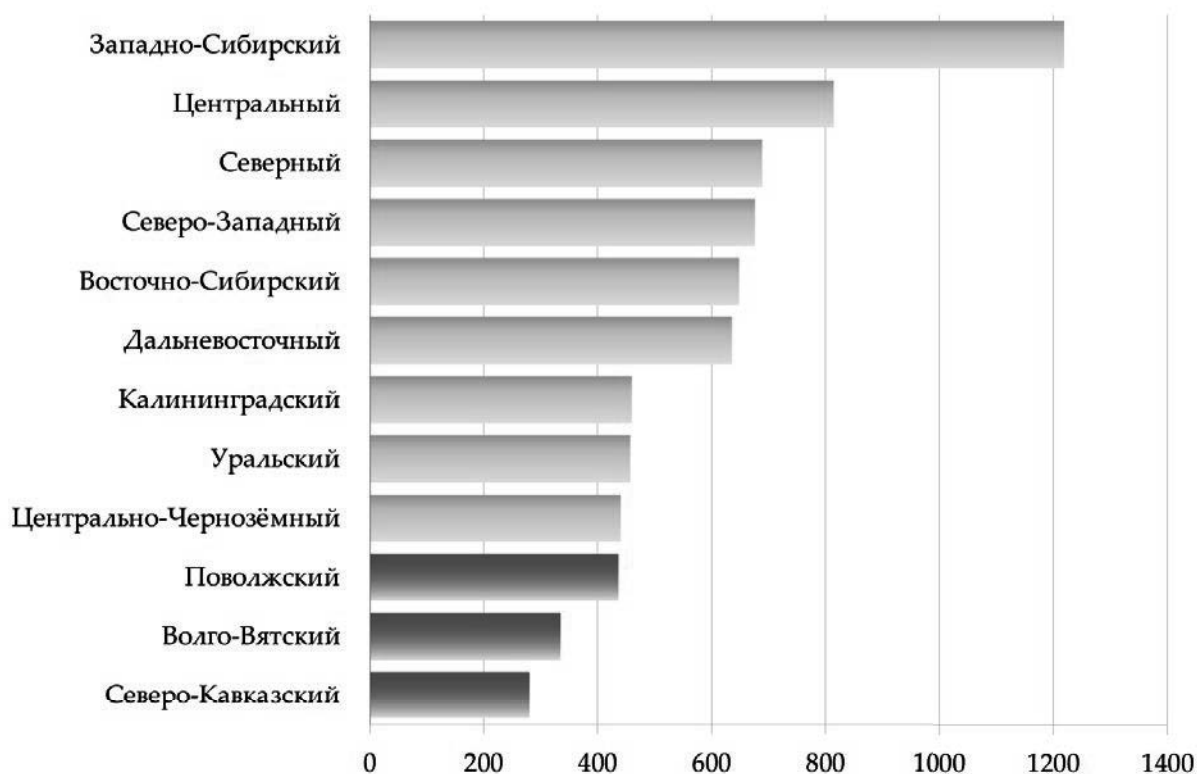


Рисунок 3.38. ВРП на душу населения в разрезе экономических районов России в 2018 г., тыс. руб. Источник: рассчитано авторами на основе данных Росстата: Федеральная служба государственной статистики: Электронный ресурс: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 04.07.2021).

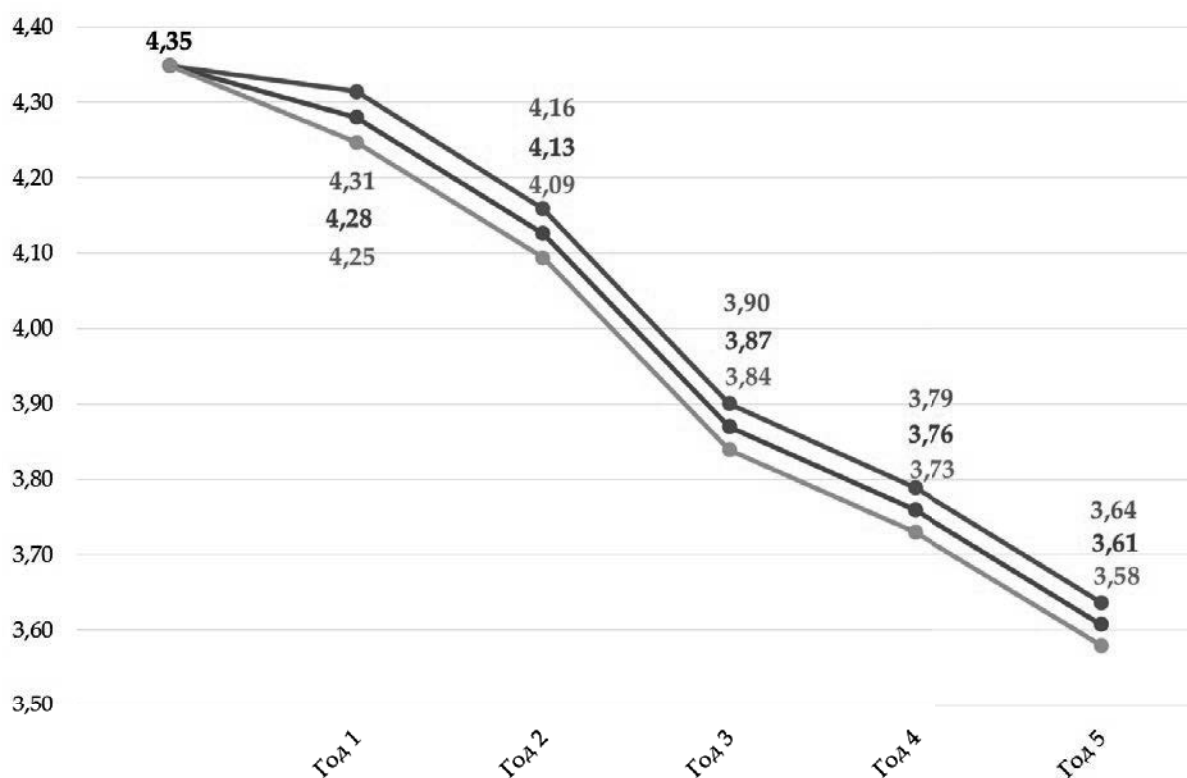


Рисунок 3.39. Результаты вычислительных экспериментов — различия показателей «ВРП на душу населения» в разрезе экономических районов России, раз Источник: рассчитано авторами с помощью модели.

На рисунке 3.39 приведены полученные результаты для пятилетнего периода реализации обозначенного механизма. При этом предполагается инерционность развития социально-экономической системы, т. е. последствия других воздействий не оцениваются, и расчеты показывают чистое влияние снижения изымаемых налоговых платежей.

Полученные результаты демонстрируют возможность выравнивания уровня регионального развития, хотя при формулировке сценариев было сделано допущение о неизменности прочих факторов, которые могут оказывать сильное влияние на динамику социально-экономических систем. Также отметим, что реализация данного механизма позволила не только снизить межрегиональную дифференциацию, но и увеличить прирост ВВП всей страны в среднем на 0,4 процентного пункта в год. Но здесь нужно подчеркнуть, что данный эксперимент проводился не столько для досконального изучения обозначенного вопроса региональной экономической политики, сколько для демонстрации одной из многочисленных возможностей МФП.

3.5.6. Выводы

Проведенное исследование — как по построению МФП, так и по оценке межрегиональной торговли — выявило два главных проблемных вопроса.

Во-первых, для России и ее регионов на регулярной основе не проводится работа по составлению не только МФП, но и более простых таблиц «затраты — выпуск». Имеющиеся разработки носят во многом случайный характер, они не согласованы друг с другом как по набору учитываемых институциональных единиц, так и по рассматриваемому временному периоду. По нашему мнению, этот процесс должен быть нормативно урегулирован и отлажен. У истоков описываемого в статье инструментария стоял наш бывший соотечественник — лауреат Нобелевской премии В. В. Леонтьев, но по факту МФП гораздо в большей степени разрабатываются и используются за рубежом, и этот дисбаланс необходимо изменить. Важно рассматривать эволюцию этих матриц во времени, поскольку такой анализ может позволить определить направление и скорость происходящих в стране трансформаций. Также целесообразно ввести в практику государственного управления использование МФП в составе математических моделей для оценки эффективности принимаемых решений.

Во-вторых, оценка степени связности территорий России подтвердила риски целостности государства и потенциальную угрозу национальной безопасности. Экономическое пространство страны во многом определяется двумя экономическими районами — Центральным и Поволжским, притом что некоторые территории (в первую очередь Дальневосточный район) практически не связаны с другими. На наш взгляд, такая оценка должна проводиться на постоянной основе. Кроме того, регулярно должны реализовываться меры по укреплению межрегиональных связей, а также по снижению уровня дифференциации в развитии субъектов страны.

ГЛАВА 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЗОВЫХ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИЛЫ И НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ²⁸⁹

4.1. Основные подходы к оценке национальной силы в рамках стратегического противоборства и конкуренции стран мира

В марте 2019 г. было подписано соглашение о создании совместной лаборатории между Управлением информационных систем Службы специальной связи и информации Федеральной службы охраны Российской Федерации и ФГБУН Центральный экономико-математический институт РАН (Лаборатория компьютерного моделирования социально-экономических процессов).

Одним из направлений совместных исследований является разработка программно-аналитического комплекса для оценки, мониторинга и прогноза интегрального показателя национальной силы России.

Показатель *национальной силы* в настоящее время является наиболее информативным и популярным в мире индикатором, интегрально характеризующим совокупный потенциал конкретной страны, одновременно позволяющим сравнивать уровень ее мощи и социально-экономического развития с другими государствами. Так, в работе RAND corporation²⁹⁰ “Measuring National Power” отмечается чрезвычайная важность регулярной оценки и анализа показателя национальной силы для корректировки стратегических документов, связанных с долгосрочным развитием страны, а также ее внешней политикой²⁹¹.

При этом значение национальной силы по имеющейся у RAND corporation модели оценивается на основе восьми групп показателей: внутренних социально-политических, внешнеполитических, демографических, экономических, сельскохозяйственных, энергетических, технологических и экологических. Полученные результаты демонстрируют гегемонию США над остальным миром, а показатель национальной силы России уступает аналогичному показателю США приблизительно в 10 раз.

Однако далеко не все оценки национальной силы дают схожие результаты. Здесь следует отметить, что одна из первых формул для вычисления национальной силы была предложена в 1741 г., а всего на данный момент их несколько десятков.

В большом количестве публикаций для оценки национальной силы использовалась одна переменная (к примеру, площадь территории, ВВП, военные расходы, государственные расходы, производство электроэнергии, стали и др.), и основной аргумент в пользу такого подхода заключается в том, что при сведении к единому показателю множества разнородных компонент теряется их первоначальный смысл, а интегральное значение трудно интерпретировать в силу субъективности набора влияющих факторов и их весов. С другой стороны, по мнению приверженцев этого подхода, такие крупные агрегаты, как ВВП или объем производства стали, косвенно уже включают в себя многие второстепенные показатели, поэтому использование многомерных наборов данных и математических методов статистического анализа является избыточным²⁹². Тем не менее большинство исследователей придерживаются противоположной точки зрения, поскольку современный мир является сложным и сложность его постоянно возрастает, как и отношения между странами, поэтому использование одной переменной для измерения национальной силы является заведомым упрощением и сильно ограничивает ее объективную оценку, поскольку она должна быть многосторонней и охватывать различные аспекты развития страны (социальные, экономические, военные, территориальные и др.).

²⁸⁹ Исследование выполнено совместно с Н. И. Ильиным, Е. Д. Сушко и Б. Р. Хабриевым.

²⁹⁰ Стратегический научно-исследовательский центр, работающий по заказам органов государственной власти США.

²⁹¹ Treverton, Gregory F. and Seth G. Jones (2005): Measuring National Power, Santa Monica, Calif.: RAND Corporation, CF-215, 2005. As of March 17, 2021: https://www.rand.org/pubs/conf_proceedings/CF215.html (дата обращения: 25.03.2021).

²⁹² Merritt Richard L., Zinnes Dina A. (1989). Alternative Indexes of National Power // in Richard J. Stoll and Michael D. Ward (eds.), Power in World Politics (Boulder: Lynne Rienner, 1989), p. 11–28.

В работе “Validity of power indices”²⁹³ были рассчитаны коэффициенты корреляции между интегральными значениями национальной силы, приведенными в наиболее цитируемых работах. Усредненное значение коэффициентов корреляции получилось равным 0,796, причем для стран с высокими показателями национальной силы среднее значение коэффициента корреляции — 0,821, а для стран с низкими показателями — 0,459. Авторы исследования выдвинули версию о том, что аналитики более осведомлены о ситуации в мощных государствах, нежели в слабых. Кроме того, в качестве объяснений была предложена гипотеза о том, что для стран с разным уровнем развития некорректно использовать один и тот же набор показателей, да еще и с одинаковыми весами.

Эндрю Маршалл, математик, стратег в области внешней политики и директор (с 1975 по 2013 г.) главного управления военных оценок Министерства обороны США (United States Department of Defense’s Office of Net Assessment), мозгового центра Пентагона, в свое время предсказал несколько ключевых моментов мировой истории (к примеру: 1) распад СССР, который, по его мнению, должен был произойти с высокой вероятностью после предварительного ослабления советской экономики в процессе гонки вооружений; 2) повышение геополитической роли Китая и др.). Хотя по понятной причине большинство работ Маршалла засекречено, в доступных публикациях он неоднократно писал о необходимости осуществления всесторонней оценки национальной силы и ее составляющих у возможных противников, и в первую очередь СССР. В частности, он отмечал, что в силу различия методологий и понимания приоритетов в развитии страны, советские оценки существенно отличаются от американских, а для планирования эффективной военной стратегии США необходимо полноценно учитывать расхождения в соответствующих оценках²⁹⁴.

Американский геополитик и один из основателей направления политического реализма, Николас Джон Спикмэн, в своей работе «Американская стратегия в мировой политике: США и баланс сил» предложил 11 факторов, относящихся к пяти категориям: 1) географические (площадь, тип границ, природные ресурсы); 2) демографические (количество населения, этническая однородность); 3) военные (численность вооруженных сил); 4) экономические (интегральный показатель экономического и технологического развития, интегральный показатель финансовой устойчивости); 5) психологические (показатели социальной интеграции, политической стабильности и уровня патриотизма). Как мы видим, он уделял большое внимание психологическим факторам и считал их ключевыми в межстрановом противостоянии, отмечая, что эффективным средством ослабления государства является подрыв национальной сплоченности его населения, но при этом подчеркивал, что эти составляющие национальной силы крайне сложно формализовать²⁹⁵.

Основоположник политического реализма и один из ведущих экспертов США по вопросам внешней политики, Ганс Моргентау, в первом издании бестселлера по теории международной политики «Политические отношения между нациями. Борьба за власть и мир»²⁹⁶ предложил следующие элементы национальной силы: 1) география; 2) природные ресурсы; 3) промышленный потенциал; 4) военный потенциал; 5) население; 6) национальный характер; 7) общественная мораль; 8) качество дипломатии, а во втором издании добавил еще один элемент: 9) качество государственного управления²⁹⁷. Отмечая важность каждого из перечисленных составляющих национальной силы, Моргентау подчеркивал, что первые пять из них можно непосредственно определить, основываясь на статистических данных, а остальные четыре — только с помощью опросов.

²⁹³ Merritt Richard L., Zinnes Dina A. (1988). Validity of power indices. *International Interactions*. 14. 141–151. 10.1080/03050628808434697.

²⁹⁴ Marshall A. W. (1982). A Program to Improve Analytic Methods related to Strategic Forces // *Policy Sciences* 15 (1), 47–50. <https://doi.org/10.1007/BF00143367>.

²⁹⁵ Spykman Nicholas John (1942). *America’s Strategy in World Politics: The United States and the Balance of Power* (1942; reprint, Hamden, CT: Archon Books, 1970).

²⁹⁶ Morgenthau Hans J. (1948). *Politics among Nations: The Struggle for Power and Peace*, 1st edition. New York: Alfred A. Knopf.

²⁹⁷ Morgenthau Hans J. (1954). *Politics among Nations: The Struggle for Power and Peace*, 2nd edition. New York: Alfred A. Knopf.

Известный американский политолог, основатель теории неореализма Кеннет Нил Уолтц определял национальную силу как агрегатор нескольких факторов: 1) численность населения; 2) размер территории; 3) ресурсная обеспеченность; 4) экономический потенциал; 5) военная мощь; 6) политическая стабильность; 7) компетентность государственного управления²⁹⁸. Как мы видим, первые пять элементов практически соответствуют предлагаемым Моргентау факторам, а остальные два также могут быть отождествлены с показателями, отражающими национальный характер, общественную мораль и качество дипломатии. Вместе с тем Уолтс отмечал, что для мирового первенства необходимо лидировать во всех семи областях, а превосходство лишь в некоторых из них не сможет компенсировать отставания в других. Кроме того, он подчеркивал необходимость использования нелинейных формул оценки интегрального показателя с использованием меняющихся с течением времени весов отдельных факторов.

Автор теории наступательного реализма, американский политолог Джон Миршаймер в отличие от Уолтца рассматривал только материальные факторы национальной силы и в 2001 г. предложил следующие ее компоненты: 1) ВВП; 2) численность населения; 3) численность вооруженных сил; 4) количество ядерных боеголовок²⁹⁹.

В работе немецкого исследователя Карла Германна Хёна на основе анализа более 600 публикаций, так или иначе связанных с измерением национальной силы, были оценены соответствующие формулы на предмет способа их вычисления, а также страновой принадлежности авторов³⁰⁰. В таблице 4.1 приведена информация о наиболее известных авторах соответствующих формул, их страновой принадлежности и количестве переменных, используемых в оценке национальной силы. Так, весовые коэффициенты 73% формул оценивались экспертами, у 10% — посредством опросов, а для 17% использовались процедуры статистического анализа. Что касается стран, то 37% формул предложено специалистами из США, 16% — из Китая, 7% — из Германии, 6% — из Японии, 5% — из Бразилии, 5% — из Польши, 4% — из России (и СССР), 4% — из Индии, 3% — из Южной Кореи, 3% — из Великобритании, 2% — из Канады, 1% — из Тайваня, 1% — из Франции, 1% — из Ирана, 1% — из Австралии, 1% — из Аргентины, 1% — из Кувейта, 1% — из Турции, 1% — из Азербайджана. Как мы видим, большинство исследований проводилось и проводится в США и Китае, и это означает, что наиболее могущественные страны чаще других осуществляют измерение этого показателя.

Таблица 4.1. Информация о наиболее известных методиках оценки национальной силы

Автор(-ы) методики	Страновая принадлежность автора(-ов)	Количество переменных
Иоганн Петер Зюсмилх (<i>Johann Peter Süßmilch</i>), 1741	Германия	2
Фердинанд Фриденсбург (<i>Ferdinand Friedensburg</i>), 1936	Германия	2
Джон Куинси Стюарт (<i>John Quincy Stewart</i>), 1945, 1954	США	3
Филип Куинси Райт (<i>Philip Quincy Wright</i>), 1955	США	2
Фрэнк Клиффорд Герман (<i>Frank Clifford German</i>), 1960	Великобритания	20
Гарольд Стер Гетцков (<i>Harold Steere Guetzkow</i>), 1963	США	5
Джон Питер Коул (<i>John Peter Cole</i>), 1963	Великобритания	3–6
Шимбори Мичия (<i>Shimbori Michiya</i>), 1963	Япония	5
Сол Бернارد Коэн (<i>Saul Bernard Cohen</i>), 1963	США	7–9
Вильгельм Факс (<i>Wilhelm Fucks</i>), 1965	Германия	2
Саймон Шварцман (<i>Simon Schwartzman</i>), Мора-и-Араужу Мануэль (<i>Mora y Araujo Manuel</i>), 1965	Бразилия, Аргентина	3
Аллен Мэйхью Шинн (<i>Allen Mayhew Shinn</i>), 1969	США	3

²⁹⁸ Waltz Kenneth H. (1979). *Theory of International Politics*. Addison-Wesley Publishing Company.

²⁹⁹ Mearsheimer John J. (2001). *The Tragedy of Great Power Politics*. New York, London: W. W. Norton & Company, 2001.

³⁰⁰ Höhn Karl Hermann (2011). *Geopolitics and the Measurement of National Power* // PhD dissertation, University of Hamburg.

Автор(-ы) методики	Страновая принадлежность автора(-ов)	Количество переменных
Норман Зинкан Алкок (<i>Norman Zinkan Alcock</i>), Алан Дж. Ньюкомб (<i>Alan G. Newcombe</i>), 1970	Канада	2-3
Джоэл Дэвид Сингер (<i>Joel David Singer</i>), 1972	США	6
Рудольф Джозеф Руммель (<i>Rudolph Joseph Rummel</i>), 1972	США	236
Уэйн Гарри Феррис (<i>Wayne Harry Ferris</i>), 1972	США	8
Роберт Уорбертон Кокс (<i>Robert Warburton Cox</i>), Гарольд Каран Джекобсон (<i>Harold Karan Jacobson</i>), 1973	Канада, США	5
Ричард Ньютон Роузкранс (<i>Richard Newton Rosecrance</i>), Алан Александров (<i>Alan Alexandroff</i>), Брайан Хили (<i>Brian Healy</i>), Артур Стейн (<i>Arthur Stein</i>), 1974	США	25
Ричард Эрнест Мьюир (<i>Richard Ernest Muir</i>), 1975	Великобритания	5
Рэй Штайнер Клайн (<i>Ray Steiner Cline</i>), 1975	США	12
Манус И. Мидларский (<i>Manus I. Midlarsky</i>), 1975	США	7
Джонатан Уделл (<i>Jonathan Udell</i>), 1975	США	3
Томас Лори Саати (<i>Thomas Lorie Saaty</i>), Мохамад У. Ходжа (<i>Mohamad W. Khouja</i>), 1976	США, Кувейт	5
Абрамо Фимо Кеннет Органски (<i>Abramo Fimo Kenneth Organski</i>), Яцек Куглер (<i>Jacek Kugler</i>), 1978	США	9
Лю Бен-Цзе (<i>Liu Ben-Chieh</i>), 1978	Тайвань	5
Ланселот Л. Фаррар (<i>Lancelot L. Farrar</i>), 1981	США	2
Питер Р. Бекман (<i>Peter R. Beckman</i>), 1984	США	3-5
Агентство экономического планирования (сейчас в составе Министерства экономики, торговли и промышленности; <i>The Economic Planning Agency</i>), 1987	Япония	17
Дин Фэнцзюнь (<i>Ding Fengjun</i>), 1987	Китай	7
Хуан Шуофэн (<i>Huang Shuofeng</i>), 1989	Китай	7
Ричард Дж. Столл (<i>Richard J. Stoll</i>), 1989	США	6-22
Ю Хонги (<i>Yu Hongyi</i>), Ван Юди (<i>Wang Youdi</i>), 1989	Китай	4
Майкл П. Салливан (<i>Michael P. Sullivan</i>), 1990	США	3
Мирослав Сулек (<i>Miroslaw Sulek</i>), 1990	Польша	3
Чжан Венкуй (<i>Zhang Wenkui</i>), 1991	Китай	12
Стивен Барсия (<i>Stephen Barcia</i>), 1993	США	5
Ван Сонгфен (<i>Wang Songfen</i>), 1996	Китай	64
Ян Сюэтон (<i>Yan Xuetong</i>), 1996	Китай	6
Оу-Ян Го-Хуа (<i>Ou-yang Guo-hua</i>), Ван Цихуа (<i>Wang Qihua</i>), 1997	Китай	38
Владимир Рубенович Хачатуров, 1997	Россия	4
Жан-Ив Каро (<i>Jean-Yves Caro</i>), 1998	Франция	4
Чжу Сянь (<i>Zhu Xian</i>), Сяо Лачжэнь (<i>Xiao Lazhen</i>), 1999	Китай	11
Чин-Лунг Чанг (<i>Chin-Lung Chang</i>), 1999	Тайвань	5
Эшли Дж. Теллис (<i>Ashley J. Tellis</i>), Дженис Л. Биалли (<i>Janice L. Bially</i>), 2000	США	25
Индекс национальной безопасности Индии (<i>The Indian National Security Index</i>), 2002	Индия	8-17
Ху Анганг (<i>Hu Angang</i>), Мэн Хунхуа (<i>Men Honghua</i>), 2002	Китай	23
Хай Пин (<i>Hai Ping</i>), Юнь Пин (<i>Yun Ping</i>), Ван Цзинтао (<i>Wang Jingtao</i>), 2003	Китай	6

Автор(-ы) методики	Страновая принадлежность автора(-ов)	Количество переменных
Джон Д. Спаркс (<i>John D. Sparks</i>), Гильберт Гейтс (<i>Guilbert Gates</i>), 2003	США	22
Томас Джон Волги (<i>Thomas John Volgy</i>), 2003	США	2
Национальный институт продвинутых исследований (<i>The National Institute for Research Advancement</i>), 2004	Япония	103
Александр Иванович Агеев, 2004	Россия	48
Арвинд Вирмани (<i>Arvind Virmani</i>), 2004	Индия	2
Содекава Йошиюки (<i>Sodekawa Yoshiyuki</i>), 2004	Япония	39
Рейтинг военной силы (<i>Global Firepower</i>), 2005	США	55
Грегори Ф. Тревертон (<i>Gregory F. Treverton</i>), Сет Джонс (<i>Seth G. Jones</i>), 2005	США	5
Рейнальдо Гонсалвес (<i>Reinaldo Gonçalves</i>), 2005	Бразилия	3
Ван Дефа (<i>Wang Defa</i>), 2006	Китай	128
Сайед Хади Заргани (<i>Sayed Hadi Zarghani</i>), Мохаммед Реза Хафезния (<i>Mohammad Reza Hafeznia</i>), 2006	Иран	86
Хон Карл Германн (<i>Höhn Karl Hermann</i>), 2006	Германия	8
Ким Хен Мин (<i>Kim Hyung Min</i>), 2007	Республика Корея	6
Дейв МакКул (<i>Dave McCool</i>), Ральф Герт (<i>Ralph Gerth</i>), Найл Фергюсон (<i>Niall Ferguson</i>), 2007	США, Великобритания	4
Витольд Мачей Орловский (<i>Witold Maciej Orłowski</i>), 2007	Польша	8–11
Андрей Юрьевич Мельвиль, 2007	Россия	13
Збигнев Лах (<i>Zbigniew Lach</i>), Юлиан Скрип (<i>Julian Skrzyp</i>), Анджей Лашук (<i>Andrzej Łaszczuk</i>), 2008	Польша	8
Ханьсунский фонд свободы и счастья (<i>The Hansun Foundation for Freedom & Happiness</i>), 2009	Республика Корея	13
Дхрува Джайшанкар (<i>Dhruva Jaishankar</i>), 2009	Индия	4
Ахмет Давутоглу (<i>Ahmet Davutoğlu</i>), Кенан Асланлы (<i>Kenan Aslanli</i>), 2009	Турция, Азербайджан	10
Дэнни Захреддин (<i>Danny Zahreddine</i>), Наталья Рибейро Гомиде (<i>Nathália Ribeiro Gomide</i>), 2009	Бразилия	25
Каролина Милевич (<i>Karolina Milewicz</i>), Арне Нотдурфт (<i>Arne Nothdurft</i>), 2009	Польша, Германия	10
Натали Торреао Серрао (<i>Nathalie Torreão Serrão</i>), Вальдимир Пирро и Лонго (<i>Waldimir Pirró e Longo</i>), 2009	Бразилия	186
Джонатан Д. Мойер (<i>Jonathan D. Moyer</i>), Аланна Маркл (<i>Alanna Markle</i>), 2018	США	20
Роберт Бялоскорски (<i>Robert Białoskórski</i>), Лукаш Кичма (<i>Łukasz Kiczma</i>), 2019	Польша	5

* Информация в таблице сформирована на основе данных Карла Германна Хёна³⁰¹, Сайед Хади Заргани³⁰², а также посредством поиска в Интернете наиболее цитируемых публикаций в этой области по состоянию на февраль 2021 г.

Число учитываемых в методиках факторов варьируется от 2 до 236, причем если условно разделить временной период 1741–2020 гг. на два интервала — доинтернетную эпоху и эпоху повсеместного распространения Интернета, то усредненное количество учитываемых компонент

³⁰¹ Höhn Karl Hermann (2011). Geopolitics and the Measurement of National Power // PhD dissertation, University of Hamburg.

³⁰² Zarghani Seyed Hadi (2017): Designing a New Model to Measure National Power of the Countries // Электронный ресурс: <https://www.researchgate.net/publication/321251360> (дата обращения: 25.03.2021).

в каждом из них составляет соответственно 13 и 28. Это является следствием, во-первых, возрастания вычислительных возможностей используемых для расчета компьютеров, во-вторых, доступностью собираемых статистических данных и расширением их перечня, а в-третьих, увеличивающейся многогранностью социально-экономических систем.

На основе анализа перечисленных в таблице 4.1 методик выделим наиболее часто используемые факторы национальной силы, сформулированные в виде обобщенных компонент: территория, население, ВВП, промышленное производство, военные расходы, вооруженные силы, затраты на исследования и разработки, объем инвестиций, потребление энергии, производство зерна, производство стали.

Приведение здесь всех формул, используемых в перечисленных выше методиках, с одной стороны, заняло бы слишком много места, а с другой — не имеет особого смысла, поскольку каждая из зависимостей субъективна и не может рассматриваться в качестве основополагающей для измерения национальной силы. Но для получения некоторого представления о способе сведения учитываемых компонент в интегральный индекс приведем здесь информацию о методе вычисления *сводного индекса национального потенциала* (Composite Index of National Capability, CINC), предложенного Джоэлом Дэвидом Сингером, применяемого для оценки национальной силы стран мира и являющегося одним из самых цитируемых³⁰³. Он вычисляется по следующей формуле:

$$CINC = (ME + MP + SP + EC + UP + TP)/6,$$

где *ME* — военные расходы (military expenditure), в процентах от мирового объема; *MP* — военнослужащие (military personnel), в процентах от их общего числа в мире; *SP* — производство стали (steel production), в процентах от мирового объема; *EC* — потребление энергии (energy consumption), в процентах от общемирового потребления; *UP* — городское население (urban population), в процентах от общемирового числа городских жителей; *TP* — численность населения страны (total population), в процентах от общей численности жителей мира.

Как мы видим, индекс многого не учитывает, а кроме того, сразу возникает вопрос: почему все составляющие национальной силы имеют одинаковый вес?

Рассматривать достоинства и недостатки каждой из разработанных к настоящему моменту методик расчета национальной силы большого смысла не имеет, поэтому запишем общие **выводы**:

1. Измерение национальной силы, с одной стороны, вызывает большой интерес для широкого круга специалистов в области геополитики, международных отношений, экономики, математики и др., а с другой — представляет вычислительную сложность, поскольку этот интегральный показатель зачастую сочетает в себе количественные и качественные факторы, которые проблематично свести воедино. С одной стороны, сложно количественно выразить такие понятия, как моральный дух, патриотизм и т. д., а с другой — отдельную проблему представляет корректное взвешивание отобранных составляющих национальной силы. Но даже после этой процедуры неочевидна правомерность сложения в единый интегральный показатель многих сильно различающихся по составу факторов — к примеру, численность населения, количество истребителей, объем добычи угля и др.³⁰⁴

2. Часть работ являются теоретическими, и в них рассматриваются компоненты национальной силы, не имеющие количественного представления. Тем не менее практически во всех исследованиях отмечается чрезвычайная актуальность ее всесторонней оценки, поскольку для успешного межстранового противостояния необходимо иметь объективную оценку всех имеющихся у предполагаемых противников ресурсов.

3. На набор компонент существенно влияет специализация исследователей. Так, экономисты в первую очередь ориентируются на экономические индикаторы, представители военных про-

³⁰³ Singer J. David, Bremer Stuart, Stuckey John. (1972). Capability Distribution, Uncertainty, and Major Power War, 1820–1965// In: Russett, Bruce M. ed. Peace, War, and Numbers. Beverly Hills: Sage Publications, 19–48.

³⁰⁴ Muir Richard Ernest (1975). Modern Political Geography. London: Macmillan.

фессий в большей степени оперируют показателями, связанными с численностью вооруженных сил, и т. д.

4. Число рассматриваемых в исследованиях компонент с течением времени увеличивается за счет прироста производительности используемых компьютеров, а также возрастания сложности описываемых социально-экономических систем и отношений между ними.

5. В большинстве случаев (более 80%) факторные веса формул оценивались посредством оценок узкого круга экспертов или усредненных результатов опросов более широкого числа респондентов. Недостаток этого подхода заключается в субъективизме при определении в конечном счете значения интегрального показателя.

6. При анализе результатов большинства работ складывается явное ощущение ангажированности авторов в пользу государств, которые они представляют. Так, американские исследователи зачастую переоценивают роль своей страны в мировом балансе сил, в то время как остальные более реалистично подходят к измерению национальной силы США, тем не менее признавая их лидерство в отдельных вопросах.

Учитывая вышесказанное, сформулируем *принципы*, которых мы будем придерживаться при построении показателя национальной силы.

1. Обязательное использование методов многомерного статистического анализа. Это позволит в некоторой степени снять проблему субъективизма (присущую экспертным методам, широко используемым в решении подобных задач) при оценке вклада факторов в интегральный показатель.

2. Принимая во внимание предыдущий пункт, а также механизм расчета компонент национальной силы, при котором они являются зависимыми от значений аналогичных показателей других стран мира, мы предполагаем формирование комплексной базы данных и обязательный расчет показателей национальной силы для всех государств — членов ООН.

3. Для оценки национальной силы целесообразно использовать в большей степени базовые показатели, определяющие потенциал страны (наличие ресурсов, территорию, численность населения и т. д.), а не конъюнктурные переменные, часто меняющиеся в зависимости от складывающейся на текущий момент ситуации. Это принципиально отличает их от показателей, используемых различными рейтинговыми агентствами, которые оценивают страны по уровню жизни, легкости ведения бизнеса и т. д. При отборе компонент национальной силы будут учтены лучшие мировые практики, т. е. мы будем использовать научно обоснованные показатели, наиболее часто применяемые авторитетными аналитическими агентствами и исследователями.

4. Рядом исследователей отмечается важность использования интегрального показателя национальной силы в качестве эндогенной переменной в составе сложных имитационных моделей с целью как объяснения исторических процессов (причин ослабления государств, их подъема и т. д.) и анализа эффективности государственной политики, так и прогнозирования дальнейшего развития и определения корректирующих воздействий³⁰⁵. В этой связи мы увяжем в единый программно-аналитический комплекс интегральный показатель национальной силы и симулятор социально-экономической динамики для более чем 100 стран мира (Social Economic Dynamics, SED model), разработанный IT-компанией Guangzhou Milestone Software Co., Ltd при поддержке Национального суперкомпьютерного центра Китая и Академии общественных наук Китая^{306, 307}.

5. Интегральные показатели национальной силы по странам — членам ООН предполагается рассчитать для периода с 2010 г., что позволит в дальнейшем на постоянной основе осущест-

³⁰⁵ Michalik Dariusz (2010). Modelowanie międzynarodowego układu sił z wykorzystaniem syntetycznych miar potęgi. PhD dissertation. Warszawa: Uniwersytet Warszawski.

³⁰⁶ Makarov V. L., Wu J., Wu Z., Bakhtizin A. R., Khabriev B. R. Modern Tools for Evaluating the Effects of Global Trade Wars. Her. Russ. Acad. Sci. 89, 432–440 (2019). <https://doi.org/10.1134/S1019331619040063>.

³⁰⁷ Makarov V. L., Wu J., Wu Z., Bakhtizin A. R., Khabriev B. R. World Trade Wars: Scenario Calculations of Consequences. Her. Russ. Acad. Sci. 90, 88–97 (2020). <https://doi.org/10.1134/S1019331620010207>.

влять не только их мониторинг, но и прогнозирование с использованием разработанного программно-аналитического комплекса.

Для построения интегрального индекса были использованы данные из источников, приведенных в таблице 4.2.

Следует отметить, что из-за рассогласования в работе органов государственной статистики разных стран мира необходимая для проведения расчетов информация поступает со значительным лагом. Таким образом, на текущий момент самые свежие данные ограничиваются 2019 г. В то же время в силу особенностей используемых показателей, не особо подверженных текущей конъюнктуре, можно сделать допущение о том, что полученные в итоге результаты не теряют актуальности в течение нескольких лет. Тем не менее с использованием разработанного нами комплекса SED мы рассчитаем показатели национальной силы для 2020 г., а также дадим его прогноз до 2025 г. в зависимости от наиболее вероятного, с нашей точки зрения, сценария мировой динамики.

Перечислим предлагаемые показатели, сгруппированные по тематическим блокам:

1. Географические характеристики:

- площадь территории, км²;
- сельскохозяйственные угодья, км²;
- лесные земли, км².

2. Природные ресурсы:

- запасы золота, т;
- доказанные запасы природного газа, трлн футов³;
- доказанные запасы нефти, млрд баррелей.

3. Население и труд:

- численность населения, человек;
- численность рабочей силы, человек;
- ожидаемая продолжительность жизни при рождении, лет.

4. Экономические показатели:

- валовой внутренний продукт, рассчитанный по паритету покупательной способности в текущих ценах, долларов;
- производство стали, т;
- производство зерна, т;
- валовая добавленная стоимость в промышленном производстве в текущих ценах, долларов;
- валовое накопление основного капитала в текущих ценах, долларов;
- денежная масса, % к ВВП.

5. Вооруженные силы:

- военные расходы в текущих ценах, долларов;

Таблица 4.2. Источники данных, использованных для расчета индекса национальной силы стран мира

Название	Интернет-ресурс
База данных Всемирного банка (<i>The World Bank</i>)	https://data.worldbank.org
Статистические ежегодники мировой энергетики (<i>Global Energy Statistical Yearbook</i>) за ряд лет	https://yearbook.enerdata.net
Издания всемирной ассоциации производителей стали (<i>World Steel Association</i>) или ассоциации <i>WorldSteel</i> за ряд лет	https://www.worldsteel.org
Ежегодные доклады серии «Военный баланс» (<i>The Military Balance</i>), издаваемые Международным институтом стратегических исследований (<i>International Institute for Strategic Studies, IISS</i>)	https://www.iiss.org/publications/the-military-balance
База данных Всемирного совета по золоту (<i>World Gold Council</i>)	https://www.gold.org
База данных Управления энергетической информации США (<i>The U.S. Energy Information Administration</i>)	https://www.eia.gov

- численность личного состава вооруженных сил, человек.

6. Наука и инновации:

- численность исследователей, выполнявших исследования и разработки, человек;
- численность техников, выполнявших исследования и разработки, человек;
- внутренние затраты на исследования и разработки, % к ВВП;
- экспорт высокотехнологичных товаров в текущих ценах, долларов;
- статьи в научных журналах, единиц.

Наиболее подходящим методом свертки массива показателей является факторный анализ, позволяющий снизить размерность исходного набора данных и получить объединенную переменную. При использовании этого способа многомерной обработки статистической информации был применен метод главных компонент. Также отметим, что перед проведением факторного анализа все переменные были стандартизованы посредством z-оценивания.

Процедура обработки исходного массива включает в себя два этапа.

Этап 1. Вычисление интегральных индексов для каждой из приведенных выше групп.

Этап 2. Расчет показателей национальной силы путем свертки групповых интегральных индексов.

Все перечисленные индексы и показатели были получены для 193 стран — членов ООН, но для экономии места в результирующих таблицах мы будем рассматривать только первые 15 стран-лидеров, а информацию для всех государств приведем в виде информационной карты мира, раскрашенной в зависимости от соответствующих значений. Расчеты будем осуществлять для каждого года в интервале с 2010 по 2020 г.

Интегральные индексы первой группы приведены в таблице 4.3. Числовые значения представляют собой безразмерные величины главной компоненты, вычисленной в процессе факторного анализа и в дальнейшем нормированной таким образом, чтобы сумма этого показателя для всех 193 стран равнялась 100. Таким образом, мы наглядно увидим процентную долю соответствующей страны в мировом масштабе, а последняя строка таблицы представляет сумму рассматриваемого интегратора для 15 стран-лидеров. По такому же принципу сформированы таблицы 4.4, 4.6, 4.8, 4.10, 4.11 и 4.12.

Показатели первой группы вполне ожидаемо стабильны на протяжении рассматриваемого периода, поэтому их можно интерпретировать практически как константы, а интерес представ-

Таблица 4.3. Интегральные индексы первой группы показателей («Географические характеристики») для 15 стран-лидеров

Страны	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Россия	12,57	12,50	12,50	12,50	12,50	12,52	12,52	12,52	12,53	12,35	12,35
Китай	7,67	7,63	7,64	7,65	7,65	7,73	7,73	7,74	7,76	7,68	7,68
США	7,59	7,53	7,55	7,54	7,54	7,55	7,55	7,55	7,55	7,45	7,45
Бразилия	7,48	7,44	7,44	7,45	7,46	7,47	7,46	7,47	7,48	7,20	7,20
Канада	6,27	6,23	6,23	6,23	6,22	6,23	6,23	6,23	6,23	6,07	6,07
Австралия	6,00	6,01	5,99	5,96	6,00	5,84	5,86	5,86	5,81	5,78	5,78
Индия	2,53	2,51	2,51	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,49	2,49
Казахстан	2,25	2,24	2,24	2,24	2,24	2,24	2,24	2,24	2,24	2,21	2,21
Аргентина	2,09	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,06	2,06
Демократическая Республика Конго	1,91	1,90	1,90	1,90	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,79	1,79
Саудовская Аравия	1,79	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,76	1,76	1,76	1,76
Мексика	1,70	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,67	1,67	1,67	1,67
Индонезия	1,54	1,54	1,53	1,53	1,53	1,53	1,53	1,57	1,57	1,57	1,57
Алжир	1,35	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,32	1,32	1,32	1,32
Монголия	1,30	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
Суммарный индекс для 15 стран	64,04	63,71	63,71	63,70	63,73	63,70	63,70	63,70	63,69	62,68	62,68

ляют только доли государств-лидеров. Отметим также, что последние охватывают 62,68% перечисленных выше ресурсов.

Во вторую группу показателей мы включили данные по запасам наиболее ценных природных ресурсов (золоту, нефти и газу), а рассчитанные значения соответствующих интегральных индексов приведены в таблице 4.4.

На первом месте за счет самых больших запасов золота (более 8 тыс. т) находятся США, и этим же обстоятельством объясняются высокие места Германии, Италии, Франции, Китая, Швейцарии, Японии и Индии, также обладающих существенными запасами этого металла. Россия, являясь безусловным лидером по запасам природного газа (около 24% от мировых), за счет более низких показателей по запасам нефти (8-е место) и золота (5-е место), суммарно занимает вторую строчку мирового рейтинга. Значения индексов для нее могли быть выше, если бы мы дополнили вторую группу данными по запасам алмазов (первое место в мире с приблизительным объемом 650 млн карат³⁰⁸) и 17 редкоземельных элементов (4-е место в мире³⁰⁹), но статистика по этим ресурсам в силу их редкости собирается для более узкого круга стран (около десяти),

³⁰⁸ По данным одного из крупнейших порталов мировой статической информации — Statista, адрес: <https://www.statista.com>.

³⁰⁹ По данным американской правительственной организации — «Геологическая служба США» (United States Geological Survey), адрес: <https://www.usgs.gov>.

Таблица 4.4. Интегральные индексы второй группы показателей («Природные ресурсы») для 15 стран-лидеров

Страны	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
США	20,60	21,27	21,60	21,01	21,34	21,47	20,91	21,03	21,62	21,31	21,21
Россия	10,10	9,67	9,46	9,68	9,58	9,67	10,21	10,52	10,64	10,97	10,95
Германия	8,06	8,32	8,42	8,20	8,30	8,32	8,17	8,21	8,33	8,16	8,13
Италия	5,80	5,99	6,07	5,93	6,01	6,04	5,93	5,97	6,06	5,96	5,93
Франция	5,75	5,94	6,02	5,88	5,96	5,99	5,89	5,92	6,02	5,91	5,89
Китай	3,09	3,12	3,12	3,21	3,27	4,48	5,14	5,21	5,30	5,45	5,46
Иран	5,65	5,13	5,39	5,46	5,17	4,89	4,95	4,69	4,29	4,05	4,07
Катар	4,48	4,06	3,81	3,79	3,56	3,30	3,35	3,20	2,91	2,80	2,80
Швейцария	2,45	2,54	2,57	2,51	2,54	2,56	2,51	2,53	2,57	2,52	2,51
Саудовская Аравия	3,20	3,04	2,94	2,95	2,83	2,70	2,74	2,66	2,47	2,36	2,40
Япония	1,81	1,87	1,90	1,85	1,87	1,88	1,85	1,86	1,89	1,86	1,85
Индия	1,52	1,55	1,57	1,55	1,57	1,57	1,53	1,52	1,59	1,80	1,79
Венесуэла	2,15	2,51	2,48	2,79	2,67	2,40	2,17	2,06	1,82	1,72	1,72
Нидерланды	1,69	1,71	1,71	1,66	1,63	1,62	1,58	1,59	1,60	1,56	1,50
Казахстан	0,71	0,67	0,72	0,78	0,85	0,92	1,00	1,08	1,17	1,28	1,28
Суммарный индекс для 15 стран	77,05	77,39	77,77	77,25	77,15	77,83	77,91	78,06	78,26	77,72	77,50

Таблица 4.5. Весовые коэффициенты второй группы показателей

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Запасы золота	0,203	0,227	0,241	0,236	0,251	0,266	0,26	0,271	0,298	0,309	0,307
Доказанные запасы природного газа	0,415	0,408	0,404	0,403	0,398	0,396	0,399	0,397	0,395	0,393	0,393
Доказанные запасы нефти	0,382	0,366	0,355	0,362	0,352	0,339	0,341	0,332	0,307	0,298	0,300

и поэтому использование этих данных для факторного анализа может привести к некорректным результатам.

Далее приведем данные по весовым коэффициентам для второй группы показателей, исходя из которых можно сделать вывод о постепенном увеличении влияния показателя «запасы золота» при одновременном снижении значений двух остальных (таблица 4.5).

Таблица 4.6. Интегральные индексы третьей группы показателей («Население и труд») для 15 стран-лидеров

Страны	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Китай	21,14	20,99	20,85	20,68	20,52	20,35	20,19	20,03	19,86	19,70	19,65
Индия	16,92	16,90	16,87	16,90	16,93	16,94	16,95	16,95	16,96	16,80	16,73
США	4,65	4,63	4,61	4,58	4,56	4,54	4,52	4,50	4,48	4,47	4,48
Индонезия	3,56	3,58	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,62	3,63	3,67	3,69
Бразилия	2,90	2,89	2,90	2,89	2,89	2,88	2,87	2,87	2,87	2,88	2,82
Пакистан	2,38	2,41	2,44	2,47	2,49	2,53	2,55	2,58	2,61	2,62	2,64
Нигерия	2,07	2,10	2,13	2,17	2,20	2,23	2,27	2,30	2,34	2,39	2,41
Бангладеш	2,04	2,04	2,05	2,05	2,06	2,06	2,06	2,09	2,09	2,11	2,09
Россия	2,18	2,16	2,14	2,11	2,09	2,07	2,04	2,01	1,99	1,96	1,96
Япония	1,94	1,91	1,89	1,87	1,84	1,82	1,80	1,79	1,76	1,76	1,76
Мексика	1,63	1,64	1,65	1,65	1,65	1,66	1,66	1,66	1,67	1,67	1,65
Эфиопия	1,27	1,29	1,32	1,35	1,37	1,40	1,42	1,45	1,47	1,49	1,51
Вьетнам	1,39	1,39	1,39	1,40	1,40	1,40	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39
Филиппины	1,32	1,34	1,34	1,35	1,36	1,37	1,37	1,36	1,37	1,38	1,39
Египет	1,10	1,11	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17	1,18	1,18	1,19
Суммарный индекс для 15 стран	66,49	66,38	66,31	66,21	66,12	65,99	65,86	65,77	65,67	65,47	65,37

Таблица 4.7. Весовые коэффициенты фактора «Ожидаемая продолжительность жизни при рождении»

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0,039	0,036	0,035	0,032	0,030	0,028	0,026	0,024	0,024	0,022	0,021

Таблица 4.8. Интегральные индексы четвертой группы показателей («Экономические показатели») для 15 стран-лидеров

Страны	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Китай	14,98	15,93	16,83	17,69	18,39	19,33	19,58	20,04	20,77	20,78	20,78
США	17,15	16,41	16,39	16,25	16,30	16,74	16,51	16,23	16,06	16,04	16,03
Индия	5,35	5,30	5,36	5,44	5,68	6,08	6,41	6,64	6,81	6,77	5,84
Япония	6,09	5,80	5,70	5,27	5,00	4,93	4,98	4,74	4,44	4,54	4,53
Германия	3,99	3,99	3,79	3,77	3,78	3,65	3,70	3,68	3,66	3,67	3,64
Россия	3,08	3,44	3,51	3,42	3,19	2,78	2,68	2,77	2,76	2,82	2,83
Индонезия	2,12	2,17	2,22	2,23	2,24	2,30	2,37	2,39	2,41	2,31	2,37
Франция	2,82	2,75	2,60	2,60	2,53	2,43	2,42	2,39	2,37	2,43	2,33
Великобритания	2,56	2,45	2,41	2,42	2,46	2,48	2,39	2,34	2,30	2,37	2,27
Бразилия	3,13	3,14	3,02	2,98	2,87	2,58	2,41	2,37	2,27	2,15	2,12
Республика Корея	1,84	1,79	1,75	1,73	1,74	1,79	1,80	1,99	1,96	1,87	1,91
Италия	2,46	2,37	2,17	2,09	2,00	1,94	1,97	2,05	2,04	1,94	1,84
Мексика	1,92	1,96	1,96	1,91	1,91	1,88	1,84	1,93	1,87	1,84	1,77
Турция	1,36	1,45	1,47	1,55	1,59	1,65	1,65	1,73	1,65	1,61	1,60
Канада	1,81	1,79	1,76	1,74	1,70	1,55	1,55	1,60	1,55	1,50	1,46
Суммарный индекс для 15 стран	70,67	70,74	70,94	71,08	71,38	72,12	72,26	72,90	72,93	72,62	71,31

В свою очередь, интегральные индексы третьей группы показателей приведены в таблице 4.6.

За счет большой численности населения и трудовых ресурсов в лидерах рейтинга оказались Китай и Индия. Также ожидаемо высокие места занимают США, Индонезия и Бразилия, а в совокупности 15 стран-лидеров по группе показателей «Население и труд» охватывают в среднем 65–66% мировых человеческих ресурсов. Для информации отметим, что усредненные весовые коэффициенты первых двух переменных (численность населения и рабочей силы) за рассматриваемый период составили по 0,485, а последний фактор, ожидаемая продолжительность жизни, оказывает влияние на интегральный индекс в соответствии со значениями, приведенными в таблице 4.7.

Можно сделать вывод о том, что последний фактор не только практически не влияет на интегральный индекс, но и что его вес постоянно уменьшается. Далее рассмотрим интегральные индексы четвертой группы, приведенные в таблице 4.8.

Обращает на себя внимание перемена мест между двумя явными лидерами — США и Китаем, произошедшая в 2012 г. и во многом связанная с тем, что Китай обогнал своего основного конкурента по ряду показателей, в первую очередь по ВВП, рассчитанному с учетом паритета покупательной способности (ППС). Также отметим, что разрыв между этими странами год от года растет. В целом же влияние государств-лидеров в сфере экономики год от года усиливается, и в 2020 г. их суммарный индекс составил 71,31. Дополнительно приведем весовые коэффициенты для четвертой группы показателей, рассчитанные в процессе факторного анализа (таблица 4.9). Как мы видим, постоянно усиливается влияние показателя «Производство стали», и одновременно с этим снижается значение «Производства зерна». Также важно отметить, что наибольшая факторная нагрузка у таких показателей, как «ВВП по ППС», «Валовая добавленная стоимость в промышленном производстве» и «Валовое накопление основного капитала».

В таблице 4.10 приведены интегральные индексы пятой группы, по которым видно многократное превосходство США над всеми остальными странами, хотя также необходимо обратить внимание на двукратное увеличение доли Китая за рассматриваемый период. Следует отметить, что в числе показателей не учитывается наличие ядерного оружия, которое, конечно, изменило бы расклад, но вероятность его применения минимальная.

Интегральные индексы шестой группы приведены в таблице 4.11. Обращает на себя внимание значительный отрыв Китая, обусловленный лидерством этой страны в экспорте высокотехнологичной продукции.

Суммарный индекс у пятой и шестой групп показателей государств-лидеров значительно превышает аналогичный показатель для первой, третьей и четвертой групп и охватывает свыше 80% от мирового объема.

И, наконец, приведем результаты расчетов *интегральных показателей национальной силы*, полученных путем свертки групповых индексов, также осуществленной с использованием факторного анализа. Как видно из таблицы 4.12, на данный момент в мире два лидера — США

Таблица 4.9. Весовые коэффициенты четвертой группы показателей

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ВВП по ППС	0,185	0,184	0,184	0,184	0,185	0,183	0,184	0,184	0,184	0,186	0,187
Производство стали	0,166	0,171	0,17	0,172	0,173	0,172	0,172	0,174	0,174	0,175	0,176
Производство зерна	0,167	0,162	0,164	0,164	0,163	0,164	0,163	0,156	0,156	0,161	0,157
Валовая добавленная стоимость в промышленном производстве	0,186	0,187	0,187	0,188	0,187	0,187	0,187	0,186	0,186	0,189	0,189
Валовое накопление основного капитала	0,188	0,189	0,188	0,188	0,187	0,186	0,186	0,185	0,185	0,188	0,188
Денежная масса, % к ВВП	0,108	0,107	0,107	0,104	0,105	0,108	0,108	0,115	0,115	0,102	0,103

и Китай. Разрыв между ними относительно небольшой, а перемена позиций зависит от текущей экономической ситуации. Что касается России, то на текущий момент она находится на четвертом месте среди 193 стран — членов ООН, хотя до 2014 г. включительно была на третьем. Снижение позиций связано с ухудшением показателей всех групп (кроме первой и второй), связанное с санкционным давлением стран «коллективного Запада». Дополнительно следует отметить, что разрыв между третьим и четвертым местом также минимален, как и для двух стран-лидеров (рисунок 4.1).

Таблица 4.10. Интегральные индексы пятой группы показателей («Вооруженные силы») для 15 стран-лидеров

Страны	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
США	43,10	41,28	39,62	36,95	35,21	36,55	37,01	35,95	36,62	36,27	35,97
Китай	7,14	8,01	9,11	10,39	11,59	13,13	13,32	13,52	14,11	14,56	15,14
Индия	2,85	2,88	2,73	2,74	2,94	3,15	3,49	3,83	3,75	3,72	3,71
Россия	3,62	4,08	4,71	5,10	4,89	4,07	4,27	3,95	3,47	3,48	3,47
Саудовская Аравия	2,79	2,82	3,27	3,87	4,66	5,35	3,93	4,18	3,81	3,62	3,46
Франция	3,81	3,75	3,47	3,61	3,67	3,39	3,54	3,59	3,60	3,49	3,43
Германия	2,86	2,79	2,69	2,65	2,66	2,44	2,56	2,69	2,79	2,74	2,72
Великобритания	3,59	3,50	3,38	3,28	3,42	3,30	2,97	2,76	2,82	2,61	2,61
Япония	3,37	3,53	3,47	2,83	2,71	2,58	2,87	2,69	2,63	2,58	2,55
Республика Корея	1,74	1,80	1,85	1,98	2,17	2,24	2,27	2,32	2,43	2,36	2,35
Бразилия	2,10	2,14	1,97	1,90	1,89	1,51	1,49	1,74	1,57	1,45	1,45
Италия	1,98	1,96	1,72	1,73	1,60	1,36	1,54	1,57	1,57	1,44	1,44
Австралия	1,43	1,54	1,52	1,43	1,49	1,47	1,63	1,64	1,51	1,39	1,39
Канада	1,19	1,24	1,18	1,07	1,03	1,10	1,10	1,27	1,22	1,19	1,19
Турция	1,11	1,00	1,04	1,08	1,03	0,97	1,10	1,06	1,07	1,10	1,10
Суммарный индекс для 15 стран	82,68	82,34	81,73	80,61	80,95	82,62	83,09	82,75	82,96	81,99	81,98

Таблица 4.11. Интегральные индексы шестой группы показателей («Наука и инновации») для 15 стран-лидеров

Страны	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2017	2018
Китай	23,81	24,82	26,58	27,89	27,27	28,31	26,46	27,62	27,98	28,13	28,24
Германия	9,06	9,34	9,13	8,93	9,02	8,67	9,10	8,29	8,46	8,19	8,20
Республика Корея	6,63	6,13	5,85	6,10	6,22	6,39	6,05	7,04	7,78	7,43	7,58
США	8,48	7,79	7,72	7,32	7,48	7,74	7,86	6,63	6,31	6,43	6,41
Сингапур	6,62	6,08	6,11	6,11	6,07	6,05	6,04	6,21	6,27	5,99	5,93
Франция	5,34	5,19	5,14	5,07	5,06	4,78	4,87	4,62	4,75	4,75	4,74
Япония	6,53	6,13	5,81	4,74	4,49	4,28	4,42	4,49	4,48	4,45	4,28
Малайзия	3,30	3,06	2,98	2,85	2,96	2,80	2,81	3,13	3,65	3,48	3,43
Нидерланды	3,90	3,90	3,65	3,74	3,80	3,03	3,18	3,32	3,46	3,33	3,25
Великобритания	3,38	3,52	3,32	3,21	3,21	3,28	3,34	3,17	3,09	3,07	3,05
Мексика	2,47	2,40	2,58	2,49	2,62	2,66	2,77	2,92	2,89	2,96	2,96
Бельгия	1,71	1,68	1,71	1,86	1,90	1,77	1,79	1,65	1,60	1,44	1,43
Ирландия	1,17	1,28	1,17	1,06	1,08	1,33	1,69	1,55	1,57	1,46	1,45
Италия	1,49	1,57	1,34	1,38	1,39	1,32	1,39	1,35	1,28	1,29	1,26
Канада	1,37	1,29	1,51	1,39	1,23	1,25	1,19	1,27	1,27	1,20	1,16
Суммарный индекс для 15 стран	85,26	84,18	84,60	84,14	83,80	83,67	82,96	83,26	84,84	83,60	83,35

Таблица 4.12. Интегральные показатели национальной силы для 15 стран-лидеров

Страны	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Китай	12,86	13,38	14,04	14,66	14,94	15,75	15,60	15,92	16,26	16,44	16,55
США	17,51	17,02	16,77	16,14	15,95	16,33	16,30	15,90	16,02	16,11	15,92
Индия	4,79	4,84	4,83	4,89	4,99	5,09	5,20	5,36	5,42	5,31	5,26
Россия	5,19	5,24	5,33	5,40	5,28	5,07	5,14	5,14	5,05	5,04	5,06
Германия	4,33	4,39	4,30	4,20	4,23	4,13	4,22	4,10	4,15	4,15	4,14
Франция	3,25	3,23	3,15	3,12	3,13	3,03	3,06	3,03	3,05	2,98	2,96
Япония	3,50	3,41	3,33	2,95	2,83	2,76	2,84	2,77	2,70	2,62	2,62
Бразилия	2,65	2,65	2,61	2,60	2,57	2,43	2,39	2,42	2,37	2,35	2,33
Республика Корея	1,86	1,79	1,76	1,84	1,90	1,96	1,91	2,07	2,22	2,16	2,15
Италия	2,21	2,22	2,11	2,06	2,03	1,97	2,02	2,01	2,00	2,01	1,95
Канада	1,99	1,96	1,96	1,93	1,87	1,84	1,82	1,81	1,80	1,79	1,78
Великобритания	1,98	1,97	1,91	1,88	1,92	1,91	1,84	1,79	1,76	1,72	1,70
Саудовская Аравия	1,62	1,62	1,68	1,79	1,91	2,00	1,75	1,75	1,66	1,55	1,55
Австралия	1,60	1,63	1,57	1,56	1,56	1,49	1,51	1,52	1,53	1,51	1,51
Индонезия	1,41	1,43	1,47	1,46	1,44	1,45	1,46	1,46	1,44	1,46	1,47
Суммарный индекс для 15 стран	66,76	66,77	66,83	66,47	66,54	67,22	67,05	67,05	67,44	67,21	66,95

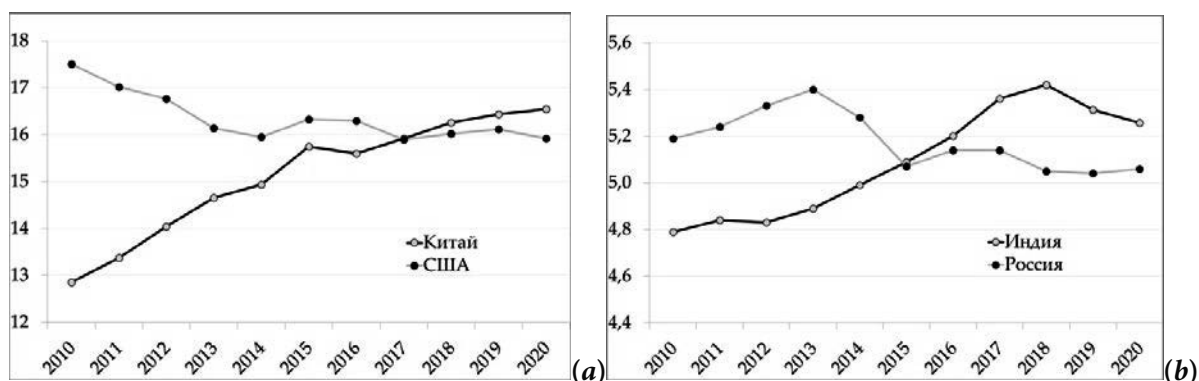


Рисунок 4.1. Интегральные показатели национальной силы для США и Китая (а), России и Индии (б)

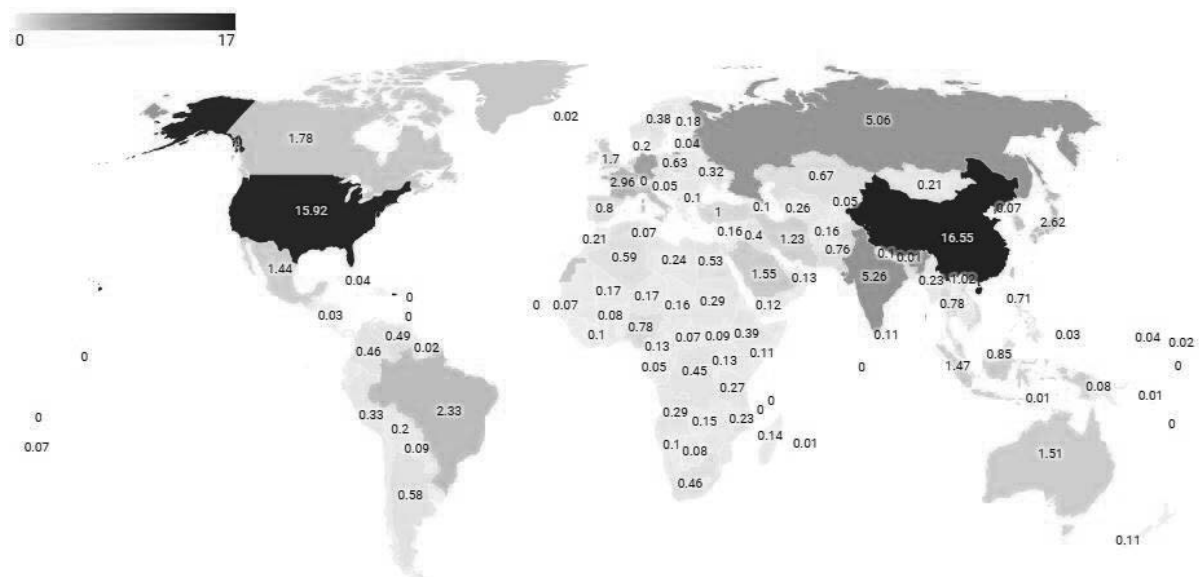


Рисунок 4.2. Интегральные показатели национальной силы для всех стран мира в 2020 г.

Приведем данные по значениям интегральных показателей национальной силы для всех рассматриваемых в исследовании стран. С целью экономии места представим данные в виде рисунка, раскрашенного в зависимости от соответствующих значений (рисунок 4.2). Как мы видим, современный мир очевидно становится многополярным: с одной стороны — США и часть европейских стран, с другой — Китай и ряд государств Азии, и, кроме того, Индия, Россия и Германия являются потенциальными точками формирования новых полюсов силы. Разрыв между двумя явными лидерами пока относительно небольшой, а перемена позиций зависит от текущей экономической ситуации. Принципиальный вопрос заключается в эффективном использовании своего потенциала с целью укрепления государственного суверенитета и уровня национальной безопасности.

Также представляют интерес значения весовых коэффициентов, приведенные в таблице 4.13. Как мы видим, снижается влияние групп показателей «Географические характеристики» и «Природные ресурсы» при одновременном усилении групп «Вооруженные силы» и «Население и труд».

В заключение мы хотим дать прогноз показателя национальной силы до 2025 г. в зависимости от наиболее вероятного с нашей точки зрения сценария мировой динамики.

Описание сценария. Предположим, что в краткосрочном и среднесрочном периодах сохранятся наметившиеся ранее тенденции — усиление Китая, регионализация глобальных производственных цепочек и эскалация многополярности. Торговля была и остается одним из мощнейших факторов экономического роста, взаимозависимость стран — участниц международного товарообмена постоянно возрастает, а государства, лидирующие по объему экспорта и импорта, оказывают сильное влияние на развитие всей мировой экономики. Крупнейший торговый партнер США, Китай, в 2020 г. экспортировал товаров на сумму 435,4 млрд долларов при объеме импорта 124,6 млрд долларов. Таким образом, торговый дефицит США с Китаем составил 310,8 млрд долларов (максимум был в 2018 г. — 418,9 млрд долларов), т. е. около 34% от общего отрицательного торгового баланса США (рисунок 4.3). Такая же ситуация, но в меньшем масштабе характерна для других торговых партнеров США — Мексики, Японии, Германии. Решение проблемы администрация США видит во введении таможенных барьеров — установлении импортных пошлин, технологических требований и т. д. После начала американо-китайской торговой войны в 2018 г. ситуация с отрицательным сальдо торгового баланса у США стала улучшаться (рисунок 4.3), однако на данный момент пока еще рано говорить о сложившемся тренде.

Объем мировой торговли в 2021 г., по нашим прогнозам, может вырасти на 7%, но при этом, в силу сделанного предположения о дальнейшей регионализации, будет происходить перераспределение товарных потоков между ключевыми торговыми партнерами. В рамках сценария предусматривается постепенный перенос производственных мощностей из Китая частично

Таблица 4.13. Весовые коэффициенты для пяти групп показателей

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Группа 1 «Географические характеристики»	0,150	0,150	0,150	0,150	0,149	0,147	0,146	0,143	0,144	0,143	0,142
Группа 2 «Природные ресурсы»	0,167	0,166	0,163	0,161	0,159	0,161	0,163	0,162	0,159	0,159	0,158
Группа 3 «Население и труд»	0,147	0,149	0,150	0,152	0,152	0,153	0,153	0,156	0,156	0,156	0,157
Группа 4 «Экономические показатели»	0,203	0,203	0,203	0,202	0,201	0,200	0,199	0,200	0,198	0,200	0,201
Группа 5 «Вооруженные силы»	0,172	0,172	0,173	0,176	0,178	0,177	0,177	0,178	0,180	0,180	0,180
Группа 6 «Наука и инновации»	0,160	0,160	0,160	0,160	0,161	0,162	0,163	0,161	0,162	0,162	0,162

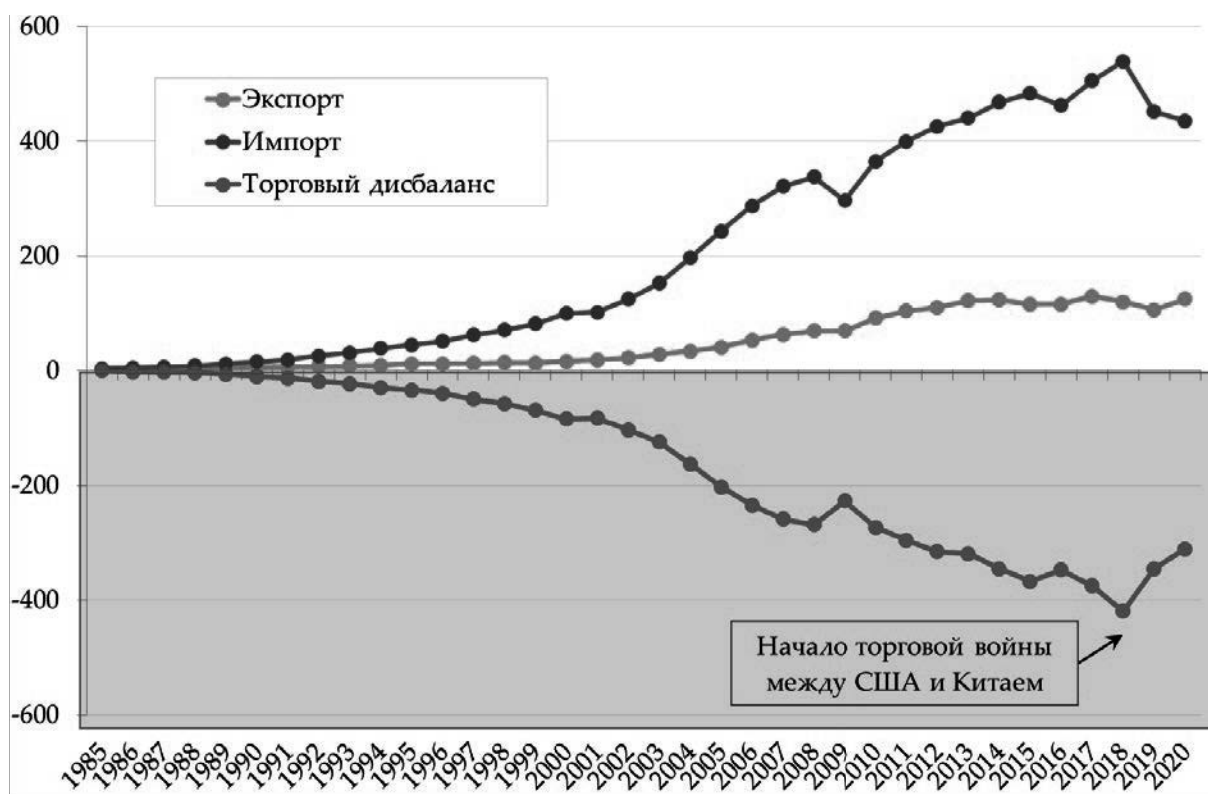


Рисунок 4.3. Торговля товарами США с Китаем³⁰⁹

в США и страны ЕС, но также с целью минимизации издержек и в развивающиеся страны (Индию, Бразилию, Мексику и др.). Этот процесс начался до коронавирусной пандемии, которая лишь обозначила правильность выбранной стратегии с позиции национальной безопасности США. Перенос части производств в США из Китая, с одной стороны, повлечет за собой создание дополнительных рабочих мест, но с другой — может негативно сказаться на себестоимости выпускаемой продукции. В свою очередь, Китай в соответствии с декларируемыми в плане четырнадцатой пятилетки задачами продолжит политику стимулирования внутреннего спроса. Согласно энергетической стратегии до 2035 г., Россия будет стремиться увеличить долю на рынках стран АТР за счет вероятного сокращения поставок в страны ЕС.

Резюмируя, отметим, что в рамках сценария мы рассчитываем последствия постепенного изменения глобальных торговых цепочек, дальнейшее развитие полюсов мировой силы, их взаимовлияние и воздействие на других мировых лидеров в среднесрочном периоде. Конкретно в модели будем считать следующие события до 2025 г.: 1) постепенное сокращение торгового дисбаланса между США и Китаем на 5% в год; 2) увеличение объема торговли между США и странами ЕС, с одной стороны, и Индией, Вьетнамом, Мексикой и Бразилией — с другой. Предполагается, что торговля будет расти со средним значением прироста 5% в год; 3) увеличение внутреннего спроса в Китае на 6% в год; 4) увеличение доли стран АТР в общем объеме экспорта нефти и нефтепродуктов России до 40% к 2025 г.

Конечно, закладываемые в сценарий изменения охватывают только часть происходящих в мире глобальных сдвигов. Принимая во внимание усиливающиеся флуктуации в социальной, экономической и политической сферах, которые весьма затрудняют любые прогнозы, мы будем учитывать только наиболее важные, по нашему мнению, траектории мирового развития. Также, на наш взгляд, не имеет большого смысла прогнозировать подверженные сильной конъюнктуре

³¹⁰ Источник: данные бюро переписи населения США: <https://www.census.gov/foreign-trade/balance/c5700.html>.

одиночные показатели типа ВВП, ИПЦ и др., а следует рассматривать более комплексный показатель «Национальная сила», характеризующий геополитическую обстановку в мире.

Нами были проведены расчеты до 2025 г., а в качестве результатов приведем значения упомянутого показателя на конец прогнозируемого периода (рисунок 4.5). Полученные результаты показали, что в среднесрочной перспективе продолжает усиление своей мощи Китай (по сравнению с данными на рисунке 4.4), забирая на себя 16,84% мировой силы и все также увеличивая отрыв от США. Остальные отслеживаемые 13 стран — мировых лидеров практически не изменили своего веса, а на оставшиеся 178 стран — членов ООН приходится только 32,91% мировой силы. Также несколько снизились показатели национальной безопасности для США и ряда европейских стран (Швейцарии, Австрии), России и Японии, что связано не только с изменениями глобальных торговых цепочек, но и процессами, связанными с депопуляцией и старением населения.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что разрыв глобальных цепочек и регионализация в первую очередь усиливают Китай и ослабляют США. Отметим, что при расчетах не учитывалась возможность постепенного отказа от доллара при изменении вектора торговых отношений, что также может дополнительно ослабить США.

Основные выводы

1. Использование методов многомерного статистического анализа при оценке вклада факторов в интегральный показатель национальной силы позволило в некоторой степени снять проблему субъективизма.

2. Позиция некоторых стран в приведенной выше оценке отличается от позиций в других рейтингах, поскольку для измерения национальной силы были использованы показатели, определяющие в первую очередь потенциал страны (наличие ресурсов, территория, численность населения и т. д.), а не конъюнктурные переменные, часто меняющиеся в зависимости от складывающейся на текущий момент ситуации. Важнейшая задача заключается в грамотном управлении имеющимся потенциалом.

3. В начале раздела при обзоре наиболее цитируемых исследований мы упоминали о том, что ряд авторитетных американских стратегов в области внешней политики подчеркивали чрез-

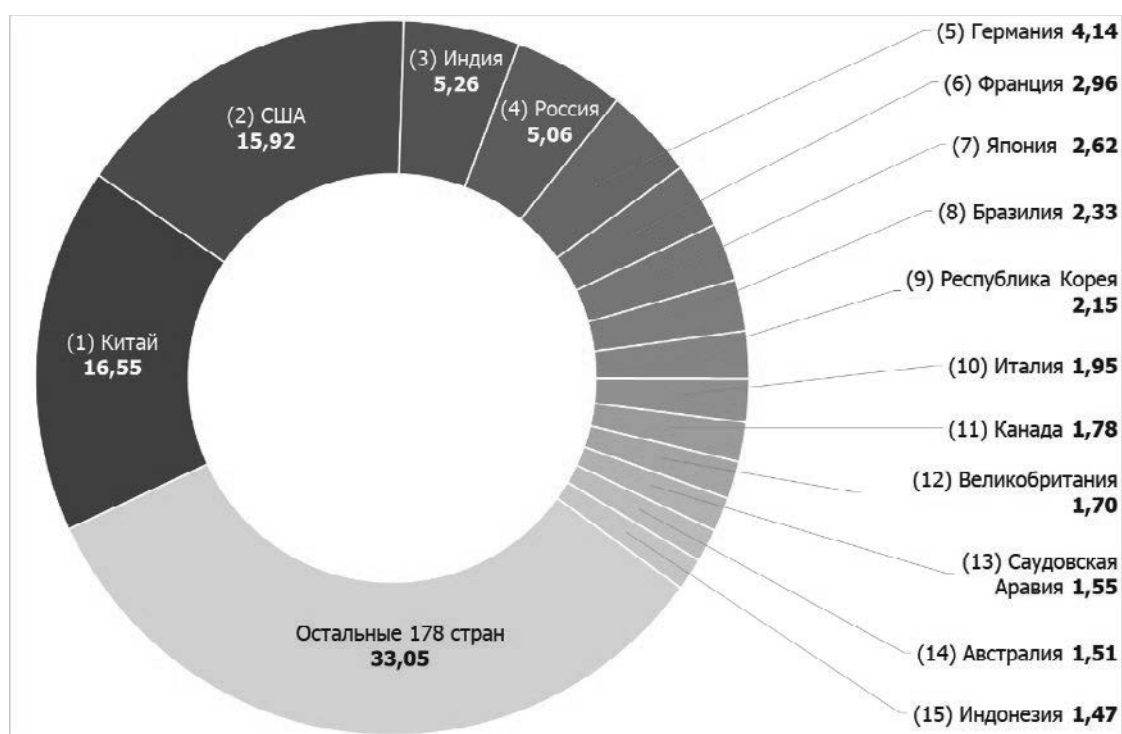


Рисунок 4.4. Интегральные показатели национальной силы для 15 стран-лидеров за 2020 г.

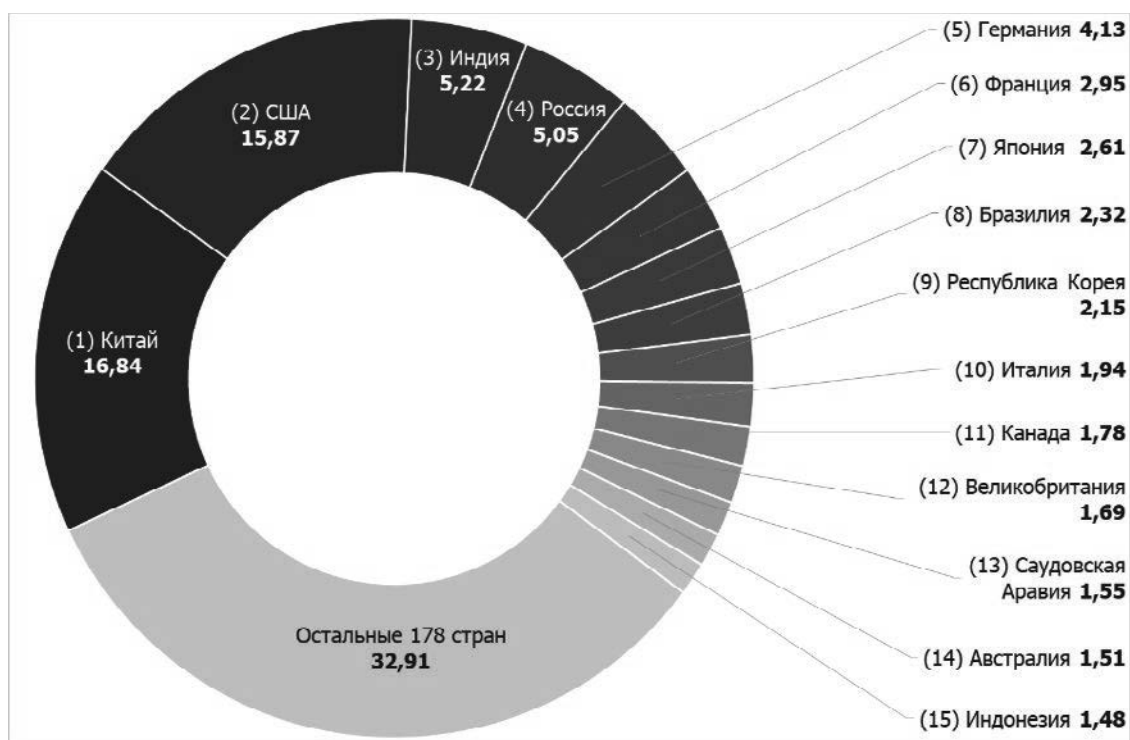


Рисунок 4.5. Интегральные показатели национальной силы для 15 стран-лидеров к 2025 г.

вычайную важность учета психологических факторов при оценке национальной силы. К ним относятся такие составляющие, как уровни патриотизма и национальной сплоченности, показатели социальной интеграции, политической стабильности и др. Страны с высокими значениями перечисленных показателей менее уязвимы, а подрыв этих факторов влечет за собой серьезное ослабление соответствующего государства. Вместе с тем отмечалась чрезвычайная трудность их количественной оценки и последующей увязки с другими показателями.

4. Текущая геополитическая конфигурация и сложившаяся система хозяйственных связей в среднесрочном периоде по-прежнему будут способствовать усилению Китая и ослаблению США. Большинство стран слабо чувствительны к изменению торгового дисбаланса между двумя основными мировыми лидерами. Индия, Россия и Германия по-прежнему остаются потенциальными точками притяжения для образования новых центров силы.

4.2. Методики расчета индексов национальной безопасности стран мира

Если национальная сила государства, по сути, определяет его потенциальные возможности и для расчета используются преимущественно валовые показатели, то индикаторы национальной безопасности рассчитываются на основе нормированных величин (как правило, на душу населения) и свидетельствуют об уровне развития той или иной составляющей социо-эколого-экономической системы страны, а также об эффективности использования имеющегося потенциала.

В этом разделе с использованием методов многомерного статистического анализа мы рассчитаем показатели национальной безопасности стран — членов ООН, но, помимо этого, оценим пороговые значения для всех рассматриваемых в работе факторов национальной безопасности. В последней части раздела мы дадим прогноз национальной безопасности на среднесрочный период.

Краткая история

Войдя в широкий обиход, термин «национальная безопасность» первое время трактовался как возможность государства защищаться в случае военного нападения, а также включал в себя оценку военного потенциала нации. К примеру, в соответствии с принятым президентом США Г. Тру-

мэном 26 июля 1947 г. Законом о национальной безопасности — 1947 (The National Security Act of 1947) был образован Совет национальной безопасности (National Security Council) — консультативный орган при президенте США по вопросам национальной безопасности, но самое главное — были переформатированы вооруженные силы страны для работы в послевоенных условиях³¹¹.

С течением времени понимание национальной безопасности расширилось — в соответствующие доктрины различных стран стали входить другие их составляющие: противодействие терроризму, экономическая, экологическая, энергетическая, продовольственная и прочие виды безопасности (см., например, документы для США³¹² и Великобритании³¹³).

Тем не менее, несмотря на большое количество разработанных во всем мире документов, до сих пор не сложилось четкого определения национальной безопасности. По всей видимости, это является следствием высокой флуктуации и нестационарности проходящих во многих жизненных сферах процессов, а также субъективности взглядов представителей различных стран. Если в США основное внимание уделяется вопросам их гегемонии по отношению ко всем прочим странам и при этом остальным отводится роль зависимого партнера или государства, представляющего угрозу для США, то в других странах стратегии национальной безопасности в большей степени посвящены вопросам мирного взаимодействия с соседями и совместного решения общих вопросов в сфере экономики, безопасности и др. (к примеру, стратегии национальной безопасности Испании³¹⁴ и Швеции³¹⁵).

Далее мы приведем краткий обзор зарубежного опыта оценки уровня национальной безопасности, осуществляемой через набор различных показателей.

Эксперты ООН определяют национальную безопасность как способность государства обеспечивать безопасность жизнедеятельности своих граждан, оборону страны и рассматривают ее посредством показателей, относящихся к семи блокам: 1) экономика (рассматриваются показатели, определяющие рынок труда и уровень бедности); 2) продовольствие (например, уровень обеспеченности населения продуктами питания); 3) здоровье (уровень заболеваемости, доступность медицинской помощи и т. д.); 4) экология (загрязнение окружающей среды, частота стихийных бедствий и др.); 5) качество жизни (уровень преступности, домашнего насилия и т. д.); 6) социальное взаимодействие (уровень толерантности, религиозной идентичности и др.); 7) политическая сфера (нарушение прав человека и т. д.).

При этом особо подчеркивается, что важно обеспечение национальной безопасности каждой страны, поскольку ее нарушение создает угрозу глобальной безопасности. В этой связи ООН призывает мировое сообщество к более тесному взаимодействию и сотрудничеству для дальнейшего укрепления как межстрановых связей, так и уровней национальной безопасности каждого государства³¹⁶.

Структурное подразделение RAND corporation³¹⁷ — *отдел исследований национальной безопасности* — проводит всестороннюю оценку национальной безопасности многих государств мира³¹⁸. Эксперты RAND также отмечают необходимость расширенной трактовки национальной безопасности с обязательным учетом показателей, связанных с человеческим капиталом, и обосновывают необходимость ее рассмотрения с позиции потенциально уязвимых сфер жиз-

³¹¹ National Security Act of 1947 / Public Law 253, 80th Congress; Chapter 343, 1st Session; S. 758, July 26, 1947. Электронный ресурс: <https://www.cia.gov/readingroom/docs/CIA-RDP80R01731R002600240001-1.pdf> (дата обращения: 25.03.2021).

³¹² National Security Strategy of the United States of America / The White House. December 2017. Электронный ресурс: <https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2017/12/NSS-Final-12-18-2017-0905.pdf> (дата обращения: 25.03.2021).

³¹³ National Security Strategy and Strategic Defence and Security Review 2015: A Secure and Prosperous United Kingdom, November 2015. Электронный ресурс: <https://www.gov.uk/government/publications/national-security-strategy-and-strategic-defence-and-security-review-2015> (дата обращения: 25.03.2021).

³¹⁴ Spanish National Security Strategy. Электронный ресурс: https://www.dsn.gob.es/sites/dsn/files/2017_Spanish_National_Security_Strategy_0.pdf (дата обращения: 25.03.2021).

³¹⁵ National Security Strategy. Электронный ресурс: <https://www.government.se/information-material/2017/10/national-security-strategy> (дата обращения: 25.03.2021).

³¹⁶ Human Security in Theory and Practice / Human Security Unit, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, 2009. Электронный ресурс: <https://www.unocha.org/sites/dms/HSU/Publications%20and%20Products/Human%20Security%20Tools/Human%20Security%20in%20Theory%20and%20Practice%20English.pdf> (дата обращения: 25.03.2021).

³¹⁷ Стратегический научно-исследовательский центр, работающий по заказам органов государственной власти США.

³¹⁸ https://www.rand.org/natsec_area.html.

недеятельности общества и основных рисков, связанных со структурой собственности критически важных объектов, защитой информации, наличия природных ресурсов, степени развитости важных технологий, уровня коррупции, социально-экономического неравенства и запасов продовольствия.

Для оценки уровня национальной безопасности различных стран предлагается определять перечень критически важных секторов экономики и инфраструктурных объектов, а также использовать изменяемый набор переменных, относящихся к следующим блокам:

- вооруженные силы;
- ресурсы и территория;
- инвестиции;
- производство;
- человеческий капитал;
- занятость;
- финансы;
- технологии;
- торговля;
- экология;
- транспорт.

См., например “Relationships between the economy and national security: Analysis and considerations for economic security policy in the Netherlands”³¹⁹.

Работ по оценке национальной безопасности очень много, и, чтобы подвести черту под обзором исследований в этой области, сошлемся на результаты ученых из научно-технического университета Китая (University of Science and Technology of China), полученных на основе библиометрического анализа 5837 работ в сфере национальной безопасности, опубликованных в 817 журналах за последние 17 лет. Тексты этих публикаций оценивались по ряду критериев: число цитирований, распределение авторов по странам, исследовательским центрам и т. д., но самое главное — по частоте использования определенных авторами ключевых слов³²⁰.

Таким образом, исследователи определили следующие составляющие национальной безопасности: военную, социальную, экономическую, экологическую, продовольственную, а также вопросы, связанные со здравоохранением. При этом чаще всего использовались следующие слова и словосочетания: политика, доходы, продовольственная безопасность, рынок, изменение климата, США, Китай, производительность, потребление, голод, здоровье, занятость.

Принципы оценивания

Рассмотрение многочисленных методик количественной оценки национальной безопасности в ряде стран позволяет сделать следующие выводы:

1. При получении соответствующих оценок часто используются качественные показатели, которые трудно свести с количественными и, таким образом, рассчитать ее интегральный уровень.
2. В подавляющем большинстве случаев национальная безопасность оценивается для каждой страны отдельно, но, учитывая тесную взаимосвязь практически всех стран, представляется целесообразным и весьма актуальным ее одновременная оценка для всех взаимодействующих государств. Это обстоятельство подчеркивается и экспертами RAND.
3. Практически во всех методиках факторные веса оценивались путем опроса экспертов, что накладывает на конечный результат изрядную долю субъективизма.

³¹⁹ Retter Lucia, Erik J. Frinking, Stijn Hoorens, Alice Lynch, Fook Nederveen, and William D. Phillips, Relationships between the economy and national security: Analysis and considerations for economic security policy in the Netherlands. Wetenschappelijk Onderzoeken Documentatiecentrum, 2020. Электронный ресурс: https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR4287.html (дата обращения: 25.03.2021).

³²⁰ Muhammad Azfar Anwar, Zhou Rongting, Wang Dong & Fahad Asmi | Richard Meissner (Reviewing editor) (2018) Mapping the knowledge of national security in 21st century a bibliometric study, Cogent Social Sciences, 4:1. DOI: 10.1080/23311886.2018.1542944.

Учитывая вышесказанное, сформулируем *принципы*, которых будем придерживаться при построении интегрального показателя национальной безопасности (также как и в работе “National Security of Russia”³²¹).

1. Для измерения уровня национальной безопасности мы рассчитаем не только ее отдельные компоненты, но и интегральные индексы, позволяющие проводить их межстрановые сопоставления по всей совокупности факторов одновременно.

2. При расчете интегральных индексов будем использовать методы многомерного статистического анализа. Это поможет снять проблему ангажированности оценки вклада факторов в интегральный показатель, присущей экспертным методам.

3. Интегральные показатели национальной безопасности будут рассчитаны для всех стран — членов ООН, и необходимость этой процедуры обусловлена следующими обстоятельствами:

- использование большого массива данных делает возможным статистически обоснованный расчет весов отдельных компонент национальной безопасности, влияющих на интегральный показатель;
- база данных по ряду государств позволит провести кластеризацию стран и вычислить пороговые значения кластера стран — мировых лидеров.

4. При формировании компонент интегрального показателя национальной безопасности в качестве основы будет взят перечень факторов, чаще всего используемых в наиболее цитируемых исследованиях, что позволит повысить качество оценки уровня национальной безопасности и провести более корректное сравнение с другими странами.

5. Интегральные показатели по странам — членам ООН предполагается рассчитать для периода с 2010 г., что позволит рассмотреть направленность соответствующих трендов, а также спрогнозировать уровни национальной безопасности рассматриваемых государств.

Данные

Для построения интегральных индексов были использованы данные из источников, приведенных в таблице 4.14.

Следует отметить, что из-за рассогласованности в работе органов государственной статистики разных стран мира необходимая для проведения расчетов информация поступает со значительным лагом. Таким образом, на текущий момент самые свежие данные по многим показателям ограничиваются 2019 г. Однако, по нашему мнению, это не мешает решению основной задачи — получить в процессе расчетов веса отобранных компонент национальной безопасности за ряд последних лет и осуществить прогноз интегральных показателей стран мира на среднесрочный период. Кроме того, с использованием разработанного нами симулятора (см. раздел 4.3) мы рассчитаем показатели национальной безопасности для 2020 г., а также дадим их прогноз до 2025 г. в зависимости от наиболее вероятного, с нашей точки зрения, сценария мировой динамики.

Перечислим предлагаемые показатели (всего 28), сгруппированные по шести тематическим блокам:

³²¹ Makarov V. L., Bakhtizin A. R., Ilyin N. I., Sushko E. D. National Security of Russia // Economic strategies, 2020, 5. DOI: 10.33917/es-5.171.2020.6-23.

Таблица 4.14. *Источники данных, использованных для расчета индексов национальной безопасности стран мира*

Name	Internet resource
World Bank Open Data	https://data.worldbank.org
Global Energy Statistical Yearbooks	https://yearbook.enerdata.net
Publications of the World Steel Association	https://www.worldsteel.org
The Military Balance Annual Reports	https://www.iiss.org/publications/the-military-balance
World Gold Council Database	https://www.gold.org
The U.S. Energy Information Administration	https://www.eia.gov

1. Ресурсы (группа показателей, определяющих уровень ресурсной обеспеченности):

- запасы золота, т на 1 млн человек;
- доказанные запасы природного газа, млн футов³ на человека;
- доказанные запасы нефти, тыс. баррелей на человека.

2. Экономика и производство (группа показателей, определяющих уровень развития экономики страны, масштаб промышленного производства, выпуск стратегически важных продуктов и долю трудоспособного населения):

- ВВП на душу населения, рассчитанный по паритету покупательной способности в ценах 2011 г., долларов;
- валовая добавленная стоимость в промышленном производстве, % от ВВП;
- производство стали, т на человека;
- производство зерна, т на человека;
- импорт продуктов питания (доля от импорта товаров), %;
- экономически активное население (доля от общей численности), %.

3. Уровень жизни населения (группа показателей, определяющих уровень занятости, доходов, здоровья, смертности, криминогенной и экологической обстановки):

- уровень безработицы (отношение численности безработных к численности экономически активного населения), %;
- соотношение денежных доходов 10% наиболее и 10% наименее обеспеченного населения, раз;
- ожидаемая продолжительность жизни при рождении, лет;
- коэффициент младенческой смертности, число случаев на 1000 родившихся живыми;
- коэффициент смертности взрослого населения мужского пола, вероятность смерти в возрасте 15–60 лет на 1000 взрослых мужчин;
- коэффициент смертности взрослого населения женского пола, вероятность смерти в возрасте 15–60 лет на 1000 взрослых женщин;
- смертность от сердечно-сосудистых заболеваний, рака и диабета, процент 30-летних людей, которые умрут до своего 70-летия от перечисленных болезней;
- смертность в результате ДТП, количество случаев на 100 тыс. населения;
- число умышленных убийств на 100 тыс. населения;
- выбросы CO₂, (кг на ВВП, рассчитанный по паритету покупательной способности в ценах 2011 г.), долларов.

4. Финансовые показатели (группа показателей, определяющих уровень развитости финансовой системы):

- кредитование частного сектора за счет внутренних источников, доля от ВВП, %;
- рыночная капитализация отечественных компаний, доля от ВВП, %;
- денежная масса, отношение к ВВП, %;
- индекс потребительских цен, прирост к предыдущему году, %.

5. Вооруженные силы (группа показателей, определяющих уровень обороноспособности):

- военные расходы, нормированные к максимальному среди стран значению;
- численность личного состава вооруженных сил, нормированная к максимальному среди стран значению.

6. Наука и инновации (группа показателей, определяющих потенциал научной сферы):

- численность исследователей, выполнявших исследования и разработки (на млн человек);
- численность техников, выполнявших исследования и разработки (на млн человек);
- внутренние затраты на исследования и разработки, доля в ВВП, %.

Расчеты

Отметим, что способы оценки национальной силы и национальной безопасности практически идентичны. Для расчета интегральных показателей последней также был применен хорошо

зарекommenдовавший себя метод многомерной обработки статистической информации — факторный анализ с методом главных компонент.

Исходных массив был обработан следующим образом:

1. Стандартизация переменных посредством z-оценивания.
2. Вычисление интегральных индексов для каждой группы показателей путем свертки отобранных переменных.
3. Расчет интегральных индексов национальной безопасности для всех стран путем свертки групповых индексов.

Отметим, что, несмотря на схожесть расчетов, интегральные показатели национальной безопасности принципиально отличаются от интегральных показателей национальной силы. Выше уже говорилось, что компоненты национальной безопасности являются нормированными величинами, и если, к примеру, валовые показатели наиболее ценных природных ресурсов у России гораздо больше, чем у других стран, то их же значения, соотнесенные к количеству жителей, заметно снижают ее рейтинг.

Все упомянутые выше индексы были рассчитаны для 193 государств — членов ООН, однако для экономии места в результирующих таблицах мы будем рассматривать только первые 15 стран-лидеров. Все расчеты были осуществлены для каждого года в интервале с 2010 по 2020 г.

Интегральные индексы для первой группы показателей приведены в таблице 4.15. Числовые значения представляют собой безразмерные величины главной компоненты, вычисленной в процессе факторного анализа и в дальнейшем нормированной относительно среднемирового уровня. Аналогичным образом сформированы таблицы 4.17, 4.19, 4.21, 4.23, 4.24 и 4.26. Таким образом, мы видим, насколько интегральный индекс соответствующей группы показателей для конкретной страны соотносится с усредненными значениями всех государств. Иными словами, значение индекса для Катара в 2020 г. следует понимать, как превышение запасов природных ресурсов на душу населения в 52,67 раза относительно среднемирового уровня.

Отметим, что при расчете интегрального группового индекса для тех же показателей, используемых при вычислении компоненты национальной силы «Природные ресурсы», но ненормированных на душу населения, результаты сильно отличались и первые два места занимали США и Россия соответственно (см. раздел 4.1).

Приведенные в таблице 4.15 страны — экспортеры нефти и газа (в том числе Бруней) за счет небольшой численности населения относятся к самым богатым и обеспеченным на душу населения государствам мира. Туркмения обладает супергигантским газовым месторождением Галкы-

Таблица 4.15. Интегральные индексы первой группы показателей («Ресурсы») для 15 стран-лидеров

Страны	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1. Катар	61,89	59,57	58,96	57,45	56,65	55,79	55,30	54,71	53,99	53,61	52,67
2. Кувейт	30,00	28,63	28,08	26,78	26,36	25,94	25,35	24,93	24,68	24,48	24,42
3. ОАЭ	11,65	11,53	11,65	11,72	12,10	12,37	12,39	12,36	12,32	12,47	12,39
4. Венесуэла	3,90	6,98	7,17	9,50	9,70	9,85	9,94	10,20	10,50	10,74	10,71
5. Саудовская Аравия	9,06	8,95	9,04	8,87	8,91	8,90	8,85	8,78	8,70	8,64	8,68
6. Ливия	7,44	7,72	7,86	8,01	8,25	8,32	8,34	8,33	8,28	8,22	8,18
7. Туркмения	5,56	5,85	6,21	6,36	6,53	6,69	6,79	6,84	6,84	6,82	6,81
8. Бруней	5,96	6,16	6,47	6,57	6,75	6,90	6,03	5,44	5,46	5,46	5,40
9. Швейцария	5,10	5,06	4,75	4,63	4,49	4,45	4,82	5,06	4,91	4,79	4,76
10. Канада	4,26	4,25	4,33	4,31	4,40	4,46	4,39	4,37	4,35	4,26	4,25
11. Ирак	3,45	3,39	4,13	3,97	3,98	4,03	3,93	3,85	4,04	3,94	3,87
12. Иран	2,96	3,03	3,52	3,63	3,77	3,86	3,88	3,87	3,87	3,84	3,80
13. Норвегия	2,83	2,54	2,59	2,69	2,87	2,85	2,71	2,92	3,05	3,06	2,95
14. Казахстан	2,16	2,18	2,31	2,36	2,47	2,58	2,68	2,79	2,87	2,97	2,95
15. Россия	1,76	1,88	2,01	2,20	2,31	2,43	2,57	2,70	2,79	2,89	2,84

ныш и при нормировании на численность жителей также поднимает рейтинг страны по рассматриваемому индексу, а включение в этот список Швейцарии объясняется большими запасами золота. Что касается России, то она находится на 15-м месте, хотя уровень ее обеспеченности природными ресурсами постепенно увеличивается. С одной стороны, это связано с увеличением запасов золота, а с другой — с сокращением численности населения. Таким образом, Россия, являясь по валовой совокупности ресурсов (сюда можно включить еще алмазы и редкоземельные элементы) одним из богатейших государств мира, по душевым показателям таковым уже не является, хотя и превышает среднемировой уровень в 2,84 раза.

Далее приведем данные по весовым коэффициентам для первой группы показателей, исходя из которых можно сделать вывод о постепенном увеличении влияния показателя «Запасы золота» при одновременном снижении значений компоненты «Доказанные запасы нефти», которая тем не менее на текущий момент вносит наибольший вклад при расчете групповых индексов (таблица 4.16).

Интегральные индексы второй группы показателей приведены в таблице 4.17.

Первое место Японии в этой группе обеспечивается за счет лидерства в производстве стали, а также благодаря высокому месту по показателю «ВВП на душу населения по ППС». Причем ежегодный объем производства стали в Китае почти в 10 раз больше, чем в Японии, но при нормировании этого показателя на душу населения ситуация меняется в противоположную сторону. Люксембург, Сингапур, США, Катар, Нидерланды и Швеция входят в список стран — лидеров по показателю «ВВП на душу населения по ППС», что во многом обеспечивает высокие места по групповому индексу.

Несмотря на то что практически по всем компонентам этой группы Россия заметно проигрывает странам-лидерам (так, по ВВП на душу населения, рассчитанному по паритету покупательной способности, занимает 51-е место, по добавленной стоимости, создаваемой в промышленном производ-

Таблица 4.16. Весовые коэффициенты первой группы показателей

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Запасы золота	0,152	0,152	0,143	0,142	0,138	0,139	0,152	0,161	0,158	0,162	0,161
Доказанные запасы природного газа	0,414	0,414	0,419	0,419	0,421	0,422	0,417	0,413	0,414	0,413	0,414
Доказанные запасы нефти	0,435	0,435	0,438	0,439	0,44	0,44	0,432	0,427	0,427	0,425	0,425

Таблица 4.17. Интегральные индексы второй группы показателей («Экономика и производство») для 15 стран-лидеров

Страны	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1. Япония	2,76	2,69	2,87	3,12	3,09	3,03	3,15	3,08	2,97	2,97	2,95
2. Республика Корея	2,26	2,42	2,58	2,65	2,74	2,74	2,81	2,81	2,75	2,83	2,82
3. Люксембург	2,93	2,82	2,74	2,78	2,77	2,73	2,81	2,72	2,66	2,76	2,78
4. Китай	1,95	2,02	2,18	2,43	2,41	2,42	2,51	2,57	2,59	2,72	2,74
5. Канада	2,61	2,48	2,59	2,70	2,50	2,61	2,62	2,58	2,52	2,56	2,55
6. Германия	2,44	2,43	2,51	2,61	2,61	2,59	2,64	2,63	2,49	2,52	2,52
7. США	2,43	2,30	2,30	2,40	2,39	2,31	2,40	2,38	2,36	2,45	2,45
8. Россия	2,03	2,12	2,17	2,28	2,32	2,32	2,43	2,43	2,32	2,40	2,38
9. Швеция	2,39	2,36	2,33	2,40	2,43	2,46	2,56	2,54	2,30	2,38	2,38
10. Чехия	2,31	2,37	2,28	2,40	2,48	2,47	2,58	2,32	2,33	2,32	2,33
11. Катар	2,61	2,93	2,95	2,93	3,00	2,83	2,76	2,72	2,68	2,26	2,29
12. Австралия	2,60	2,48	2,39	2,21	2,21	2,20	2,23	2,41	2,15	2,19	2,19
13. Нидерланды	2,00	2,01	2,08	2,12	2,13	2,14	2,19	2,13	2,07	2,13	2,15
14. Финляндия	2,14	2,13	2,11	2,12	2,15	2,16	2,25	2,19	2,12	2,06	2,06
15. Сингапур	1,91	1,94	1,96	1,90	1,96	1,94	1,97	2,01	2,01	2,05	2,05

стве, — 47-е место, по продовольственной безопасности — 71-е место, а по доле экономически активного населения — 46-е место), за счет производства стали и зерна ее позиции довольно высоки.

Далее рассмотрим весовые коэффициенты для второй группы показателей, рассчитанные в процессе факторного анализа (таблица 4.18). Как мы видим, максимальный вес у показателя «ВВП на душу населения», но при этом усиливается влияние показателя «Производство стали».

В таблице 4.19 приведены интегральные индексы третьей группы, включающей в себя большой набор показателей, всесторонне рассматривающих уровень жизни населения. Первые 15 мест заняли страны с высокими значениями ожидаемой продолжительности жизни и низкими показателями безработицы, различного вида смертности, убийств, вредных выбросов, а также с минимальным разрывом в доходах между богатыми и бедными. Как мы видим, по итоговым значениям страны расположились весьма плотно.

Весовые коэффициенты для третьей группы приведены в таблице 4.20. В наибольшей степени итоговые места стран определяют такие факторы, как «Ожидаемая продолжительность жизни при рождении», «Коэффициенты смертности взрослого населения в возрасте 15–60 лет на 1000 взрослых мужчин и женщин», «Коэффициент младенческой смертности».

Таблица 4.18. Весовые коэффициенты второй группы показателей

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ВВП на душу населения по ППС	0,223	0,221	0,227	0,232	0,231	0,227	0,229	0,228	0,224	0,224	0,224
ВДС в промышленном производстве, % от ВВП	0,105	0,119	0,125	0,116	0,121	0,134	0,113	0,114	0,135	0,117	0,118
Производство стали, т на человека	0,146	0,149	0,158	0,166	0,167	0,164	0,166	0,167	0,160	0,170	0,171
Производство зерна, т на человека	0,128	0,110	0,099	0,100	0,100	0,098	0,100	0,099	0,093	0,099	0,098
Импорт продуктов питания, % от импорта товаров	0,189	0,188	0,179	0,174	0,171	0,171	0,184	0,188	0,186	0,188	0,188
Экономически активное население, % от общей численности	0,210	0,214	0,212	0,212	0,210	0,205	0,208	0,204	0,202	0,202	0,201

Таблица 4.19. Интегральные индексы третьей группы показателей («Уровень жизни населения») для 15 стран-лидеров

Страны	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1. Норвегия	1,273	1,266	1,267	1,264	1,262	1,255	1,254	1,251	1,248	1,249	1,250
2. Швейцария	1,277	1,272	1,270	1,268	1,265	1,256	1,257	1,253	1,248	1,249	1,250
3. Швеция	1,277	1,271	1,269	1,267	1,264	1,255	1,253	1,249	1,245	1,245	1,246
4. Исландия	1,281	1,275	1,275	1,271	1,266	1,256	1,251	1,247	1,244	1,244	1,245
5. Нидерланды	1,268	1,262	1,260	1,259	1,255	1,247	1,244	1,240	1,236	1,237	1,238
6. Ирландия	1,262	1,254	1,254	1,253	1,251	1,243	1,241	1,238	1,233	1,235	1,236
7. Финляндия	1,256	1,252	1,253	1,253	1,251	1,245	1,242	1,238	1,234	1,235	1,236
8. Мальта	1,267	1,258	1,254	1,256	1,252	1,243	1,240	1,237	1,232	1,233	1,235
9. Люксембург	1,258	1,255	1,251	1,252	1,251	1,242	1,243	1,240	1,234	1,235	1,235
10. Республика Корея	1,249	1,243	1,242	1,242	1,240	1,235	1,238	1,237	1,232	1,233	1,234
11. Австрия	1,260	1,254	1,253	1,252	1,249	1,240	1,239	1,236	1,232	1,233	1,234
12. Израиль	1,260	1,254	1,252	1,251	1,249	1,241	1,239	1,236	1,232	1,233	1,234
13. Италия	1,266	1,259	1,257	1,257	1,254	1,242	1,241	1,236	1,231	1,232	1,234
14. Испания	1,262	1,256	1,257	1,258	1,252	1,242	1,239	1,235	1,231	1,232	1,233
15. Дания	1,255	1,252	1,251	1,250	1,247	1,241	1,238	1,235	1,230	1,231	1,233

Далее мы рассмотрим интегральные индексы финансовых показателей, относящихся к четвертой группе (таблица 4.21). В лидерах ожидаемо находятся Швейцария, Япония, США и Китай, чьи высокие места определяются высоким уровнем кредитования частного сектора за счет вну-

Таблица 4.20. Весовые коэффициенты третьей группы показателей

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1. Уровень безработицы	0,027	0,020	0,009	0,004	0,008	0,013	0,025	0,034	0,042	0,045	0,046
2. Соотношение денежных доходов 10% наиболее и 10% наименее обеспеченного населения	0,086	0,085	0,087	0,089	0,090	0,087	0,087	0,088	0,088	0,088	0,090
3. Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	0,148	0,150	0,150	0,150	0,149	0,149	0,145	0,141	0,140	0,139	0,138
4. Коэффициент младенческой смертности	0,129	0,131	0,132	0,132	0,131	0,132	0,129	0,126	0,124	0,123	0,123
5. Коэффициент смертности взрослого населения мужского пола	0,143	0,144	0,145	0,145	0,145	0,145	0,141	0,138	0,137	0,136	0,135
6. Коэффициент смертности взрослого населения женского пола	0,144	0,145	0,146	0,145	0,144	0,145	0,142	0,138	0,137	0,137	0,137
7. Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний, рака и диабета	0,098	0,099	0,099	0,099	0,098	0,106	0,105	0,102	0,101	0,100	0,099
8. Смертность в результате ДТП	0,119	0,121	0,121	0,120	0,119	0,119	0,119	0,116	0,115	0,114	0,114
9. Число умышленных убийств на 100 тыс. населения	0,074	0,070	0,074	0,078	0,074	0,067	0,073	0,082	0,081	0,082	0,084
10. Выбросы CO ₂ , кг на ВВП по ППС	0,031	0,034	0,037	0,037	0,042	0,038	0,034	0,035	0,035	0,036	0,035

Таблица 4.21. Интегральные индексы четвертой группы показателей («Финансовые показатели») для 15 стран-лидеров

Страны	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1. Швейцария	3,82	3,96	4,23	4,59	4,49	4,60	4,25	4,49	4,48	4,49	4,43
2. Япония	3,46	3,63	3,64	3,97	3,89	3,98	3,76	3,99	4,02	4,09	4,02
3. США	3,06	3,16	3,21	3,55	3,57	3,42	3,33	3,54	3,52	3,29	3,24
4. Китай	2,88	2,85	2,91	3,02	3,14	3,38	3,25	3,25	3,15	3,23	3,23
5. Сингапур	3,51	3,74	3,93	3,93	3,94	3,66	3,40	3,54	3,50	3,15	3,11
6. Республика Корея	2,85	2,97	3,02	3,01	2,97	3,00	2,90	3,08	3,10	2,94	2,90
7. Австралия	2,72	2,64	2,60	2,65	2,68	2,75	2,82	2,85	2,78	2,76	2,73
8. Новая Зеландия	2,06	2,13	2,19	2,27	2,32	2,42	2,45	2,46	2,54	2,51	2,48
9. Норвегия	2,09	2,02	2,01	2,05	2,03	2,10	2,23	2,31	2,30	2,31	2,29
10. Великобритания	2,87	2,71	2,64	2,55	2,27	2,15	2,16	2,21	2,24	2,22	2,19
11. Катар	1,46	1,51	1,45	1,50	1,70	2,04	2,11	1,97	2,03	2,16	2,14
12. Дания	2,27	2,21	2,22	2,14	2,09	2,03	1,95	1,95	1,94	1,90	1,88
13. ОАЭ	1,60	1,39	1,35	1,57	1,65	1,87	1,93	1,88	1,84	1,77	1,76
14. Швеция	1,64	1,68	1,77	1,80	1,74	1,66	1,69	1,75	1,75	1,76	1,75
15. Бразилия	1,58	1,60	1,64	1,58	1,55	1,51	1,57	1,57	1,69	1,73	1,72

тренных источников, рыночной капитализацией отечественных компаний и денежной массой (в процентах к ВВП).

В свою очередь, в таблице 4.22 приведены весовые коэффициенты для четвертой группы, среди которых наибольший вес имеет показатель «Кредитование частного сектора за счет внутренних источников». Также существенное влияние оказывает фактор «Денежная масса, % к ВВП».

В таблице 4.23 приведены значения интегральных индексов пятой группы, по которым очевидно глобальное превосходство США, тем не менее заметно снизившееся за рассматриваемый период. Также обращает на себя внимание двукратное увеличение силы Китая. Выше уже говорилось, что вооруженные силы стран — членов ООН рассматривались только через призму военных расходов и численности личного состава вооруженных сил, а такая немаловажная составляющая, как ядерное оружие, не учитывалась по причине невозможности получения корректных результатов факторного анализа. Кроме того, применение этого вида оружия рассматривается как крайняя мера, нивелирующая другие компоненты национальной безопасности.

Интегральные индексы шестой группы показателей приведены в таблице 4.24. При вычислении одноименной компоненты национальной силы лидерами были Китай и Германия, однако использование нормированных показателей существенно корректируют результаты. Так, на пер-

Таблица 4.22. Весовые коэффициенты четвертой группы показателей

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Кредитование частного сектора за счет внутренних источников, % от ВВП	0,288	0,293	0,303	0,319	0,299	0,294	0,294	0,302	0,295	0,296	0,297
Рыночная капитализация отечественных компаний, % от ВВП	0,238	0,247	0,240	0,257	0,249	0,264	0,233	0,254	0,255	0,249	0,244
Денежная масса, % к ВВП	0,250	0,264	0,258	0,276	0,264	0,265	0,257	0,247	0,244	0,269	0,275
Индекс потребительских цен (прирост к предыдущему году), %	0,224	0,196	0,198	0,149	0,187	0,177	0,216	0,196	0,206	0,186	0,185

Таблица 4.23. Интегральные индексы пятой группы показателей («Вооруженные силы») для 15 стран-лидеров

Страны	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1. США	82,73	79,27	76,32	71,22	67,87	69,31	70,20	68,23	69,55	69,56	68,30
2. Китай	13,71	15,37	17,54	20,03	22,34	24,89	25,27	25,66	26,80	27,60	27,80
3. Индия	5,46	5,53	5,26	5,28	5,67	5,96	6,63	7,27	7,13	7,25	7,22
4. Россия	6,96	7,83	9,08	9,84	9,42	7,72	8,10	7,49	6,58	6,63	6,61
5. Саудовская Аравия	5,36	5,41	6,30	7,46	8,99	10,14	7,45	7,93	7,24	6,30	6,29
6. Франция	7,32	7,20	6,69	6,95	7,08	6,44	6,71	6,80	6,84	6,11	6,07
7. Германия	5,48	5,36	5,18	5,11	5,13	4,63	4,86	5,11	5,30	5,22	5,02
8. Великобритания	6,88	6,72	6,52	6,33	6,59	6,26	5,63	5,23	5,36	5,32	5,27
9. Япония	6,48	6,77	6,69	5,46	5,22	4,90	5,44	5,11	5,00	4,95	4,85
10. Республика Корея	3,34	3,45	3,56	3,82	4,18	4,25	4,31	4,41	4,62	4,47	4,27
11. Бразилия	4,03	4,12	3,79	3,66	3,63	2,86	2,83	3,30	2,98	2,75	2,48
12. Италия	3,79	3,77	3,32	3,34	3,08	2,58	2,93	2,98	2,98	2,73	2,53
13. Австралия	2,75	2,96	2,92	2,76	2,87	2,80	3,09	3,12	2,86	2,64	2,51
14. Канада	2,29	2,38	2,28	2,06	1,99	2,09	2,08	2,40	2,32	2,26	2,25
15. Турция	2,13	1,93	2,00	2,08	1,98	1,85	2,09	2,01	2,03	2,08	2,09

вых позициях текущего списка находятся Республика Корея, Швейцария и Австрия за счет высоких значений по всем трем учитываемым компонентам данной группы факторов.

Что касается весовых коэффициентов для шестой группы, то они приблизительно равнозначны (таблица 4.25).

И наконец, представим итоговые результаты расчетов интегральных показателей национальной безопасности, которые были получены путем свертки приведенных выше групповых индексов (таблица 4.26). Как мы видим, в мире два явных лидера — США и Китай, но при этом значения интегральных показателей США постепенно снижаются, в то время как Китай за рассматриваемый период укрепился примерно в 1,86 раза. Следует также отметить, что две страны — Индия и Россия, занимающие соответственно третье и четвертое места по значениям национальной силы, с позиции национальной безопасности выглядят совсем по-другому. Так, Россия находится на 12-м месте, а Индия на 31-м (не попала в число лидеров). Россия в 2018 г. находилась на 12-м месте, хотя в 2013–2014 гг. была на десятом. Такое снижение во многом связано с падением показателей групп «Уровень жизни населения» и «Наука и инновации».

В целом же практически все страны — мировые лидеры по интегральному значению индекса национальной безопасности сбалансированы почти по всему набору рассматриваемых показателей, поэтому их нахождение в топ-15 за ряд лет довольно устойчиво.

Таблица 4.24. Интегральные индексы шестой группы показателей («Наука и инновации») для 15 стран-лидеров

Страны	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1. Республика Корея	7,09	6,81	7,90	7,78	8,36	7,55	7,75	8,07	8,10	8,01	8,01
2. Швейцария	0,00	0,00	8,62	1,77	1,78	8,36	8,41	8,26	8,09	7,71	7,69
3. Австрия	4,44	6,73	4,52	7,74	4,70	7,57	7,77	7,63	7,49	7,41	7,46
4. Израиль	3,47	7,95	8,58	6,84	7,00	6,53	6,83	6,88	7,03	6,66	6,64
5. Германия	6,53	6,20	6,90	6,57	7,06	6,52	6,70	6,73	6,65	6,49	6,55
6. Люксембург	9,11	7,51	7,25	7,04	7,58	6,88	6,76	6,60	6,37	6,21	6,19
7. Исландия	0,00	7,24	2,86	6,06	4,02	6,63	6,88	6,87	6,77	6,03	6,01
8. Франция	6,73	5,77	6,42	6,16	6,39	5,71	5,74	5,65	5,55	5,37	5,39
9. Чехия	4,90	4,50	5,44	5,43	5,88	5,20	5,00	5,23	5,11	5,28	5,26
10. Дания	9,35	7,96	5,60	5,40	5,49	5,32	5,66	5,58	5,70	5,20	5,25
11. Швеция	5,30	7,35	5,06	5,54	5,52	5,20	5,46	5,62	5,75	5,16	5,14
12. Япония	6,09	5,51	5,69	5,65	5,93	5,22	5,22	5,25	5,31	4,95	4,94
13. Великобритания	4,87	4,43	4,64	4,75	5,04	4,71	4,72	4,63	4,58	4,56	4,57
14. Финляндия	6,90	6,07	6,13	5,73	5,60	4,92	4,80	4,84	4,94	4,36	4,33
15. Сингапур	5,47	5,02	5,13	5,05	5,27	1,76	1,80	1,75	1,79	4,25	4,23

Таблица 4.25. Весовые коэффициенты шестой группы показателей

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Численность исследователей, выполнявших исследования и разработки	0,346	0,344	0,346	0,342	0,348	0,342	0,343	0,344	0,345	0,344	0,343
Численность техников, выполнявших исследования и разработки	0,316	0,317	0,306	0,319	0,310	0,322	0,321	0,320	0,320	0,318	0,318
Внутренние затраты на исследования и разработки	0,337	0,339	0,348	0,339	0,342	0,336	0,336	0,335	0,335	0,338	0,339

Для полноты картины также приведем значения весовых коэффициентов для групповых индексов. Как мы видим, наибольшим влиянием обладают показатели второй группы — «Экономика и производство», которая остается приблизительно на одном уровне. Второй по значимости компонентой является групповой индекс «Наука и инновации», также остающийся стабильным. Заметно снизился вес группы «Уровень жизни» за счет увеличения группы «Вооруженные силы» (таблица 4.27).

Далее рассмотрим пороговые значения для всех рассматриваемых в работе факторов национальной безопасности. В случае если величина конкретного показателя не входит в диапазон, определенный минимальным и максимальным значениями среди группы 15 стран-лидеров, то, с одной стороны, это означает выход за допустимую внутри выбранного кластера стран границу, а с другой — явную угрозу национальной безопасности (таблица 4.28).

В разделе 4.1 мы отметили, что, во-первых, современный мир становится все более многополярным (с одной стороны, страны «коллективного Запада» во главе с лидером — США, с другой стороны — Китай, пытающийся расширить свою орбиту, вовлекая соседей в глобальные проекты типа «Один пояс — один путь»), а во-вторых, принципиальный вопрос заключается в эффективном использовании своей национальной силы с позиции укрепления суверенитета и национальной безопасности.

Таблица 4.26. Интегральные показатели национальной безопасности для 15 стран-лидеров

Страны	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1. США	11,44	10,97	10,70	10,76	10,57	10,25	10,49	10,40	10,58	10,60	10,59
2. Китай	3,21	3,39	3,73	4,24	4,59	4,78	4,89	5,00	5,13	5,91	5,96
3. Республика Корея	3,27	3,27	3,58	3,60	3,79	3,61	3,67	3,80	3,81	3,82	3,77
4. Швейцария	3,65	3,67	3,72	3,78	3,78	3,71	3,68	3,70	3,64	3,49	3,47
5. Япония	3,66	3,56	3,66	3,66	3,67	3,46	3,53	3,54	3,51	3,28	3,28
6. Германия	3,19	3,08	3,26	3,22	3,33	3,13	3,22	3,28	3,24	3,14	3,05
7. Франция	3,36	3,10	3,22	3,23	3,30	3,06	3,09	3,15	3,11	2,95	2,88
8. Великобритания	3,00	2,82	2,85	2,92	2,94	2,76	2,80	2,86	2,62	2,61	2,60
9. Люксембург	3,39	2,94	2,88	2,82	2,89	2,72	2,74	2,70	2,61	2,60	2,55
10. Австрия	2,46	2,46	2,50	2,66	2,68	2,59	2,66	2,64	2,57	2,50	2,51
11. Канада	2,94	2,74	2,75	2,72	2,71	2,67	2,61	2,61	2,56	2,44	2,44
12. Россия	2,77	2,81	2,81	2,73	2,88	2,62	2,62	2,63	2,55	2,43	2,43
13. Швеция	2,44	2,84	2,38	2,49	2,49	2,39	2,49	2,53	2,51	2,41	2,41
14. Израиль	2,69	2,71	2,87	2,51	2,56	2,46	2,46	2,47	2,48	2,39	2,39
15. ОАЭ	1,80	1,92	1,85	1,96	2,13	2,47	2,52	2,46	2,45	2,36	2,34

Таблица 4.27. Весовые коэффициенты для шести групп показателей

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Группа 1 «Ресурсы»	0,054	0,059	0,060	0,058	0,060	0,066	0,065	0,063	0,063	0,061	0,060
Группа 2 «Экономика и производство»	0,233	0,229	0,227	0,229	0,230	0,228	0,228	0,229	0,228	0,232	0,232
Группа 3 «Уровень жизни населения»	0,202	0,205	0,200	0,198	0,195	0,193	0,193	0,191	0,191	0,193	0,194
Группа 4 «Финансовые показатели»	0,197	0,196	0,197	0,194	0,192	0,196	0,196	0,197	0,198	0,197	0,197
Группа 5 «Вооруженные силы»	0,107	0,107	0,107	0,115	0,117	0,112	0,113	0,115	0,115	0,112	0,112
Группа 6 «Наука и инновации»	0,207	0,204	0,209	0,205	0,207	0,205	0,205	0,206	0,205	0,205	0,205

Таблица 4.28. Пороговые значения используемых в исследовании показателей

Наименование показателя	Минимум и максимум среди 15 стран-лидеров
Группа 1 — «Ресурсы»	
Запасы золота, т на млн человек	Мин.: 0,0 Макс.: 121,3 (Швейцария)
Доказанные запасы природного газа, млн футов ³ на человека	Мин.: 0,0 Макс.: 22,0 (ОАЭ)
Доказанные запасы нефти, тыс. баррелей на человека	Мин.: 0,0 Макс.: 10,0 (ОАЭ)
Группа 2 — «Экономика и производство»	
ВВП на душу населения, рассчитанный по паритету покупательной способности (в ценах 2011 г.), долларов	Мин.: 17 287,1 (Китай) Макс.: 113 990,1 (Люксембург)
Валовая добавленная стоимость в промышленном производстве, % от ВВП	Мин.: 11,3 (Люксембург) Макс.: 46,2 (ОАЭ)
Производство стали, т на тыс. человек	Мин.: 33,1 (Израиль) Макс.: 786,3 (Япония)
Производство зерна, т на человека	Мин.: 0,001 ОАЭ Макс.: 1,568 Канада
Импорт продуктов питания, % от импорта товаров	Мин.: 4,32 (Швейцария) Макс.: 12,10 (Люксембург)
Экономически активное население, % от общей численности	Мин.: 59,4 (Япония) Макс.: 84,1 (ОАЭ)
Группа 3 — «Уровень жизни населения»	
Уровень безработицы (отношение численности безработных к численности экономически активного населения), %	Мин.: 2,97 (Япония) Макс.: 9,48 (Канада)
Соотношение денежных доходов 10% наиболее и 10% наименее обеспеченного населения, раз	Мин.: 7,6 (Швеция) Макс.: 18,0 (США)
Ожидаемая продолжительность жизни при рождении, лет	Мин.: 72,7 (Россия) Макс.: 84,2 (Япония)
Коэффициент младенческой смертности, число случаев на 1000 родившихся живыми	Мин.: 1,8 (Япония) Макс.: 8,8 (Китай)
Коэффициент смертности взрослого населения мужского пола, вероятность смерти в возрасте 15–60 лет на 1000 взрослых мужчин	Мин.: 58,2 (Швейцария) Макс.: 138,3 (США)
Коэффициент смертности взрослого населения женского пола, вероятность смерти в возрасте 15–60 лет на 1000 взрослых женщин	Мин.: 32,3 (Республика Корея) Макс.: 81,9 (США)
Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний, рака и диабета, % 30-летних людей, которые умрут до своего 70-летия от перечисленных болезней	Мин.: 7,8 (Республика Корея) Макс.: 17,0 (Китай)
Смертность в результате ДТП, количество случаев на 100 тыс. населения	Мин.: 2,7 (Швейцария) Макс.: 18,2 (Китай)
Число умышленных убийств на 100 тыс. населения	Мин.: 0,2 (Япония) Макс.: 5,3 (США)
Выбросы CO ₂ , кг на ВВП, рассчитанный по паритету покупательной способности в ценах 2011 г., долларов	Мин.: 0,075 (Швейцария) Макс.: 0,593 (Китай)
Группа 4 — «Финансовые показатели»	
Кредитование частного сектора за счет внутренних источников, % от ВВП	Мин.: 65,4 (Израиль) Макс.: 187,0 (США)

Рыночная капитализация отечественных компаний, % от ВВП	Мин.: 29,9 (Австрия) Макс.: 260,9 (Швейцария)
Денежная масса, % к ВВП	Мин.: 59,1 (Россия) Макс.: 252,0 (Япония)
Индекс потребительских цен, прирост к предыдущему году, %	Мин.: 0,363 (Швейцария) Макс.: 4,470 (Россия)
Группа 5 — «Вооруженные силы»	
Военные расходы, млрд долларов	Мин.: 0,429 (Люксембург) Макс.: 731,700 (США)
Численность личного состава вооруженных сил, тыс. человек	Мин.: 2,0 (Люксембург) Макс.: 2875,6 (Китай)
Группа 6 — «Наука и инновации»	
Численность исследователей, выполнявших исследования и разработки, на 1 млн человек населения	Мин.: 1379,6 (Китай) Макс.: 8250,4 (Израиль)
Численность техников, выполнявших исследования и разработки, на 1 млн человек населения	Мин.: 519,5 (Япония) Макс.: 3166,0 (Люксембург)
Внутренние затраты на исследования и разработки, % к ВВП	Мин.: 0,99 (Россия) Макс.: 4,95 (Израиль)

В этой связи представляется целесообразным сопоставить показатели национальной силы и национальной безопасности. В таблице 4.29 приведены соответствующие коэффициенты корреляции между интегральными индексами упомянутых агрегатов.

Обращает на себя внимание, что в обоих рейтингах лидируют США и Китай, а Россия, будучи четвертой по национальной силе (до недавнего времени была третьей), по национальной безопасности уже не входит в первую десятку стран. Таким образом, имеющийся потенциал далеко не всегда означает эффективность управления им, о чем и свидетельствуют полученные коэффициенты, демонстрирующие среднюю по силе зависимость.

Прогнозирование

Далее мы переходим к заключительной части работы — прогнозированию национальной безопасности на среднесрочный период. Сразу оговоримся, что основная цель исследования заключалась в описании методики оценки интегральных показателей национальной безопасности и их расчета за весь период, для которого есть официальные статистические данные. Тем не менее исследование было бы неполным без прогноза на будущее с использованием рассчитанных весов для отобранных нами факторов.

Для прогноза переменных экономического и финансового блоков мы будем использовать симулятор SED (см. раздел 4.3). Для показателей, связанных с наукой и инновациями, вооруженными силами и смертностью, мы экстраполируем отслеживаемые нами десятилетние тренды.

Таким образом, мы рассчитаем показатели национальной безопасности 193 стран мира до 2025 г. в зависимости от наиболее вероятного, с нашей точки зрения, сценария мировой динамики.

Сценарий был прописан в разделе 4.1. В его основе лежит предположение о том, что в среднесрочном периоде будет продолжаться усиление регионализации глобальных производственных цепочек, а также перераспределение товарных потоков между ключевыми торговыми партнерами и эскалация многополярности. В рамках сценария предусматривается постепенный перенос производственных мощностей из Китая частично в США и страны

Таблица 4.29. Коэффициенты корреляции между интегральными показателями национальной силы и национальной безопасности 193 стран — членов ООН

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0,780	0,764	0,760	0,771	0,779	0,766	0,773	0,770	0,775	0,756	0,757

ЕС, но также с целью минимизации издержек и в развивающиеся страны (Индию, Бразилию, Мексику и др.). Конкретно в модели будем считать следующие события до 2025 г.: 1) постепенное сокращение торгового дисбаланса между США и Китаем на 5% в год; 2) увеличение объема торговли между США и странами ЕС, с одной стороны, и Индией, Вьетнамом, Мексикой и Бразилией — с другой. Предполагается, что торговля будет расти со средним значением прироста 5% в год; 3) увеличение внутреннего спроса в Китае на 6% в год; 4) увеличение доли стран АТР в общем объеме экспорта нефти и нефтепродуктов России до 40% к 2025 г.

Выходных параметров в симуляторе очень много, но в качестве результатов мы приведем расчетные значения только индексов национальной безопасности для 15 стран-лидеров (таблица 4.30). Такие показатели, как ВВП, ИПЦ и др., сильнее подвержены конъюнктурным изменениям, поэтому, с нашей точки зрения, больший интерес представляют комплексные показатели, одновременно охватывающие множество аспектов социо-эколого-экономических систем.

Как мы видим, в результате несколько снизились показатели национальной безопасности для США и ряда европейских стран (Швейцарии, Австрии, Франции, Люксембурга), России, Канады и Японии, что связано не только с изменениями глобальных торговых цепочек, но и с процессами депопуляции и старения населения. В свою очередь, Китай заметно сокращает разрыв с США.

В таблице 4.31 приведены места для 15 стран — лидеров в итоговом рейтинге (значения указывают на ранг страны по интегральному показателю среди остальных государств).

Пять государств поменяли свое положение в рейтинге — Австрия, Канада, Россия, Швеция и ОАЭ, причем более остальных потеряла позиции Россия. Это является следствием нисходящих трендов по показателям, связанным со смертностью, качеством жизни и регрессом в сфере науки и инноваций. Заметно улучшили свои позиции ОАЭ и Швеция. В целом же перечень 15 стран — лидеров по национальной безопасности остался неизменным.

Отметим, что в дальнейшем многое будет зависеть от динамики форс-мажорных факторов (пандемии, международных конфликтов и т. д.), а также намечающихся тенденций, связанных с сокращением углеродного следа в рамках Парижского соглашения по климату³²².

³²² Paris Agreement. Электронный ресурс: https://treaties.un.org/doc/Treaties/2016/02/20160215%2006-03%20PM/Ch_XXVII-7-d.pdf (дата обращения: 25.03.2021).

Таблица 4.30. Интегральные показатели национальной безопасности для 15 стран-лидеров за 2020 и 2025 гг.

Страны	2020	2025
1. США	10,59	10,31
2. Китай	5,96	6,65
3. Республика Корея	3,77	3,84
4. Швейцария	3,47	3,25
5. Япония	3,28	3,13
6. Германия	3,05	3,06
7. Франция	2,88	2,87
8. Великобритания	2,60	2,65
9. Люксембург	2,55	2,46
10. Австрия	2,51	2,45
11. Канада	2,44	2,42
12. Россия	2,43	2,34
13. Швеция	2,41	2,46
14. Израиль	2,39	2,35
15. ОАЭ	2,34	2,40

Таблица 4.31. Ранг страны по значению интегрального индекса национальной безопасности для 15 государств — мировых лидеров

	2020	2025
1. США	1	1
2. Китай	2	2
3. Республика Корея	3	3
4. Швейцария	4	4
5. Япония	5	5
6. Германия	6	6
7. Франция	7	7
8. Великобритания	8	8
9. Люксембург	9	9
10. Австрия	10	11
11. Канада	11	12
12. Россия	12	15
13. Швеция	13	10
14. Израиль	14	14
15. ОАЭ	15	13

Общие выводы

1. Применение методов многомерного статистического анализа позволило оценить веса факторов национальной безопасности для всех стран — членов ООН, сняв при этом проблему субъективизма, неизбежно возникающую при экспертном оценивании.

2. Проведенное исследование может дополнить стратегии национальной безопасности стран мира в части:

- уточнения набора используемых показателей;
- методики расчета интегрального показателя, позволяющего проводить сравнение уровня национальной безопасности различных государств;
- определения диапазонов допустимых значений для показателей, нарушение границ которых влечет повышенные риски не только в соответствующих сферах, но и на уровне всей социо-эколого-экономической сферы конкретной страны.

3. Сопоставление показателей национальной силы и национальной безопасности показало, что управление имеющимся потенциалом во всех странах далеко не всегда эффективно.

4. Рассчитанные веса для используемых в методике показателей позволили спрогнозировать интегральные индексы национальной безопасности для 193 стран — членов ООН на среднесрочный период.

5. Текущая геополитическая конфигурация и сложившаяся система хозяйственных связей в среднесрочном периоде по-прежнему будут способствовать усилению Китая и ослаблению США.

4.3. Внешний контур — симулятор социально-экономической динамики (Social Economic Dynamics, SED)³²³

Этот симулятор, охватывающий более 100 стран мира хотя и настраивался с помощью сотрудников ЦЭМИ РАН в части спецификации агентов — участников социально-экономической системы России, но является разработкой коллег из Китая (IT-компания Guangzhou Milestone Software Co., Ltd, Национального суперкомпьютерного центра КНР, Академии общественных наук КНР).

В SED реализован функционал агентов различного типа: домашние хозяйства, предприятия и организации, относящиеся к различным отраслям, банки и прочие финансовые организации, правительственные органы всех уровней. Симулятор также включает в себя несколько модулей, обеспечивающих различный функционал: 1) контроль за социально-экономическими показателями; 2) мониторинг флуктуаций; 3) анализ экономического состояния; 4) прогноз экономического роста; 5) анализ экономической эффективности; 6) множественный эксперимент.

Поскольку число агентов в симуляторе превышает 100 млн, для технической реализации социума такого размера SED реализуется с использованием суперкомпьютера «Млечный путь — 2», часть узлов которого предоставлена в монопольный доступ. Эффективность используемых алгоритмов распараллеливания (отношение ускорения работы симулятора к числу используемых процессоров) достигает 70%. Более подробно симулятор описан в указанных работах^{324, 325}.

Симулятор SED был многократно использован для оценки различных эффектов от государственных управленческих решений в рамках тринадцатой пятилетки КНР, направленных на развитие внутреннего спроса и корректировку отраслевой структуры экономики.

С использованием этого инструмента и совместно с коллегами из КНР были проведены расчеты последствий различных сценариев торговых конфликтов между США и другими странами, с одной стороны, и Россией и Китаем — с другой. Были рассмотрены различные сценарии

³²³ Этот раздел составлен на основе материалов исследования Б. Р. Хабриева, выполненного под руководством А. Р. Бахтизина в соответствии с методологией, предложенной В. Л. Макаровым.

³²⁴ Макаров В. Л., Ву Ц., Ву З., Хабриев Б. Р., Бахтизин А. Р. Современные инструменты оценки последствий мировых торговых войн // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89, № 7. С. 745–754.

³²⁵ Макаров В. Л., Ву Ц., Ву З., Хабриев Б. Р., Бахтизин А. Р. Мировые торговые войны: сценарные расчеты последствий // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90, № 2. С. 169.

повышения импортных пошлин со стороны США и стран ЕС на все товары из Китая и России, а также симметричные ответные меры. Были также оценены последствия от гипотетического принятия ограничительных мер в отношении товаров российского экспорта со стороны стран ЕС, которые могут ввести соответствующие ограничения под давлением США³²⁶.

4.3.1. Современные инструменты оценки последствий торговых взаимодействий

Специальная литература о торговых конфликтах довольно обширна, но большинство работ носит теоретический характер и использует упрощенный математический инструментарий применительно к одно- или двухпродуктовым моделям, также рассматривающим весьма ограниченный набор стран, причем зачастую абстрактных. Тем не менее в работе Г. Джонсона, опубликованной в 1953 г. в издательстве Оксфордского университета, показывается, что крупные страны, как правило, выигрывают от торгового конфликта, в то время как небольшие — проигрывают³²⁷.

Подобного рода работ (преимущественно абстрактного характера), в которых описываются давно прошедшие события, очень много, и их анализ показывает, что глобальные торговые конфликты наносят ущерб всем странам и общемировые показатели снижаются, но при этом в большинстве случаев крупные страны по сравнению с небольшими все-таки оказываются в более выигрышном положении³²⁸.

Многие из перечисленных исследований широко известны, но здесь при анализе моделей сосредоточимся на тех, которые удовлетворяют следующим критериям:

1. Работы должны быть соотнесены с недавними мировыми событиями.
2. Большинство научных публикаций, посвященных анализу торговых конфликтов, носит характер обзоров прошедших событий и прогнозов развития ситуации, сделанных на основании высказываний известных людей. При этом только в немногих исследованиях используются

³²⁶ Макаров В. Л., Ву Ц., Ву З., Хабриев Б. Р., Бахтизин А. Р. Мировые торговые войны: сценарные расчеты последствий // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90, № 2. С. 169.

³²⁷ Johnson Harry G. Optimum Tariffs and Retaliation // *The Review of Economic Studies*, vol. 21. Issue 2 (1953–1954), p. 142–153.

³²⁸ Bagwell K., Staiger R.W. An Economic Theory of GATT // *American Economic Review*. 1999, vol. 89 (1), p. 215–248;

Baier S. L., Bergstrand J. H. The growth of world trade: tariffs, transport costs, and income similarity // *Journal of International Economics*. 2001, vol. 53(1), p. 1–27. DOI:10.1016/s0022-1996(00)00060-x;

Brander J. A., Spencer B. J. Export Subsidies and International Market Share Rivalry // *Journal of International Economics*. 1985, vol. 18, p. 83–100;

Burniaux J. M., Delorme F., Lienert I., Martin J. P. WALRAS-A Multi-Sector, Multi-Country Applied General Equilibrium Model for Quantifying the Economy-wide Effects of Agricultural Policies. OECD Economic Studies. 1990, vol. 13, p. 69–102;

Christian B., Limao N., Weinstein D. E. Optimal Tariffs and Market Power: The Evidence // *American Economic Review*. 2008, vol. 98 (5), p. 2032–2065;

Dixit A. Strategic Aspects of Trade Policy. In *Advances in Economic Theory: Fifth World Congress* / edited by T. F. Bewley. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1987, p. 329–364;

Dixon P., Jerie M., Rimmer M. Modern Trade Theory for CGE Modelling: The Armington, Krugman and Melitz Models // *Journal of Global Economic Analysis*. 2016, vol. 1 (1), p. 1–110. DOI: <http://dx.doi.org/10.21642/JGEA.010101AF>;

Fernando Alvarez, Lucas Robert E. Jr. General Equilibrium Analysis of the Eaton-Kortum Model of International Trade // *Journal of Monetary Economics*. 2007, vol. 54 (6), p. 1726–68;

Robert G. The Political Economy of International Relations // Princeton University Press. 1987, p. 1–449;

Glick R., Taylor A. Collateral Damage: Trade Disruption and the Economic Impact of War. 2005. DOI:10.3386/w11565;

Grossman G. M., Helpman E. Trade Wars and Trade Talks // *Journal of Political Economy*. 1995, vol. 103 (4), p. 675–708;

Jomini P., Zeitsch J. F., McDougall R., Welsh A., Brown S., Hambley J., Kelly J. SALTER: A General Equilibrium Model of the World Economy, Vol. 1. Model Structure, Data Base and Parameters. Canberra, Australia: Industry Commission. 1991;

Hamilton B., Whalley J. Optimal Tariff Calculations in Alternative Trade Models and Some Possible Implications for Current World Trading Arrangements // *Journal of International Economics*. 1983, vol. 15 (3–4), p. 323–348;

Horwell D. J. Optimum Tariffs and Tariff Policy // *Review of Economic Studies*. 1966, vol. 33, p. 147–158;

Kennan J., Riezman R. Do Big Countries Win Tariff Wars? // *International Economic Review*. 1988, vol. 29 (1), p. 81–85;

Krugman P. Scale Economies, Product Differentiation, and the Pattern of Trade // *American Economic Review*. 1980, vol. 70 (5), p. 950–959;

Kuga J. Tariff Retaliation and Policy Equilibrium // *Journal of International Economics*. 1973, vol. 3 (4), p. 351–366;

Maggi J. Strategic Trade Policies with Endogenous Mode of Competition // *American Economic Review*. 1996, vol. 86, p. 237–258;

Mayer W. Theoretical Considerations on Negotiated Tariff Adjustment // *Oxford Economic Papers*. 1981, vol. 33, p. 130–149;

Ossa R. Trade Wars and Trade Talks with Data // *American Economic Review*. 2014, vol. 104 (12), p. 4104–4146;

Riezman R. Tariff Retaliation from a Strategic Viewpoint // *Southern Economic Journal*. 1982, vol. 48, p. 583–593;

Tower E. The Optimum Quota and Retaliation // *Review of Economic Studies*. 1975, vol. 42 (4), p. 623–630.

математические методы оценки последствий решений, принимаемых субъектами международных отношений, имеющих как прямое, так и опосредованное влияние на других участников. В обзоре сконцентрируемся на последних и наиболее цитируемых среди них.

3. Используемые в работах модели должны быть построены на реальных данных, и с их помощью должны быть произведены расчеты последствий торговых конфликтов.

Следует отметить, что аналитические центры США и Китая уже давно предполагали возможность введения обоюдных санкций и в связи с этим заблаговременно рассчитывали последствия. Помимо засекреченных исследований в свободном доступе имеются научные статьи, в которых выдвигались гипотезы о возможном торговом конфликте между упомянутыми государствами и приводилась соответствующая оценка мер. Так, в одной из работ 2012 г. описывается разработанная модель общего равновесия, рассматривающая торговые отношения между их укрупненными участниками (США, Китай, ЕС, Япония и объединенный остальной мир)³²⁹. Результаты вычислительных экспериментов, реализующих поэтапное обоюдное увеличение тарифов на импортные товары США и Китая с 25 до 100%, в целом показали, что торговые конфликты приводят к незначительному снижению уровня благосостояния жителей рассматриваемых субъектов, причем для Китая эти показатели снижаются больше, чем для остальных. Основным отслеживаемым показателем при расчетах был уровень социального обеспечения граждан. Так, при введении обоюдных импортных пошлин со стороны США и Китая на соответствующие товары до уровня 25% уровень благосостояния в США увеличится на 0,31%, а в Китае и остальном мире снизится на 0,15 и 0,04% соответственно. В случае же увеличения пошлин до 100% уровень благосостояния в США вырастет на 0,91%, а в Китае и остальном мире снизится еще больше — на 0,51 и 0,13% соответственно.

Со стороны США в RAND Corporation (стратегическом исследовательском центре США), выполняющем работы по заказу государственных структур, в том числе вооруженных сил, проводятся исследования по оценке последствий предполагаемых конфликтов различного типа с Китаем (торговых, информационных и в том числе непосредственных столкновений с использованием боевых подразделений и военной техники). В частности, оценивались последствия от частичного и полного прекращения торговли. При реализации самого стрессового варианта — полного прекращения торговли — ВВП США снизится на 6% в первый год реализации данного сценария, а ВВП Китая — на 10%³³⁰.

Одним из самых известных проектов в области разработки инструментальных средств для количественной оценки торговых конфликтов является проект глобального торгового анализа (The Global Trade Analysis Project — **GTAP**), представляющий собой международный консорциум, объединяющий представителей различных сфер деятельности (государственных служащих, бизнесменов и др.), но в первую очередь — научных исследователей, занимающихся вопросами количественного анализа международных отношений.

GTAP был инициирован в 1992 г. и является своего рода стандартом для построения глобальных моделей, использующих единую методологию, основанную на подходе CGE (Computable General Equilibrium), а также глобальную базу данных, используемую исследователями по всему миру и разработанную для интеграции в модельные комплексы, реализуемые на основе общей методологии. Масштабы проекта глобальны, поскольку число постоянных членов консорциума, представляющих 176 стран, — более 18 тыс. человек.

Все разрабатываемые с использованием методологии GTAP модели включают в себя не одну страну, а сразу группу стран или весь мир. Помимо этого, модели GTAP являются моделями общего равновесия, поэтому экономические системы рассматриваемых стран представлены не отдельными их секторами, а сразу всеми.

³²⁹ Dong Y., Whalley J. Gains and Losses from Potential Bilateral US-China Trade Retaliation // *Economic Modelling*, Elsevier. 2012, vol. 29 (6), p. 2226–2236.

³³⁰ Gompert D. C., Astrid S. C. and Garafola C. L. War with China: Thinking Through the Unthinkable, Santa Monica, Calif., 2016 [электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1140.html (дата обращения: 08.02.2019).

Методология GTAP включает в себя множество нюансов, поэтому здесь мы ограничимся приведенной выше ее краткой характеристикой и рассмотрим наиболее известные модели, построенные в рамках проекта GTAP³³¹.

WorldScan — модельный комплекс, включающий в себя CGE-модели, позволяющие анализировать макроэкономические процессы на различных уровнях (глобальном, отдельной страны, региона или отрасли). Он построен по методологии GTAP и рассматривает 29 товарных групп (продукцию промышленного производства, сельского хозяйства, транспортные, коммуникационные, финансовые услуги и др.), торгуемых 30 отдельными странами (имеющими наибольший вес в мировом ВВП) и укрупненными регионами, включающими в себя несколько государств. Перечислим рассматриваемые страны: 1) Австрия; 2) Бельгия и Люксембург; 3) Дания; 4) Финляндия; 5) Франция; 6) Германия; 7) Греция; 8) Ирландия; 9) Италия; 10) Нидерланды; 11) Португалия; 12) Испания; 13) Швеция; 14) Великобритания; 15) остальные страны ЕС — Болгария, Хорватия, Кипр, Чехия, Эстония, Венгрия, Латвия, Литва, Мальта, Польша, Румыния, Словакия, Словения; 16) США; 17) Мексика; 18) Канада; 19) Австралия; 20) Япония; 21) Южная Корея; 22) остальные страны ОЭСР — Чили, Израиль, Новая Зеландия, Норвегия, Швейцария, Турция, Тайвань; остальные страны ЕАСТ — Исландия и Лихтенштейн; 23) остальные страны Восточной Европы: Албания, Беларусь, Россия, Украина, Молдова; остальные страны Европы; 24) Китай и Гонконг; 25) страны АСЕАН; 26) Индия; 27) страны Ближнего Востока и Северной Африки; 28) страны Африки к югу от Сахары; 29) страны Латинской Америки и Карибского бассейна; 30) остальной мир.

Товары и услуги в модели производятся с использованием ресурсов (труд, капитал, промежуточные продукты), вклад которых определяется параметрами соответствующей производственной функции. Домашние хозяйства формируют спрос на товары и услуги в зависимости от цен и доходов, сберегают и инвестируют часть средств, а также обеспечивают предложение рабочей силы на рынке труда. В модели все взаимосвязано, поэтому предложение и спрос на конкретный товар в отдельно взятой стране формируются с учетом спроса и предложения этого товара в других странах, а цена зависит от возможностей замещения, транспортных издержек, торговых барьеров и прочих факторов.

С использованием *WorldScan* оценивались последствия повышения тарифов как на отдельные виды продуктов (к примеру, на алюминий), так и на отрасли в целом применительно как к отдельным странам последовательно, так и ко всем одновременно. По результатам расчетов выяснилось, что наиболее чувствительными к торговым конфликтам секторами в США и Китае являются электронная промышленность, машиностроение и сельское хозяйство.

Для экономии места приведем результаты расчетов последствий постепенного увеличения импортных пошлин сразу на все рассматриваемые в модели группы товаров (от 0 до 15%), торгуемых между всеми учитываемыми в модели государствами. По этой же причине рассмотрим только ВВП некоторых стран (таблица 4.32), хотя перечень выходных показателей модели очень широк.

Основной вывод заключается в следующем: эскалация торгового конфликта невыгодна всем, однако в случае ее одностороннего ведения из США по отношению к странам ЕС, Канаде и, главным образом, Китаю выигрывает американская сторона. В случае двусторонних симметричных воздействий между США и Китаем наибольшие потери несет последний, как и при масштабном торговом конфликте.

Также следует отметить, что негативные последствия усиливаются непропорционально увеличению импортных пошлин, поскольку агенты модели приспосабливаются к новым условиям³³².

³³¹ См. полное описание последней версии: Corong E., Hertel T., McDougall R., Tsigas M., van der Mensbrugge D. The Standard GTAP Model, Version 7 // *Journal of Global Economic Analysis*. 2017, vol. 2 (1), p. 1–119. DOI: <http://dx.doi.org/10.21642/JGEA.020101AF>. См. также о глобальной базе и особенностях работы с ней: Aguiar A., Narayanan B., McDougall R. An Overview of the GTAP 9 Data Base. *Journal of Global Economic Analysis*. 2016, vol. 1 (1), p. 181–208. DOI: 10.21642/JGEA.010103AF.

³³² Johannes B., Hugo R.-R. Trade Wars: Economic Impacts of US Tariff Increases and Retaliations. An International Perspective // CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis. June 2018.

Таблица 4.32. Результаты моделирования: изменения ВВП ряда стран по сравнению с базовыми значениями этого показателя в 2030 г. в зависимости от изменения уровней импортных пошлин, в процентных пунктах

	США	Китай	Все страны ЕС	Япония	Южная Корея	Канада	Мексика
Увеличение пошлин на 2,5%	-1,4	-2,1	-1,1	-4,3	-6,4	-1,1	-1,2
Увеличение пошлин на 5%	-2,3	-3,1	-1,7	-6,4	-9,3	-1,8	-1,9
Увеличение пошлин на 10%	-2,9	-3,8	-2,0	-7,7	-11,1	-2,1	-2,3
Увеличение пошлин на 15%	-3,1	-4,0	-2,1	-8,1	-11,6	-2,2	-2,5

Источник: составлено авторами на основе данных CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis.

GLOBE — глобальная мультисекторальная модель³³³, разработанная специалистами Гогенгеймского университета (Штутгарт, Германия) и военно-морской академии США также с использованием методологии GTAP, была использована для оценки последствий торгового конфликта между странами североамериканской зоны свободной торговли, регулируемой соответствующим соглашением (Североамериканское соглашение о свободной торговле (North American Free Trade Agreement, NAFTA)).

С помощью модели было проведено большое количество экспериментов, но мы приведем результаты только для основных показателей, полученных в рамках двух сценариев: 1) соглашение NAFTA прекращается, но между США, Канадой и Мексикой вводится режим наибольшего благоприятствования в торговле (Most Favoured Nation (MFN)); 2) США повышают импортные пошлины против Канады и Мексики на 25%, которые поступают аналогично по отношению к США, а друг с другом сохраняют прежний режим торговли (таблица 4.33).

Другие детальные результаты, показывающие влияние торгового конфликта на широкий спектр отраслей экономики, приведены в работе «Крах североамериканской зоны свободной торговли, торговый конфликт и разъединение Северной Америки»³³⁴.

MIRAGRODEP, многострановая, многосекторная CGE-модель, базирующаяся на более общей модели MIRAGE (Modelling International Relationships under Applied General Equilibrium) и методологии GTAP, разработана в Международном исследовательском институте продовольственной политики (Вашингтон, США).

Полученные с ее помощью результаты с небольшими вариациями повторяют приведенные выше оценки. Так, при установлении США импортных пошлин на уровне 35% в отношении Китая и Мексики значительно сокращается душевой доход населения этих стран — в диапазоне от -0,3 до -1,0% для Китая и от -0,3 до -3,2% для Мексики (в зависимости от товарных групп,

³³³ McDonald S., Thierfelder K. Globe v2: A SAM based global CGE model using GTAP data, 2015 [электронный ресурс]. Режим доступа: www.cgemod.org.uk (дата обращения: 08.02.2019).

³³⁴ Robinson S., Thierfelder K. NAFTA collapse, trade war and North American disengagement // Journal of Policy Modeling. 2018. 40 (3), p. 614–635. DOI:10.1016/j.jpolmod.2018.03.011.

Таблица 4.33. Изменение ВВП в результате реализации двух сценариев изменения режима торговли между странами NAFTA относительно базового варианта, в процентных пунктах

	США	Мексика	Канада
Сценарий 1	-0,23	-4,62	-0,05
Сценарий 2	-0,37	-4,63	-1,35

Источник: составлено авторами на основе данных Scott McDonald & Karen Thierfelder.

на которые вводятся пошлины) относительно базового варианта, при котором никаких мер не предусматривается. Но и для самих США все рассчитанные варианты влекут незначительное снижение указанного показателя (от $-0,1$ до $-0,2\%$). Более подробно с полученными результатами реализации 18 сценариев торгового конфликта можно ознакомиться в работе «Торговые конфликты США с развивающимися странами в XXI веке»³³⁵.

Центр международной торговли и экономики и Институт мировой экономики и политики Китайской академии общественных наук (Китай) разработали глобальную модель для оценки последствий торгового конфликта между США и Китаем, относящуюся к классу CGE-моделей.

Глобальная CGE-модель включает в себя 29 отдельных государств, а также объединенные в группы страны, в том числе: 1) Австралию; 2) Бахрейн; 3) Бразилию; 4) Бруней; 5) Канаду; 6) Чили; 7) Китай; 8) Европейский союз; 9) Индию; 10) Индонезию; 11) Японию; 12) Республику Корею; 13) Кувейт; 14) Малайзию; 15) Мексику; 16) Новую Зеландию; 17) Оман; 18) Папуа — Новую Гвинею; 19) Перу; 20) Филиппины; 21) Катар; 22) Россию; 23) Саудовскую Аравию; 24) Сингапур; 25) Таиланд; 26) Объединенные Арабские Эмираты; 27) США; 28) Вьетнам; 29) остальной мир.

Факторы производства в соответствующих производственных функциях с постоянной эластичностью замещения включают в себя труд, капитал и товары, относящиеся к промежуточному потреблению.

Статистическая информация получена от управлений государственной статистики соответствующих стран, а также из базы данных Всемирного банка, данные по торговле — из базы статистики торговли товарами между странами ООН (UN Commodity Trade Statistics Database), содержащей подробную информацию по торговым отношениям почти всех стран мира с начала прошлого века.

Торговые издержки делятся в модели на две составляющие: 1) пошлины на импортные товары (для этого используются данные статистики ВТО); 2) нетарифные барьеры, рассчитываемые как разница между торговыми издержками и импортными пошлинами.

С использованием разработанной глобальной модели было проведено множество экспериментов в рамках нескольких сценариев торгового конфликта: 1) односторонние воздействия в части повышения импортных пошлин и взаимные меры между США и Китаем; 2) обоюдное введение пошлин, а также нетарифных барьеров между США и Китаем; 3) одновременное введение импортных пошлин со стороны США в адрес Китая и Мексики и прочие вариации.

В рамках экспериментов рассматривались пошлины сразу на все импортируемые в конкретную страну товары, хотя в модели есть возможность оценки последствий изменения пошлины на конкретную товарную группу.

Приведем результаты только по одному выходному показателю — ВВП (по странам), а также по ограниченному набору сценариев (таблица 4.34).

В целом последствия взаимного повышения пошлин в процессе торгового конфликта для Китая имеют более негативные последствия, чем для США. Практически во всех случаях (не только в представленных здесь) США увеличивают ВВП и объем производства, но ухудшают свои показатели по занятости. В то же время участие Мексики в торговом конфликте с США вносит определенные коррективы и незначительно ухудшает положение американских компаний.

Большинство других стран улучшает свои торговые показатели, но одновременно с этим ухудшает показатели по ВВП, производству и больше всего по занятости.

Таким образом, для мира в целом влияние торгового конфликта между США и Китаем негативно — снижаются практически все показатели, а исключение составляет лишь непродовольственная сфера³³⁶.

³³⁵ Bouët A., Laborde D. US trade wars with emerging countries in the 21st century: Make America and Its partners lose again, 2017 [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ebrary.ifpri.org/cdm/ref/collection/p15738coll2/id/131368> (дата обращения: 15.11.2021).

³³⁶ Chunding Li, Chuantian He, Chuangwei Lin. Economic Impacts of the Possible China-US Trade War, Emerging Markets Finance and Trade. 2018. DOI: 10.1080/1540496X.2018.1446131.

Глобальная модель *KPMG-MACRO*, разработанная в Австралийском подразделении компании KPMG (одна из компаний «Большой четверки», оказывающая аудиторские и консультационные услуги), построена на базе ежеквартальной макроэкономической модели NiGEM, поддерживаемой Национальным институтом экономических и социальных исследований Великобритании (National Institute of Economic and Social Research) и используемой Казначейством Вели-

Таблица 4.34. Изменения ВВП в результате реализации различных сценариев торгового конфликта по сравнению с базовыми значениями этого показателя, в процентных пунктах

	Торговый конфликт между США и Китаем		Торговый конфликт между Китаем, США и Мексикой	
	США — Китай (15%)	США — Китай (60%)	США — Китай (45%); США — Мексика (20%)	США — Китай (45%); США — Мексика (35%)
Китай	-0,667	-1,790	-1,518	-1,518
США	0,007	0,126	-0,074	-0,134
ЕС	-0,024	-0,057	-0,055	-0,055
Япония	-0,044	-0,110	-0,102	-0,104
Корея	-0,102	-0,261	-0,239	-0,242
Канада	-0,006	0,023	-0,023	-0,031
Австралия	-0,084	-0,222	-0,208	-0,216
Новая Зеландия	-0,299	-0,803	-0,755	-0,790
Сингапур	-0,108	-0,283	-0,263	-0,272
Индия	-0,065	-0,169	-0,161	-0,168
Россия	-0,058	-0,152	-0,141	-0,145
Бразилия	-0,054	-0,141	-0,138	-0,145
Мексика	-0,014	0,006	-3,096	-4,543
Индонезия	-0,114	-0,301	-0,281	-0,291
Малайзия	-0,204	-0,535	-0,500	-0,518
Филиппины	-0,239	-0,638	-0,596	-0,620
Таиланд	-0,176	-0,462	-0,427	-0,440
Вьетнам	-0,298	-0,788	-0,739	-0,768
Перу	-0,276	-0,737	-0,707	-0,744
Бруней	-0,098	-0,255	-0,230	-0,235
Остальной мир	-0,046	-0,111	-0,101	-0,101
ВЕСЬ МИР	-0,114	-0,277	-0,336	-0,376

Источник: составлено авторами на основе данных The International Food Policy Research Institute.

Таблица 4.35. Среднегодовые потери в результате введения импортных пошлин в ходе торгового конфликта: изменение ВВП соответствующих государств относительно базового сценария

	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
	США и Китай вводят обоюдные 15-процентные пошлины на ввозимые товары	США и Китай вводят обоюдные 25-процентные пошлины на ввозимые товары	Распространение торгового конфликта между США и Китаем на остальные страны — повышение пошлин на 15%
Австралия	-0,3%	-0,5%	-2,4%
США	-0,4%	-0,7%	-4,6%
Китай	-0,6%	-1,0%	-5,3%
Европа	-0,2%	-0,3%	-2,1%
Весь мир	-0,3%	-0,5%	-3,5%

Источник: составлено авторами на основе данных KPMG-MACRO.

кобритании, МВФ, Банком Англии, ОЭСР и Европейским центральным банком для широкого спектра исследований. В KPMG-MACRO рассматривается более 60 стран, взаимодействующих на финансовых и товарных рынках, а также на рынках труда³³⁷.

С использованием модели было проведено множество расчетов, но здесь мы приведем только основные результаты (таблица 4.35).

Аналитической службой Moody's Analytics и исследовательским центром Moody's Research Labs Inc. были рассчитаны последствия торгового конфликта между США и Китаем, предусматривающие обоюдное повышение импортных пошлин на ввозимые товары.

Для расчетов использовалась глобальная макроэкономическая модель, представляющая собой большую систему одновременных эконометрических уравнений, рассматривающая 64 страны, которые в совокупности производят более 95% мирового ВВП в разрезе более 10 тыс. показателей³³⁸.

В результате расчетов получилось, что при повышении импортных пошлин на 25% ВВП США к 2020 г. сократится на 1,9 процентного пункта относительно инерционного варианта развития экономики, а уровень безработицы составит более 5%.

Свои многострановые модели разработали крупнейшие международные организации:

- новая глобальная модель **OECD** (The OECD's New Global Model), включающая в себя укрупненные территории: 1) США; 2) Японию; 3) Китай; 4) страны зоны евро; 5) другие европейские страны OECD; 6) другие страны OECD; 7) страны Азии, не входящие в OECD; 8) европейские страны, не входящие в OECD; 9) страны Африки, Ближнего Востока и Латинской Америки, не входящие в OECD³³⁹;

- модели Международного валютного фонда — **MULTIMOD**, **GEM** и одна из самых последних — глобальная макрофинансовая модель (**Global Macrofinancial Model**), относящаяся к классу динамических стохастических моделей общего равновесия (DSGE) и рассматривающая более 40 крупнейших по размеру экономик стран мира³⁴⁰;

- модели Всемирного банка (например, модель долгосрочного роста — **The Long Term Growth Model**) и др.

Также следует отдельно отметить проект **LINK**, представляющий собой консорциум, объединяющий исследователей из более 100 стран и управляемый исследовательским Центром проекта LINK в Университете Торонто, а также Департаментом Организации Объединенных Наций по экономическим и социальным вопросам (United Nations Department of Economic and Social Affairs). Проект был начат в 1968 г. под эгидой Совета по исследованиям в области социальных наук США (U.S. Social Science Research Council) под руководством лауреата Нобелевской премии Л. Клейна, и его главным результатом стало интегрирование национальных эконометрических моделей стран — участников проекта в единую глобальную эконометрическую модель³⁴¹. Основная цель проекта — количественная оценка мер внешней политики, разрабатываемых Государственным департаментом США.

С учетом опыта проекта LINK в 2005 г. была начата работа по созданию Модели мирового экономического прогнозирования (WEFM), к настоящему времени включающей в себя 176 стран и около 60 отслеживаемых показателей для каждой из них³⁴². Нарботанная для WEFM методология также используется в многострановой модели Европейской системы центральных банков

³³⁷ Trade Wars: There are No Winners, 2018 [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/au/pdf/2018/trade-wars-no-winners.pdf> (дата обращения: 08.02.2019).

³³⁸ Hopkins Mark. About the Moody's Analytics Global Macroeconomic Model, 2018 [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.moodyanalytics.com/-/media/whitepaper/2018/global-macroeconomic-model-description-short-version> (дата обращения: 08.02.2019).

³³⁹ Herve K. et al. The OECD's New Global Model // OECD Economics Department Working Papers. Issue 768. Paris: OECD Publishing, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/5kmftp85kr8p-en>.

³⁴⁰ Vitek F. The Global Macrofinancial Model // International Monetary Fund Working Paper. WP/18/81. April 2018.

³⁴¹ LINK Global Economic Outlook Report [электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.un.org/development/desa/dpad/document_gem/link-global-economic-outlook-report (дата обращения: 08.02.2019).

³⁴² Altshuler C., Holland D., Hong P., Li H. The World Economic Forecasting Model at the United Nations, 2016 [электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.un.org/development/desa/dpad/wp-content/uploads/sites/45/publication/2016_Apr_WorldEconomicForecastingModel.pdf (дата обращения: 08.02.2019).

(The European System of Central Banks (ESCB) Multi-Country Model), реализованной для Франции³⁴³, Нидерландов³⁴⁴, Германии³⁴⁵, Италии³⁴⁶ и Греции³⁴⁷.

Прогнозы, получаемые с использованием указанных инструментов, с небольшими вариациями повторяют приведенные выше результаты, которые можно обобщить следующим образом:

1. При мировых торговых конфликтах ухудшается положение всех стран мира (как непосредственно вовлеченных, так и опосредованных участников).

2. Потери для больших стран с устойчивыми и диверсифицированными экономическими системами менее ощутимы по сравнению с небольшими государствами.

3. Как правило, страна, инициирующая повышение импортных пошлин, находится в более выигрышном положении, чем страна, против которой эти меры были приняты.

Анализ расчетов последствий торговых конфликтов, несмотря на то что он неполон, позволяет сделать следующие выводы:

1. Разработано большое количество различных моделей, описывающих экономические системы отдельных стран, однако лишь в редких случаях в моделях одновременно учитываются несколько государств.

2. Доступные для анализа модели в подавляющем большинстве относятся к классу CGE-моделей, что несколько снижает их реалистичность, поскольку равновесный подход неплохо себя оправдывает для анализа сбалансированных и устойчивых экономических систем, а множество стран не соответствуют данным критериям.

3. Анализ зарубежных моделей и полученные с их использованием результаты оставляют ощущение ангажированности в пользу отдельных государств, а соответственно, страдают и результаты оценки.

4. Модели, включающие в себя группу государств, разрабатываются исследовательскими группами, относящимися, как правило, только к одной стране, и, как следствие, не в полной мере учитываются специфические особенности остальных стран.

5. Имеющиеся в свободном доступе описания моделей, так же как и их закрытые аналоги, дополнительно не содержат доступные для использования компьютерные реализации, а с учетом того, что разработка подобных инструментов является затратным по времени и ресурсам (финансовым и интеллектуальным) процессом, это делает крайне затруднительным воспроизводство и проведение дополнительных расчетов сторонними исследователями.

6. С учетом современных реалий наибольший интерес при разработке глобальных моделей и оценке последствий торговых конфликтов вызывают крупнейшие мировые игроки, в первую очередь США и Китай. В свою очередь, Россия, к сожалению, присутствует в виде отдельного субъекта далеко не всегда и в большинстве случаев входит в группу стран под общим названием «остальной мир», а для нас интерес представляет именно наша страна. Пока введенные против нас санкции не приняли масштабного характера, но под давлением США ряд стран могут инициировать процесс введения импортных пошлин на товары российского экспорта.

Очень актуальным является вопрос разработки и практического использования эффективного инструмента оценки последствий межстрановых торговых конфликтов, позволяющего проводить расчеты мер, предпринимаемых другими странами против России.

4.3.2. Программно-аналитический комплекс

Используемый для расчетов программный комплекс включает в себя два инструмента, разработанных на основе различных парадигм моделирования:

³⁴³ Boissay F., Villetell J. The French Block of the ESCB Multi-Country Model // ECB Working Paper. 456. March 2005.

³⁴⁴ Angelini E., Boissay F., Ciccarelli M. The Dutch block of the ESCB multi-country model // ECB Working Paper Series. 646/June. 2006.

³⁴⁵ Vetlov I., Warmedinger T. The German Block of the ESCB Multi-Country model // ECB Working Papers Series. 654/July. 2006.

³⁴⁶ Angelini E., D'Agostino A., McAdam P. The Italian Block of the ESCB Multi-Country Model // ECB Working Paper. 660/July. 2006.

³⁴⁷ Sideris D., Zonzilos N. The Greek Model of the European System of Central Banks Multi-Country Model // Bank of Greece, Working Paper. Issue 20. 2005.

1. Симулятор социально-экономической динамики (Social Economic Dynamics (SED model), разрабатываемый совместно с IT-компанией Guangzhou Milestone Software Co., Ltd. (Гуанчжоу, Китай), Академией общественных наук КНР и Национальным суперкомпьютерным центром Китая, рассматривающий более 100 стран мира, субъекты которых взаимодействуют друг с другом посредством торгово-финансовых отношений. Этот инструмент разработан с использованием агент-ориентированного подхода³⁴⁸.

2. Комплекс CGE-моделей, разработанных в ЦЭМИ РАН под руководством академика РАН В. Л. Макарова и члена-корреспондента РАН А. Р. Бахтизина.

Взаимодействие между инструментами осуществляется следующим образом: SED является внешним контуром для комплекса CGE-моделей, и данные, рассчитанные с помощью первого инструмента, являются входными для второго.

Симулятор социально-экономической динамики

IT-компания Guangzhou Milestone Software Co., Ltd была основана в 1999 г., и основным направлением ее деятельности является разработка технологий моделирования социально-экономических систем. Компания тесно сотрудничает с Национальным суперкомпьютерным центром в Гуанчжоу, а главный продукт компании — симулятор SED, разработанный совместно с Академией общественных наук КНР, Министерством науки и технологий КНР и Департаментом науки и технологии провинции Гуандун, причем данный программный комплекс позиционируется как передовая высокотехнологичная платформа XXI в.³⁴⁹ Начиная с 2019 г. данный комплекс разрабатывается совместно с китайской стороной в соответствии с соглашением о создании российско-китайского экономико-математического центра, объединяющего три стороны: 1) Научный центр провинции Гуандун, подведомственный Департаменту науки и технологий провинции Гуандун; 2) ЦЭМИ РАН; 3) IT-компанию Guangzhou Milestone Software Co., Ltd.

Программный комплекс SED воспроизводит глобальную экономическую систему более 100 стран мира, субъекты которых взаимодействуют друг с другом посредством торгово-финансовых отношений. Для каждой страны формализованы агенты различных типов (домашние хозяйства, предприятия и организации, отрасли, рынки, банки, государственные сектора). В SED имитируются ежедневные изменения в торговых и финансовых отношениях, миграция рабочей силы и др., а общее число эндогенных переменных более 2600.

С использованием программного комплекса SED, в частности, был проведен глубокий анализ динамики развития новых отраслей экономики в рамках тринадцатой пятилетки. Результаты, в частности, показали, что для поддержания темпов экономического роста в Китае и достижения целевых показателей, предусмотренных пятилетним планом развития, требуется развитие новых отраслей и коррекция бюджетных расходов в пользу науки, образования и новых технологий.

Краткая характеристика модельного комплекса. В симуляторе присутствуют агенты следующих типов: домашние хозяйства, предприятия и организации, относящиеся к различным отраслям, банки и прочие финансовые организации, правительственные органы всех уровней (рисунок 4.6).

Домашние хозяйства различаются по большому набору характеристик, среди которых: пол, возраст, образование, уровень производительности труда и профессионализма, место работы (отрасль и предприятие), доход, потребительские предпочтения.

Предприятия и организации производят различные товары и услуги, определяют производственные планы и стратегии развития, а также платят налоги.

³⁴⁸ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р. Социальное моделирование — новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика, 2013.

³⁴⁹ Wang Guocheng, Wu Jie, Shi Yuna, Wu Zili (2015): Application Analysis on Large-Scale Computation for Social and Economic Systems: Application Case from China. 2015. P. 551–556. DOI: 10.1109/SMC.2015.107; Wu Jie. On wealth (II) / Beijing: Beijing University Press, 2012.

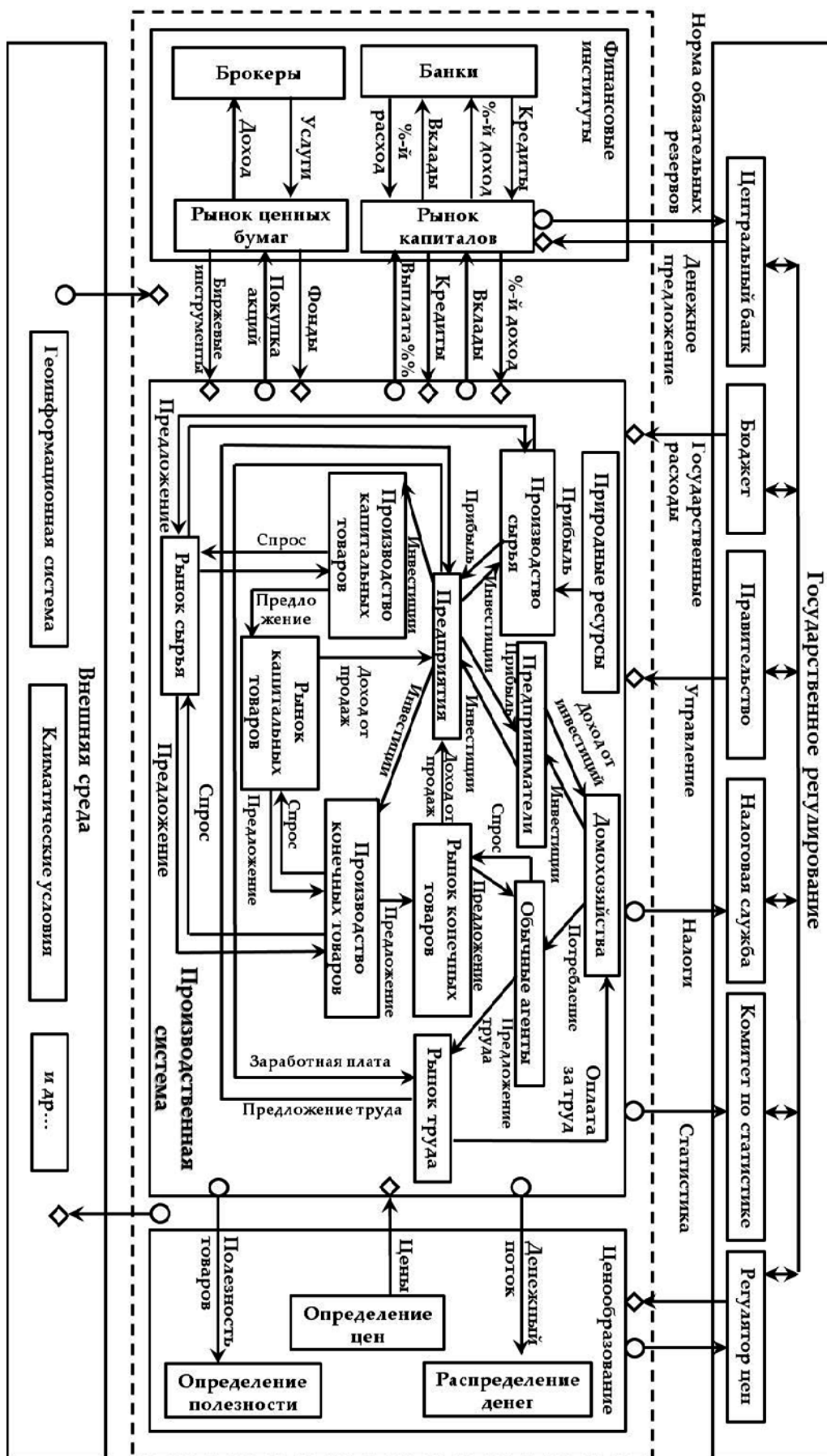


Рисунок 4.6. Концептуальная схема работы симулятора SED

Источник: составлено авторами на основе данных IT-компании Guangzhou Milestone Software Co., Ltd.

Финансовые институты предоставляют кредиты, инвестируют денежные средства, привлекают вклады, осуществляют операции с ценными бумагами и т. д.

Центральные банки осуществляют денежную эмиссию, обслуживают правительства (покупают государственные ценные бумаги, кредитуют и т. д.), определяют валютные курсы, рефинансируют организации финансового сектора, определяют ключевые процентные ставки и т. д.

Для спецификации агентов использовались статистические данные из большого набора источников: международные организации, в том числе занимающиеся сбором информации (Всемирный банк, ОЭСР и др.), национальные статистические службы, центральные банки, таможенные службы, профильные министерства наиболее значимых стран мира.

Поскольку условия ведения хозяйственной деятельности в разных странах в ряде случаев существенно различаются, агенты модели отличаются не только значениями параметров, но и реакцией на системные события, формализованные в виде соответствующих функций.

Хотя общее число рассчитываемых показателей более 2600, в первую очередь отслеживаются: ВВП, уровень безработицы, индекс цен, показатели торгового баланса, объем денежной массы и др. При калибровке модели диапазоны отклонений указанных переменных от контрольных значений на конец трехлетнего периода получились следующими: ВВП — 1–2%, уровень безработицы — 2–3%, денежные агрегаты M1, M2, M3 — менее 10%, индекс потребительских цен — 1–2%.

Платформа SED включает в себя несколько модулей, каждый из которых реализует функционал агентов определенного типа:

1. Модуль планирования действий домашними хозяйствами содержит процедуры, определяющие стратегии по управлению денежными средствами (сбережение, потребление и т. д.) в зависимости от параметров внешней среды и сигналов, посылаемых от других агентов.

2. Модуль планирования действий организациями и предприятиями содержит процедуры, определяющие стратегии по управлению финансовыми активами, производством, персоналом и прочим в зависимости от параметров внешней среды и сигналов, посылаемых от других агентов.

3. Модуль планирования действий на товарных рынках содержит процедуры, определяющие механизмы ценообразования, товарооборота и прочего в зависимости от параметров внешней среды и сигналов, посылаемых от других агентов.

4. Модуль планирования действий на финансовых рынках содержит процедуры, определяющие механизмы кредитования, управления финансовыми ресурсами и прочего в зависимости от параметров внешней среды и сигналов, посылаемых от других агентов.

5. Модуль планирования действий на рынках ценных бумаг содержит процедуры, определяющие механизмы их обращения на первичном и вторичном рынках в зависимости от параметров внешней среды и сигналов, посылаемых от других агентов.

6. Модуль планирования действий органов государственной власти содержит процедуры, определяющие стратегии в сфере бюджетного планирования, налогообложения и прочего в зависимости от параметров внешней среды и сигналов, посылаемых от других агентов.

Ниже перечислены основные функциональные спецификации SED:

1. Контроль за социально-экономическими показателями. В постоянном режиме система пополняется и обновляется статистической информацией из ряда источников (официальных и альтернативных), а кроме того, происходит верификация выходных показателей модельного комплекса с уже известной статистикой, с тем чтобы расхождения не превышали 2–3%.

2. Мониторинг флуктуаций. В процессе функционирования система отслеживает любые аномальные колебания (резкие изменения цен, спроса и предложения и т. д.), но главное — анализирует вызывающие их причины и предлагает набор решений по минимизации негативных последствий.

3. Анализ экономического состояния. С определенной периодичностью система сканирует агентов модельного комплекса на предмет выявления проблем, одновременно предлагая набор решений для улучшения ситуации.

4. Прогноз экономического роста. По запросу система генерирует ежемесячные, квартальные и годовые прогнозы в зависимости от выбранной траектории развития (либо базовой, либо исходя из запланированных сценариев по ее изменению).

5. Анализ экономической эффективности. По запросу система производит количественную оценку предлагаемых пользователями планов развития объектов различного уровня с целью выявления наиболее эффективного (с позиции predetermined критериев).

6. Множественный эксперимент. При проведении расчетов различных сценариев изменения управляющих параметров для каждого из них важно получить усредненную оценку (по множеству прогонов). А поскольку как прогонов, так и сценариев может быть много, система предусматривает их расчеты в параллельном и автоматическом режимах.

Используемая технология позволяет оперировать компьютерным социумом с числом агентов более 100 млн, а при использовании некоторых режимов эффективность распараллеливания (parallel efficiency), вычисляемого как отношение ускорения работы программы к числу используемых процессоров, достигает 70%.

Дополнительно развернут модуль на основе технологий искусственного интеллекта для глубокого анализа данных, их очистки и кластеризации.

Поскольку эксплуатация программного комплекса предъявляет повышенные требования к аппаратным ресурсам, по соглашению с Национальным суперкомпьютерным центром КНР для проведения множественных симуляций в монопольный доступ предоставлено нескольких тысяч узлов суперкомпьютера «Млечный путь — 2», и при запуске экспериментов в зависимости от настроек симулятор перенаправляет исполняемый код для вычислений.

4.4. Расчет последствий различных сценариев внешнеэкономических торговых конфликтов с участием России³⁵⁰

Нами были сделаны расчеты последствий нескольких гипотетических сценариев торговых конфликтов между США и странами ЕС, с одной стороны, и Россией и Китаем, с другой стороны, с использованием описанного выше программного комплекса.

Торговые конфликты инициируются как с целью захвата зарубежных рынков, так и для ослабления государств, против которых принимаются соответствующие меры, среди них основными являются следующие:

- повышение импортных и снижение экспортных таможенных пошлин;
- повышение экспортных и снижение импортных квот;
- введение нетарифных барьеров (усложнение процедур лицензирования продукции и растаможивания);
- эмбарго и др.

Перечисленные методы являются небольшой частью мер, которые могут быть направлены против конкретного государства с целью его ослабления (принуждения к выполнению обязательств и др.) со стороны международных межправительственных организаций или отдельных стран. К таким мерам относятся ограничения финансовых операций, различного рода запреты в отношении отдельных отраслей, предприятий, физических лиц и т. д. Эти мероприятия также могут быть просчитаны с использованием описанных выше инструментов, но здесь особое внимание уделено последствиям некоторых сценариев торгового конфликта между отдельными странами.

Из краткого анализа международной торговли можно сделать следующие выводы:

³⁵⁰ Расчеты проводились совместно со специалистами Национального суперкомпьютерного центра КНР в 2020 г. и являются лишь небольшой иллюстрацией возможностей построенного инструментария.

1. В силу экспортно-сырьевой модели и сильной зависимости от внешних факторов российская экономика потенциально уязвима в случае принятия мер, ограничивающих внешнюю торговлю России.

2. Китай в силу более диверсифицированной экономики менее уязвим, однако в случае серьезного давления со стороны основного торгового партнера — США — также может понести ущерб.

3. С учетом сильной взаимосвязи большинства стран мира через глобальные производственные цепочки и постоянно возрастающего объема мировой торговли давление на отдельных ключевых игроков отразится на всех. Главный вопрос — насколько значимым окажется мультипликативный эффект.

В связи с вышеизложенным мы будем тестировать различные сценарии торгового конфликта, направленного против России и Китая со стороны США и их сателлитов, которые, учитывая сложившуюся тенденцию нарушений международного права (в том числе и правил ВТО), могут реализовывать весь арсенал перечисленных выше средств.

Для расчетов предусмотрено два основных сценария торгового конфликта, первый из которых связан с повышением импортных пошлин на все товары из Китая и России, поставляемые в США и страны ЕС, а также с симметричными ответными мерами, а в рамках второго сценария предполагаются имитации дополнительных ограничительных мер в отношении всех российских экспортных товаров.

Повышение импортных пошлин. В ходе вычислительных экспериментов, проведенных в рамках первого сценария, были рассчитаны последствия различных вариантов торгового конфликта между Китаем, США и Россией, а также остальным миром.

По данным ВТО, средние значения реально применяемых ставок импортных пошлин составляют: в Китае — 9,8, в странах ЕС — 5,1, в России — 6,7, в США — 3,4%.

Для симуляций мы предусмотрели повышение импортных пошлин со стороны США и стран ЕС на все товары из Китая и России на 5, 10 и 15 процентных пунктов, а также симметричные ответные меры, осуществляемые в том же временном периоде (таблица 4.36).

Таким образом, в той или иной степени все вовлеченные в торговый конфликт страны терпят убытки. Китай теряет меньше, чем США, поскольку в рамках модели начал экспортировать часть товаров, недопоставленных в США, в другие страны, а недостающий импорт компенсировать сторонними поставками. Россия пострадала несколько больше, чем США и Китай, но примерно одинаково со странами ЕС.

Ограничительные меры в отношении российских товаров. Второй сценарий предусматривает гипотетическое принятие ограничительных мер в отношении всех российских экспортных товаров. Для расчетов предположим, что под воздействием США основные торговые партнеры России в странах ЕС введут ограничения на покупку экспортных товаров из нашей страны.

Такой способ давления западных стран уже не раз применялся в отношении отдельных государств (например, эмбарго в отношении Ирака и Ирана). В отношении России ограничения возможны, хотя и трудноосуществимы, поскольку она является крупнейшим поставщиком всех видов энергетических ресурсов в страны ЕС, причем с большим отрывом от конкурентов. Быстро

Таблица 4.36. Изменения ВВП некоторых стран мира относительно базового варианта развития экономики, в процентных пунктах

Изменение импортных пошлин, п. п.	Страны				
	Весь мир	США	Китай	Россия	Страны ЕС
На 5	-0,543	-0,648	-0,180	-0,881	-0,863
На 10	-0,621	-0,778	-0,212	-1,022	-0,998
На 15	-0,732	-0,918	-0,253	-1,206	-1,198

Источник: составлено авторами.

найти альтернативу российским поставкам природных ресурсов в ЕС весьма проблематично, хотя на этот счет с большой вероятностью разрабатываются компенсационные механизмы. В то же время отметим, что основу российского экспорта составляют минеральные продукты, поэтому ущерб от применения к России эмбарго также будет серьезным, поскольку переориентация на другие рынки потребует времени и больших затрат и в краткосрочной перспективе неосуществима. В связи с вышесказанным можно предположить, что полное эмбарго крайне маловероятно, однако возможно частичное ограничение на поставку российских товаров, что дает основания для проведения соответствующих расчетов. Для экспериментов предусмотрим варианты снижения закупок на 10, 20 и 30% от их полного объема.

По данным ВТО, в 2020 г. экспорт товаров в страны ЕС составил около 192 млрд долларов, и, таким образом, в рамках симуляций мы ограничим поставку товаров этим потребителям в соответствии с тремя вариантами: на 20 млрд, 40 млрд и 60 млрд долларов ежегодно (таблица 4.37).

Таким образом, ограничения на покупку товаров из России приводят к уменьшению доходов предприятий, сокращению поступлений в бюджет, снижению доходов домашних хозяйств, сжатию внутреннего спроса, росту цен и издержек производителей и в итоге за счет мультипликативного эффекта от прямых и косвенных каналов влияния введенных санкций — к заметному снижению ВВП страны, однако в динамике этот показатель несколько выправляется, т. е. система адаптируется под новые условия.

4.5. Приоритеты социально-экономической политики и развития нефтегазового комплекса³⁵¹

В более ранней работе³⁵² было показано, что с учетом текущей политической ситуации, в рамках которой пока не прослеживается перспектива снятия санкций и изоляции, а также с учетом явно недостаточного объема прямых иностранных инвестиций, необходимого для быстрого развития нашей страны, с целью укрепления государственного суверенитета крайне необходима переориентация на поиск внутренних источников инвестирования и на приоритетные направления социально-экономической политики, среди которых: 1) диверсификация экономики; 2) снижение дифференциации регионов по уровню их развития; 3) повышение социальной защищенности населения; 4) стимулирование внутреннего спроса и др. Все эти приоритеты были количественно оценены с использованием модельного комплекса ЦЭМИ РАН, и расчеты, в частности, показали, что для укрепления государственного суверенитета необходимо создание эффективных механизмов восстановления монетизации экономики, причем речь идет именно о значительных финансовых вливаниях (а не о дифференцированной поддержке отдельных предприятий) с одновременным введением валютного контроля и снижением ставки рефинансирования. Проведенные расчеты также свидетельствуют о том, что практически любое денежное вливание в реальный сектор приводит к приросту ВВП в силу значительной демонетизации экономики России.

³⁵¹ Расчеты проводились совместно со специалистами Национального суперкомпьютерного центра КНР в 2020 г. и являются лишь небольшой иллюстрацией возможностей построенного инструментария

³⁵² Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Хабриев Б. Р. Оценка эффективности механизмов укрепления государственного суверенитета России // Финансы: теория и практика. 2018. № 22 (5). С. 6–26.

Таблица 4.37. Изменение ВВП России в результате реализации вариантов ограничительных мер, в процентных пунктах от базового варианта развития экономики

Год	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1	-1,43	-2,74	-3,88
2	-1,42	-2,30	-3,50
3	-1,26	-2,16	-3,19

Источник: составлено авторами.

Рассмотрим далее отдельные приоритеты развития нефтегазового комплекса России в условиях санкционного давления. Ниже приведены целевые индикаторы, согласованные с задачами стратегического планирования и мониторинга развития нефтегазового комплекса на основе программно-целевого метода. Отметим, что они были отобраны путем экспертного опроса отраслевых специалистов, но также пересекаются с показателями проекта энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 г.³⁵³. Все они могут быть просчитаны с использованием приведенного выше инструментария, но в рамках исследования мы рассмотрим только некоторые из них, являющиеся наиболее важными с позиции санкционного давления и развития технологий:

- диверсификацию российского экспорта нефти и нефтепродуктов на внешние рынки за счет роста вклада АТР в структуру экспорта нефти и нефтепродуктов России до 38–40%;
- модернизацию нефтегазовой отрасли на базе прогрессивных технологий с преобладанием отечественных производителей оборудования, сервисных компаний и подрядчиков.

Диверсификация российского экспорта нефти и нефтепродуктов. Согласно традиционному страновому делению, АТР объединяет 58 стран и территорий, а крупнейшим торговым партнером России в АТР является Китай, на долю которого в общероссийском экспорте приходится около 14,6%. Экспорт товаров России в страны АТР и их доля в общем объеме экспорта стабильно растут, что говорит о возрастании спроса на товары российского экспорта, основу которого составляют минерально-сырьевые продукты.

Возможное введение санкций в отношении товаров российского экспорта, как и потенциальная угроза сокращения спроса на товары нефтегазового комплекса России со стороны европейских потребителей, причиной которого может стать увеличение доли других поставщиков (США, ближневосточные страны др.) и замещение традиционных энергоносителей альтернативными вариантами (ветроэнергетика, биоэнергетика и т. д.), повышает риски сокращения доли России на мировых рынках топливно-энергетических товаров. Помимо этого, увеличение предложения на обозначенных рынках повлечет снижение цены, что в свою очередь уменьшит объем экспорта в денежном выражении.

По данным портала внешнеэкономической информации Минэкономразвития России, сырьевой экспорт за 2019 г. снизился к 2018 г. на 7,1% (до 198,5 млрд долларов) именно в связи со снижением контрактных цен на сырую нефть, хотя в натуральном выражении объем поставок увеличился. Экспорт в страны ЕС, основу которого составляют топливно-энергетические товары, за тот же период снизился на 7,8%³⁵⁴.

В рамках вычислительных экспериментов рассмотрим различные сценарии увеличения рыночной доли нефтегазового комплекса России за счет рынков АТР и ее снижения в связи с потерей рынков в странах ЕС.

Согласно обозначенному выше приоритету экспорт товаров в страны АТР должен вырасти приблизительно с 80 млрд до 100 млрд долларов. Одновременно с этим предположим снижение объема экспорта нефтегазового комплекса России в другие страны на 5, 10 и 15%, или приблизительно на 10,3 млрд, 20,6 млрд и 30,9 млрд долларов соответственно. Таким образом, у нас получается три сценария:

- увеличение экспорта в страны АТР на 20 млрд долларов и одновременное снижение экспорта на 10,3 млрд долларов в другие страны;
- увеличение экспорта в страны АТР на 20 млрд долларов и одновременное снижение экспорта на 20,6 млрд долларов в другие страны;
- увеличение экспорта в страны АТР на 20 млрд долларов и одновременное снижение экспорта на 30,9 млрд долларов в другие страны.

³⁵³ Проект энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1920> (дата обращения: 02.10.2019).

³⁵⁴ Обзор и статистика внешней торговли России [электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ved.gov.ru/monitoring/foreign_trade_statistics (дата обращения: 05.04.2019).

После расчетов с использованием симулятора социально-экономической динамики были получены следующие результаты:

- сценарий 1 — увеличение ВВП на 0,62%;
- сценарий 2 — уменьшение ВВП на 0,34%;
- сценарий 3 — уменьшение ВВП на 0,85%.

Как видно из результатов, два последних сценария влекут за собой снижение ВВП, однако основной вывод заключается в правильности выбора стратегии диверсификации экспорта продуктов нефтегазового комплекса России.

Модернизация нефтегазовой отрасли с использованием прогрессивных технологий. После проведения эксперимента по оценке последствий от дополнительного финансирования науки и образования, а также предприятий и организаций, осуществляющих технологические инновации, с использованием CGE-модели экономики знаний был сделан вывод о том, что форсированное развитие секторов, основанных на знаниях, с одной стороны, ускоряет технологическое развитие нашей страны, а с другой — усиливает мультипликативный эффект, оказываемый на прочие отрасли экономики, увеличивая темпы роста ВВП³⁵⁵.

При сравнении варианта увеличения дополнительного финансирования в два раза секторов новой экономики и альтернативного варианта по вложению такого же объема средств в другие отрасли экономики страны получилось, что с позиции прироста ВВП в долгосрочном периоде денежные вливания в сектора новой экономики более эффективны, нежели в прочие отрасли.

Основная задача исследования заключалась в количественной оценке различных мероприятий, направленных на повышение суверенности страны, в то время как механизмы привлечения необходимых средств являются отдельной задачей, в силу ее объемности выпадающей из рассмотрения. Тем не менее часть из них описана, например, в работах А. Г. Аганбегяна³⁵⁶.

Исходя из полученных ранее результатов в текущем эксперименте проверена гипотеза о том, что финансирование инновационной деятельности предприятий и организаций нефтегазового комплекса также окажет положительное влияние не только на показатели соответствующей отрасли, но и за счет мультипликативного эффекта на экономику всей страны.

Одно из допущений заключается в том, что в рамках модели рассматривается более крупный вид экономической деятельности — добыча полезных ископаемых, и мы предполагаем, что полученные для него эффекты будут аналогичными и для предприятий и организаций нефтегазового комплекса, в силу того что последний является основой указанной отрасли.

³⁵⁵ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Хабриев Б. Р. Оценка эффективности механизмов укрепления государственного суверенитета России // Финансы: теория и практика. 2018. № 22 (5).

³⁵⁶ См., например: Аганбегян А. Г. 25 лет новой России. Экономический и социальный уровень: топтание на месте // Экономические стратегии. 2018. Т. 20, № 1 (151). С. 6–21.

Таблица 4.38. Затраты на технологические инновации предприятий, относящихся к добыче полезных ископаемых, млрд руб.

Сценарии	2022	2023	2024	2025
Инерционный	147,1	157,6	167,5	179,1
Сценарий 1	220,7	236,3	251,3	268,6
Сценарий 2	294,3	315,0	335,0	358,2

Источник: составлено авторами.

Таблица 4.39. Изменение ВВП России в результате увеличения затрат на технологические инновации, в процентных пунктах по отношению к базовому варианту развития экономики

	2022	2023	2024	2025
Сценарий 1	0,186	0,216	0,318	0,462
Сценарий 2	0,186	0,216	0,318	0,462

Источник: составлено авторами.

Согласно данным Росстата, затраты на технологические инновации предприятий, относящихся к добыче полезных ископаемых, в 2020 г. составили 121,8 млрд рублей. Предположим их ежегодное увеличение на 50% (сценарий 1) и 100% (сценарий 2) с 2022 по 2025 г. Их пролонгированные значения в рамках инерционного и предполагаемых сценариев развития экономики приведены в таблице 4.38.

Полученные с использованием отраслевой CGE-модели результаты приведены в таблице 4.39.

Таким образом, дополнительное финансирование технологических инноваций оказывает положительное влияние на экономику страны. За четыре года в случае реализации первого сценария можно получить 0,531% дополнительного прироста ВВП, а во втором — 1,182%. В рамках исследования обоснован дополнительный приоритет развития нефтегазового комплекса России, связанный с его технологической модернизацией.

За счет использования новых технологий, сильно приближающих разработанные симуляторы к имитируемым объектам и субъектам реального мира, программно-аналитический комплекс «МЁБИУС» или разработанная при его построении методология моделирования могут использоваться для задач планирования, мониторинга и прогнозирования социально-экономической системы нашей страны. Еще раз подчеркнем, что опыт наиболее развитых стран мира свидетельствует об активном применении таких инструментов для оценки практически любого значимого государственного управленческого решения.

С учетом вышеописанных моделей и технологий можно предложить следующие ключевые организационно-информационные решения преобразования управленческих механизмов в России на основе использования цифровых технологий.

ГЛАВА 5. КЛЮЧЕВЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

5.1. Возможность поддержки необходимой прозрачности каждого виртуально агрегированного экономического кластера как фрактальной части общей инфраструктуры цифровой экономики

Пакет методов и средств кластеризации информационных и телекоммуникационных сетей предполагает возможность поддержки необходимой прозрачности каждого виртуально агрегированного экономического кластера как фрактальной части общей инфраструктуры цифровой экономики^{357, 358, 359}.

1. На программном уровне в компьютерных системах ЦБ и комбанков необходимо отслеживать движение безналичных финансовых средств и идентифицировать каждый рубль с помощью присвоения индивидуального номера. Сейчас безналичные рубли обезличены, и проследить, через кого они проходили и что было их источником три или четыре транзакции назад, не представляется возможным. Номер каждой единицы безналичного рубля позволит проследить его движение через любое количество счетов в комбанках и даже при их отмывании через фирмы-прокладки или внешне законопослушные фирмы. В результате можно будет выяснить конечного бенефициара утечки денежных средств из бюджета через различные внешне законные операции и процедуры закупок и конкурсов. Это также позволит выяснить первоначальный источник (первое звено) в финансовой цепочке любой длины, выводящий средства за рубеж или их обналачивающий. Следует установить всех участников финансовой цепочки, осуществляющей хищения из бюджета или отмывание денег. В первую очередь это касается юридических лиц, их руководителей и владельцев, которые выделяются по признаку прямого или опосредованного через две или пять транзакций участия в первоначальном вводе определенного объема бюджетных средств в начале цепочки³⁶⁰.

2. Интеграция электронных бухгалтерий юридических лиц любой формы собственности с электронными торгово-закупочными системами позволит:

- продублировать информацию о совершаемой закупке или продаже в режиме реального времени;
- сформировать доступную для удаленного автоматизированного фискального, госуправленческого и правоохранительного анализа электронную базу движения товарной массы и услуг;
- проанализировать встречное движение денег или финансовых обязательств. Современные электронные торговые системы позволяют учитывать не только долю в товаре иностранных комплектующих, но и инновационность и ряд других характеристик.

3. С появлением в распоряжении государственных органов детализированной за прошедшие периоды информации по фактическим финансовым и товарным позициям: объемы покупок/продаж, уплаченные финансы, цены и тарифы, направления и объекты поставок, в отношении юридических и физических лиц — создается возможность перейти к товарному и финансовому планированию. Аналог адаптированного к рыночной экономике Госплана СССР и республики с выходом на конкретные и обоснованные плановые показатели:

³⁵⁷ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Абрамов В. И. Компьютерное ситуационное моделирование в управлении экономикой // Государственный аудит. Право. Экономика. 2017. № 3–4. С. 31–40.

³⁵⁸ Логинов Е. Л., Шкута А. А. Развитие интеллектуальных сервисов в автоматизированных информационных системах управления. М.: Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, 2018.

³⁵⁹ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Бекларян Г. Л., Акопов А. С. Разработка цифровых двойников для финансовых организаций // Аудит и финансовый анализ. 2019. № 5. С. 38–45.

³⁶⁰ Агеев А. И., Григорьев В. В., Логинов Е. Л., Момотова А. К. Повышение прозрачности безналичных финансовых расчетов на основе электронной цифровой идентификации каждой денежной единицы с выявлением бенефициаров операций по объектным, ресурсным и временным параметрам // Новые технологические вызовы: проблемы цифровой трансформации систем управления. Материалы международной конференции. М.: МНИИПУ, 2019. С. 6–9.

- товарные, финансовые и налоговые задания для государственных и муниципальных компаний, в том числе рабочие места;
- четкие показатели будущих государственных закупок, госинвестиций и расходов бюджетов всех уровней;
- цены и тарифы по регулируемым видам деятельности, в том числе ЖКХ;
- налоговая база и поступления в бюджет;
- зарплата региональных и муниципальных служащих, целевые дотации отдельным категориям физических лиц (малоимущие и др.).

4. На основании накопленных детализированных данных возможно формирование совершенного плана импортозамещения по востребованным (по факту предыдущих лет) товарным позициям в рамках платежеспособного спроса, создание и развитие за счет госинвестиций местных производств, требование к крупным поставщикам по локализации на территории регионов производств для поставки продукции по региональным госзакупкам и формирование инвестпроектов с автоматизированным контролем их реализации.

5. По данным мониторинга идентифицированных рублей и товарных ресурсов реализуется автоматизированное выявление ядер явной и латентной концентрации финансовых средств и имущественных активов по физическим лицам и их группам (семейным, политическим и не только) с учетом контроля ими активов юридических лиц; выявление активов, оформленных на подставных лиц и дальних родственников. Сопоставление с уплаченными налогами и декларациями крупных или дорогих покупок личных вещей. Сопоставление с похищенными финансовыми средствами в рамках госзакупок, получения кредитов, рейдерства и пр. Анализ поездок за границу с целью выявления там незадекларированного в России имущества, счетов в банках или получения финансирования из-за рубежа.

6. Формирование и развитие пилотных проектов по:

- сдаче юридическими лицами в структуры ФНС России баз данных электронных бухгалтерий за прошедший год как основы пооперационного анализа и невозможности их изменения в будущем. Ответственность по экономическим преступлениям — 10 лет, ответственность по налоговым преступлениям — 3 года;
- созданию и внедрению интеллектуальных кассовых аппаратов, которые способны фиксировать номера купюр для передачи данных в ЦБ России, Росфинмониторинг, ФНС России, МВД России и пр.;
- внедрению сервисов идентификации владельца банковской карты по лицу в банкоматах и банках;
- внедрению сервисов контроля выдачи и передачи векселей;
- введению сервиса фиксации и анализа, кто, когда, сколько снял (какие номера купюр) и сдал в банк (положил в банкомат);
- введению радиометок (RFID³⁶¹) на товары, произведенные в республике, для возможности отслеживания жизненного цикла и движения каждой отдельной единицы товара, включая идентификацию компании-производителя, всех участников цепочки движения товара, долю иностранных комплектующих с возможностью сравнения с отчетностью этих компаний, в том числе добавленной стоимости, таможенных пошлин и пр.

В результате сетцентрической интеграции данных с привязкой по пространственно-временным параметрам в рамках функциональных сервисов контроля и мониторинга произойдет объединение их составляющих по заданному параметру в наблюдаемую величину. Например, составление в один сопоставимый массив оценочных показателей различных характеристик, связанных напрямую, связанных опосредованно и не связанных в явном виде, групп закупок с выявлением их ранее скрытой реальной динамики.

³⁶¹ RFID (англ. Radio Frequency Identification, радиочастотная идентификация) — способ автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в так называемых транспондерах, или RFID-метках.

Структура экономики России пока еще является сырье- и энергоориентированной, поэтому модернизационный курс на переход к инновационной экономике требует огромных затрат на инновации мирового уровня и серьезнейшей перестройки хозяйственного механизма, не говоря уже о длительных сроках инновационной перестройки всей экономики нашей страны. При этом необходимо базироваться на сложившихся реалиях опоры на энергосырьевой сектор как источник основных доходов бюджета и инвестиций в модернизационные проекты. Такая ситуация требует формирования энергостратегических механизмов встраивания в мировые товарно-финансовые рынки и соответствующих потоков материальных и финансовых ресурсов.

Дальнейшее развитие экономики при переходе на инновационный путь развития нуждается в новых механизмах народно-хозяйственного управления, основанных на системном анализе, прогнозировании и макроэкономическом балансировании для повышения обоснованности управленческих решений, принимаемых на различных уровнях управления.

С позиций сегодняшнего дня, когда вследствие рыночных реформ экономические отношения, организационная структура отраслей, уровень развития технических средств и технологии управления продвинулись далеко вперед, система народно-хозяйственного управления нуждается в серьезном обновлении.

При этом модернизация как экономики вообще, так и управления в частности подразумевает не просто восстановление основных производственных фондов и расширение инновационных активов хозяйствующих субъектов всех звеньев экономики, но и обеспечение экономической и энергетической безопасности страны, а также повышение международной конкурентоспособности за счет повышения уровня координированности экономической деятельности на различных уровнях управления.

Создание такой системы — необходимость, обусловленная существенным усложнением задач структурной организации и управления в экономике в условиях реформирования, растущей турбулентностью мировой экономики в количественных и качественных показателях, изменившимся статусом подавляющего большинства производственных предприятий как негосударственных субъектов организационно-хозяйственных отношений, новыми требованиями, предъявляемыми обществом к экономическому, социальному и научно-техническому облику страны.

Мировой финансово-экономический кризис — стартовый сигнал к модернизации, обеспечивающей внедрение и эффективное использование инноваций во всех отраслях, включая топливно-энергетический и сырьепроизводящий комплекс, которые за счет налоговых выплат создают значительную часть бюджетной базы как основы социальной сферы, труда и быта граждан.

Эти положения диктуют новые требования к структуре народно-хозяйственных балансов, новой схеме сегментации и гармонизации структуры экономики, определяют необходимость оптимизации межсистемных (межотраслевых, отраслевых, территориальных и т. п.) потоков добавленной стоимости для стабилизации отраслей, территорий и корпораций — в условиях как стихийных, так и управляемых зарубежными геоэкономическими игроками макроэкономических флуктуаций — и выравнивания социально-экономических диспропорций. Основной массив добавленной стоимости продукции российского происхождения формируется в России, но монетизируется трансграничным образом, часто за рубежом, при экспорте товаров и услуг, прежде всего российских энерго-сырьевых отраслей.

В настоящее время, учитывая, что сейчас отрасли энергосырьевого экспорта являются ключом к развитию всей экономики нашей страны, как своего рода инвестиционный локомотив инновационных трансформаций, необходимо выстроить четкую систему регулирования со стороны государства этих отраслей, а в отношении крупных корпораций — механизмов координации для упорядочения процесса формирования, сохранения и мультипликации народно-хозяйственной добавленной стоимости. Решение этих проблем нам видится:

- в выделении в российской экономике потенциальных макроэкономических ядер динамичных массивов трансгранично перемещающейся добавленной стоимости (в первую очередь энергосырь-

евых отраслей), затем монетизирующейся за рубежом в зависимости от конфигураций и конъюнктуры мировых товарных и финансовых рынков;

- в концентрации усилий российских корпораций (и их зарубежных ДЗО³⁶²) на занятии сегментов мировых рынков, где монетизируются эти ядра сформированной в России добавленной стоимости, и в установлении контроля над зарубежными активами, формирующими организационно-технологическую среду монетизации таких ядер в различных областях предметной деятельности и совокупности таких областей;

- в пакетной фиксации монетизированных за рубежом и в России корпоративных массивов добавленной стоимости в отраслевом и межотраслевом аспектах в финансовой, материальной или иной форме;

- в трансферте монетизированной добавленной стоимости (путем перевода финансовых средств, товарных ресурсов или инноваций) из-за рубежа в российскую экономику;

- в формировании на их основе средне- и долгосрочных инвестиционных вложений в модернизационные проекты российских корпораций, которые создадут основу для будущего перераспределения в пользу России конечного числа ядер добавленной стоимости и переконфигурации мировых товарных и финансовых рынков с внедрением туда ТНК российского происхождения как базовых институтов мировой экономики.

Необходимо формирование в нашей стране сквозного межотраслевого баланса топливно-энергетических ресурсов (электроэнергии, газа, нефтепродуктов, угля и т. п.) по видам взаимосвязанных энергетических бизнесов («добыча топлива → генерация энергии/тепла → передача → распределение → сбыт») с выходом на единый киловатт-час (кВт-ч) или гигакалорию (Гкал), структурированных в национально-международном, территориальном-отраслевом, производственном-экономическом и т. п. аспектах с позиций управления наработанным в России массивом добавленной стоимости.

Т. е. необходимо добиться сквозного прогнозного и аналитически-мониторингового сопровождения консолидированного движения в России и за рубежом единого натурального или, точнее, натурально-стоимостного показателя (киловатт-часа или гигакалории) к рублю по всей цепочке энергетических бизнесов и корпораций, от добычи ресурсов до выплат в бюджет и итоговых инвестиций, в том числе при экспорте любой российской продукции (как опосредованного экспорта электроэнергии (тепла) или нефтепродуктов через энергоемкие обрабатывающие и сырьедобывающие производства).

5.2. Электронная структуризация товарного рыночного оборота в России

В нашей стране пока отсутствует необходимая для эффективного госрегулирования управленческая, фискальная, правоохранительная и т. п. прозрачность движения товарных и финансовых потоков, в том числе в отраслевой, территориальной и корпоративной привязке к конкретным материальным и стоимостным объемам товарных ресурсов. Крайне размыта (с точки зрения экономико-управленческого анализа) структура внутрироссийского и трансграничного формирования и перелива реальной, а не декларируемой добавленной стоимости и прибыли, в том числе в отношении корпоративных групп со скрытым аффилированием и использованием явных и латентных офшорных механизмов.

Существующие институциональные рыночные механизмы в отраслях и секторах экономики России организационно не «упакованы» (кроме рынка электроэнергии и мощности), сложились явочным образом в ходе непоследовательных реформ и хаотической приватизации, слабо структурированы и малоупорядочены в отношении участников, потоков, объемов, цен и условий торговых операций. Они имеют большую явную и скрытую монопольную составляющую, движутся в направлении раздувания цен и тарифов; содержат коррупционные (в государственной и корпоративной сфере) механизмы и системные составляющие по уклонению от уплаты налогов и отмыванию

³⁶² ДЗО — дочерние и зависимые общества.

денег, трудные к выявлению и противодействию, подвержены сильной зависимости от собственников, контрагентов и инвесторов, действующих из-за рубежа.

Такая ситуация требует создания качественно новых инструментов мониторинга и планирования рыночного социально-экономического развития, включая механизмы организационного оформления («упаковки») и структурирования сложившегося отраслевого рыночного оборота в рамках типовых экономико-правовых оболочек, электронных компьютерных систем и информационно-аналитических платформ на основе электронных торговых площадок (ЭТП).

Эти организационные механизмы позволят эффективно осуществлять упорядочение и структуризацию финансово-хозяйственных взаимосвязей (торговых операций) хозяйствующих субъектов всех форм собственности, а также осуществлять комплексный автоматизированный детализированный мониторинг, интеллектуальную обработку данных, планирование и иную поддержку принятия решений органов государственного управления и корпоративных структур в целях осуществления социально ориентированного управления для достижения и поддержания устойчивой экономико-политической ситуации в нашей стране и ускорения социально-экономического роста.

Решением проблемы адекватного ответа на вышеописанные вызовы и угрозы является возможность и необходимость создания в России упорядоченной комплексной системы формализованных электронных рынков товарных ресурсов как специализированных транзакционных систем — структурированного в интересах госрегулирования комплекса организационных, нормативно-правовых, аппаратных, программных инструментов торгов товарными ресурсами, мониторинга и управления и соответствующих моделей государственного и бизнес-моделей (рисунок 5.1).

Они могут быть созданы путем организационного оформления («упаковки») неструктурированного или слабоструктурированного отраслевого рыночного оборота в рамках развития системы взаимосвязанных электронных торговых площадок (систем) и перенесения туда основного объема торгового оборота товарных ресурсов (по типу существующего рынка электроэнергии и мощности) с соответствующей адаптацией к отраслевым особенностям конкретных отраслей и секторов экономики России и стран Евразийского экономического союза.

Для создания в России упорядоченной комплексной системы формализованных электронных рынков товарных ресурсов на основе использования системы взаимосвязанных электронных торговых площадок необходима реализация следующих задач:

1. Переход к комплексному информационно-аналитическому управлению товарным оборотом путем переноса в систему взаимосвязанных электронных торговых площадок основного объема торгового оборота товарных ресурсов.

2. Приоритетное развитие ЭТП-интеграции сегментов отраслевых рынков России на основе электронных торговых площадок как основной сетевой рыночной инфраструктуры товарного оборота в российской экономике.

3. Разработка межведомственной программы перехода — в отличие от практикуемого сейчас анализа процессов функционирования отраслей российской экономики по формам статотчетности (которые носят чрезвычайно обобщенный характер и «затушевывают» конкретные особенности и детали экономических процессов в отраслевом, территориальном и корпоративном разрезе) — к сквозному автоматизированному мониторинговому сопровождению цепочек товарных операций с выходом на формирование налогооблагаемой базы.

4. Дальнейшее формирование комплексных детализированных по отраслевым, территориальным, корпоративным, временным, товарным (объемным и стоимостным) и другим аспектам показателей товарно-финансовой деятельности в России комплекса хозяйствующих субъектов (резидентов и нерезидентов), в том числе выделение их явных и скрытых агрегированных групп со степенью прозрачности, которая ранее не могла быть достигнута в принципе.

5. Совершенствование взаимодействия российских органов государственного управления, товаропроизводителей и потребителей на основе ЭТП-методов оптимизации динамического взаимодействия и адаптивного совершенствования цепочек товарных управленческих транзакций для выстраивания единой логики процессов управления в различных товарно-рыночных пространствах

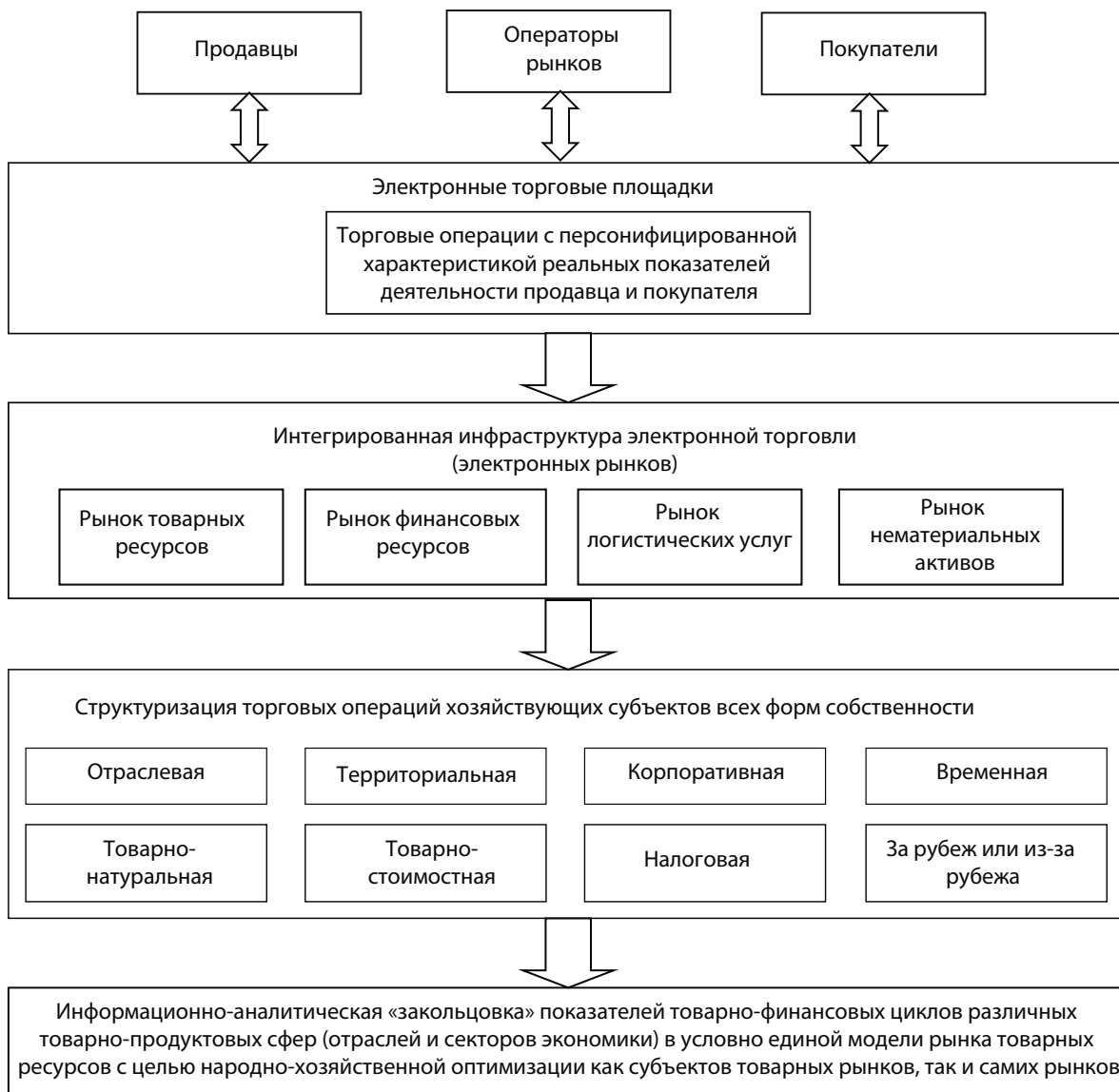


Рисунок 5.1. Система мониторинга, анализа и планирования динамики операций с товарами и финансовыми ресурсами на электронных рынках

и на всех уровнях управления России: от сельского поселения до федерального уровня и между-народных уровней (Евразийский экономический союз и т. п.).

6. Создание интегрированного комплекса мониторинга явных и латентных процессов перелива, в том числе за рубеж, добавленной стоимости и прибыли, как между отраслями и секторами национального хозяйства России и стран Евразийского экономического союза, так и между отдельными компаниями в рамках агрегированных корпоративных групп, имеющих непрозрачные разветвленные структуры дочерних и зависимых обществ за рубежом, в том числе за счет включения в активный управленческий контур каждого предприятия и его торговой операции с персонализированной характеристикой реальных, а не декларируемых показателей деятельности.

Необходимая информационно-телекоммуникационная инфраструктура уже существует и работает. В России действует несколько десятков крупных и средних электронных торговых систем и площадок как универсального характера, так и узко специализированных в рамках определенных групп товарных ресурсов или компаний производителей/покупателей. Они соответствующим образом лицензированы и встроены в инфраструктуру телекоммуникаций и связи России с выходом на зарубежные электронные информационные пространства. Многие такие системы имеют свои структуры за рубежом (в Казахстане, Белоруссии, Турции, Израиле и пр.).

Поэтому новых систем создавать не нужно. Задача состоит в интеграции их информационных потоков и внедрении новых универсальных информационно-аналитических сервисов для мониторинга, обработки информации, анализа, моделирования, прогнозирования и пр. в интересах планирования и регулирования рыночного социально-экономического развития.

Что важно: существующие электронные системы закупок для госведомств, госкорпораций и корпораций с госучастием уже действуют в рамках таких электронных торговых систем и площадок. Т. е. через них уже проходит очень большой объем наиболее важных товарных ресурсов, формирующих основные базовые для страны товарные потоки и продуктовые объемы, в том числе частично в социально значимой энергетической сфере, в оборонной сфере и пр. Таким образом, необходимо развить деятельность ЭТП, расширить в них объем оборота товарных ресурсов и организовать сквозной сбор и обработку информационных ресурсов.

Описываемые электронные торговые системы и площадки являются негосударственными структурами, практически не требуют государственной финансовой поддержки (только на развитие информационных систем самих госведомств), развиваются за счет средств негосударственных собственников и инвесторов, являются фактически элементами экономической инфраструктуры гражданского общества. При этом услуги этих электронных торговых систем и площадок по многим направлениям лицензируются, а значит, инструмент госвливания на них присутствует.

При этом создается возможность формирования комплексных, детализированных по отраслевым, территориальным, корпоративным, временным, товарным (объемным и стоимостным) и другим аспектам показателей товарно-финансовой деятельности в России комплекса хозяйствующих субъектов (резидентов и нерезидентов), в том числе выделения их явных и скрытых агрегированных групп со степенью прозрачности, которая ранее не могла быть достигнута в принципе.

Создание в России упорядоченной комплексной системы формализованных электронных рынков товарных ресурсов обеспечивает итоговый выход российской экономики на новый уровень качества организации планирования и регулирования рыночного социально-экономического развития путем включения в активный управленческий контур каждого предприятия и его торговой операции с персонифицированной характеристикой реальных, а не декларируемых показателей деятельности³⁶³.

Методы решения задач оптимального планирования использования ресурсов включают в себя балансовые методы оптимизационного регулирования экономического развития, в первую очередь модели межотраслевого баланса.

5.3. Повышение эффективности комплексных научно-технических программ полного инновационного цикла и пакетный отраслевой заказ

Наиболее эффективным организационным инструментом инновационного развития экономики являются комплексные научно-технические программы полного инновационного цикла.

Можно предложить следующие системные блоки формирования комплексных научно-технических программ полного инновационного цикла в экономике России (КНТП ПИЦ).

Блок 1. Разработка методических подходов к анализу проблем и формированию путей инновационного развития в условиях проявления многофакторных новых технологических трендов для вписывания в параметры смены технологических укладов и этапов цифровой революции.

Ключевые задачи блока КНТП ПИЦ:

- систематизация факторов влияния на функционирование и развитие национального технологического комплекса и выявление требующих замены устаревших технологий и новых технологических трендов;
- разработка методики оценки новых технологических трендов, влияющих на развитие национального технологического комплекса при обеспечении требований национального технологического суверенитета в обычных условиях и в условиях кризисных ситуаций различного характера

³⁶³ Агеев А. И., Логинов Е. Л. Госплан — основные подходы к планированию социально-экономического развития России // Экономические стратегии. 2013. Т. 15, № 8 (116). С. 100–112.

с учетом экономических санкций, ограничивающих поставки из-за рубежа технологий и оборудования, применяемых некоторыми странами к нашей стране;

- разработка методики классификации объектов национального технологического комплекса по их значимости для обеспечения национального технологического суверенитета с учетом территориального разреза;

- разработка методики оценки технологического уровня оборудования объектов национального технологического комплекса в кратко- и среднесрочной перспективе с учетом их значимости для обеспечения национального технологического суверенитета;

- разработка методики формирования перечня мероприятий по обеспечению инновационного развития и модернизации ключевых видов типового оборудования в условиях реализации новых технологических трендов для вписывания в параметры смены технологических укладов и этапов цифровой революции.

Блок 2. Разработка комплекса моделей функционирования и развития национального технологического комплекса в экономике России в условиях воздействия различных факторов.

Ключевые задачи блока КНТП ПИЦ:

- разработка алгоритмов анализа вероятности проявления научно-технических факторов в экономике России и оценки их влияния на конкурентоспособность национального технологического комплекса;

- разработка моделей оценки изменения уровней конкурентоспособности национального технологического комплекса при влиянии различных факторов;

- разработка моделей оценки возможных последствий для конкурентоспособности национального технологического комплекса при развитии тенденций технологического отставания, изношенности и старения оборудования на конкретных объектах, включая возможное развитие процессов нехватки денежных средств на проекты модернизации и технического перевооружения;

- разработка алгоритмов выявления объектов, критически важных для обеспечения конкурентоспособности национального технологического комплекса в условиях воздействия научно-технических факторов с выделением элементов, определяющих конкурентоспособность данных объектов;

- разработка моделей оценки изменения конкурентоспособности национального технологического комплекса при изменении состава технологических объектов и при изменении основных технологических характеристик действующих объектов;

- разработка модели анализа взаимосвязанной работы всех отраслей и секторов в рамках единого национального технологического комплекса в обычных условиях и в условиях кризисных ситуаций различного характера с оценкой возможных научно-технических последствий для потребителей (покупателей) при учете возможностей диверсификации энергоисточников и взаимозаменяемости основных видов топливно-энергетических ресурсов;

- разработка алгоритмов формирования перечня конкретных мероприятий по обеспечению инновационного развития и модернизации ключевых видов типового оборудования в условиях реализации в мировой экономике разного рода новых технологических трендов, включая условия развития процессов нехватки денежных средств на проекты модернизации и технического перевооружения;

- разработка алгоритма расчета финансовых показателей, необходимых для устранения тенденций технологического отставания, изношенности и старения оборудования на объектах в рамках выполнения разработанных мероприятий по обеспечению инновационного развития, а также алгоритма прогнозирования сроков осуществления работ в условиях возможных ограничений в объемах используемых ресурсов.

Блок 3. Создание цифровой платформы для моделирования и проведения комплексного научно обоснованного анализа необходимости замены устаревших технологий в отношении устойчивой работы и эффективности работы составляющих национального технологического комплекса с учетом динамики и масштабов проявления новых технологических трендов для вписывания в параметры смены технологических укладов и этапов цифровой революции с учетом экономических санк-

ций, ограничивающих поставки из-за рубежа технологий и оборудования, применяемых некоторыми странами к нашей стране.

Ключевые задачи блока КНТП ПИЦ:

- разработка концепции и прототипа многофункциональной цифровой платформы «Мониторинг и управление инновациями» для моделирования и проведения комплексного научно обоснованного анализа требующих замены устаревших технологий в отношении устойчивой работы и эффективности работы составляющих национального технологического комплекса с учетом динамики и масштабов проявления новых технологических трендов для вписывания в параметры смены технологических укладов и этапов цифровой революции для инновационного развития;
- разработка требований к системе поддержки принятия решений, обеспечивающей визуализацию основных характеристик анализируемых процессов функционирования энергосистем с учетом требуемых критериев оценки, включая создание соответствующих информационных панелей;
- разработка технических требований к автоматизированной многофункциональной системе моделирования событий, влияющих на конкурентоспособность национального технологического комплекса в экономике России и на процессы выбора и закупки наиболее конкурентоспособных технологий и оборудования;
- разработка научно обоснованных предложений по формированию информационно-аналитического инструментария для имплементации разработанных алгоритмов в качестве информационно-аналитического функционала для создания компьютерной системы моделирования ситуации в отношении устойчивой и эффективной работы составляющих национального технологического комплекса с учетом динамики и масштабов проявления новых технологических трендов для вписывания в параметры смены технологических укладов и этапов цифровой революции с сопровождением процессов выбора и закупки наиболее конкурентоспособных технологий и оборудования;
- разработка концепции, методов и механизмов обеспечения информационного насыщения соответствующих блоков многофункциональной компьютерной системы моделирования ситуации в отношении процессов выбора и закупки наиболее конкурентоспособных технологий и оборудования в экономике России в рамках цифровой платформы «Мониторинг и управление инновациями» с учетом динамики и масштабов проявления стратегических технологических трендов для вписывания в параметры смены технологических укладов и этапов цифровой революции;
- программная реализация многофункциональной цифровой платформы «Мониторинг и управление инновациями» для анализа динамики и масштабов проявления критических ситуаций.

Блок 4. Оценка сложившейся ситуации для инновационного развития, анализ возможных последствий нарастания объемов устаревшего оборудования с учетом большого объема разноплановых факторов и вероятности возникновения таких факторов, верификация моделей функционирования и развития национального технологического комплекса в условиях воздействия различных факторов.

Ключевые задачи блока КНТП ПИЦ:

- оценка фактического технологического уровня оборудования объектов национального технологического комплекса с учетом их важности для обеспечения национального технологического суверенитета;
- анализ возможных последствий нарастания объемов устаревшего оборудования для отдельной отрасли (территориального кластера) и национального технологического комплекса в целом с учетом большого объема разноплановых факторов и вероятности возникновения таких факторов;
- верификация моделей функционирования и развития национального технологического комплекса в условиях воздействия различных факторов.

Блок 5. Анализ вариантов работы оборудования и действий компаний в сверхкритических условиях, разработка типовых и специальных решений по повышению технологического уровня оборудования объектов и систем управления в экономике России с учетом приоритетов импортозамещения.

Ключевые задачи блока КНТП ПИЦ:

- анализ вариантов работы оборудования в сверхкритических условиях;
- определение единой политики по повышению технологического уровня оборудования объектов и систем управления национального технологического комплекса;
- определение базовых требований и списка технологических решений по обеспечению технологического уровня оборудования объектов и систем управления национального технологического комплекса;
- разработка плана мер внедрения организационных мероприятий по обеспечению повышения технологического уровня оборудования объектов и систем управления.

Блок 6. Анализ состава закупаемых энергокомпаниями оборудования и комплектующих с позиций обеспечения приоритетов импортозамещения и их технических характеристик для выдачи рекомендаций российским производителям оборудования, мониторинг процессов замены оборудования с учетом критериев повышения технологического уровня оборудования объектов и систем управления в экономике России.

Ключевые задачи блока КНТП ПИЦ:

- определение списка оборудования, эксплуатируемого на критических для экономической безопасности объектах, обязательного для замены на оборудование российского производства исходя из инновационных приоритетов;
- разработка модели расчета динамики экономических источников для финансирования инновационных процессов развития системы в нормальных условиях (для текущего и капитального ремонта, реконструкции, модернизации и нового строительства);
- формирование плана импортозамещения исходя из инновационных приоритетов на основе сопоставления потребности хозяйствующих субъектов и конкурентоспособного российского оборудования, узлов, компонентов и материалов;
- разработка модели расчета вариантов сценариев изменения технической политики компаний с учетом вероятной динамики технического состояния, выбытия и замены оборудования.

Ожидаемыми результатами реализации КНТП ПИЦ станет внедрение высоких технологий и разработок отечественного производства, включая цифровые продукты и технологии.

Главным функциональным недостатком мер, предлагаемых для поддержки государством научно-технических программ аналогичных КНТП, является их ориентированность на процесс, а не на результат. Финансирование государством НИОКР, проводимых научными, образовательными и инжиниринговыми организациями, сотрудничающими с машиностроительными компаниями, с учетом того, что реализация намеченных планов растягивается на много лет, не гарантирует итоговую разработку научными и инжиниринговыми структурами оборудования по заявленным позициям, конкурентоспособного не только по техническим параметрам, но и по показателям готовности для освоения в производстве машиностроительными предприятиями. Не гарантировано также итоговое (через пять — семь — десять лет) желание производственных компаний закупать эту продукцию по комплексу показателей, включая соотношение цены и качества при сравнении с зарубежными аналогами, а также ряд других.

В свое время важным теоретическим результатом, полученным в рамках направления по управлению научными исследованиями и разработками, было создание в ЦЭМИ АН СССР информационно-логических моделей и целевых методов управления решением сложных проблем. Основы информационно-логических моделей использовались при подготовке методических рекомендаций при обосновании, разработке и реализации социально-экономических и научно-технологических программ, подготовленных в ЦЭМИ РАН и Институте народно-хозяйственного прогнозирования РАН. По данным Счетной палаты России, отказ от строгого соблюдения этих рекомендаций при разработке госпрограмм привел в середине второго десятилетия XXI в. к удручающим результатам: только для трети разработанных программ понесенные затраты можно считать обоснованными³⁶⁴.

³⁶⁴ Комков Н. И. К 100-летию со дня рождения Николая Прокофьевича Федоренко — прогрессивного руководителя перспективного научного направления: применение математики в экономике. <https://ecfor.ru/wp-content/uploads/2018/02/portrety-uchenyh-5-2017.pdf>.

Можно предложить следующие меры, повышающие эффективность процессов и процедур координации и поддержки государством КНТП ПИЦ.

Необходима структуризация научно-технической программы по подпроектам.

Приемка-сдача результатов этапа по каждому подпроекту (по отдельному блоку в рамках подпроекта) должна производиться с участием представителей:

- выполняющих структур (научных и образовательных организаций и инжиниринговых компаний);
- государственных ведомств (ФОИВ, Минпромторга России, Минобрнауки России и пр.);
- потенциальных производителей (предприятий машиностроения и приборостроения);
- потенциальных заказчиков конечной технологии и оборудования (энергокомпаний);
- независимых экспертов (представителей научных и образовательных организаций — институтов РАН, национальных исследовательских университетов, инжиниринговых компаний, не участвующих в выполнении НИОКР).

Начиная со второго года выполнения проектов в рамках научно-технической программы при подписании приемки-сдачи результатов этапа по подпроекту представителям потенциальных производителей (предприятий машиностроения и приборостроения) и потенциальных заказчиков предлагается оформлять заключение по этому этапу, направляемое в адрес государственных ведомств, о соответствии результатов этапа НИОКР предполагаемому будущему заказу (закупке-поставке) и предположительно требуемым в перспективе объемам (натуральным и финансовым показателям) итоговых технологий, материалов, оборудования для нужд этих заказчиков (корпоративной группы).

Вышеупомянутое заключение по этому этапу потенциальных производителей (предприятий машиностроения и приборостроения) и потенциальных заказчиков должно стать для этих предприятий основанием для отражения будущих закупок в перспективных планах по производству, техническому развитию, капитальному ремонту и модернизации. Планы должны утверждаться советами директоров. В случае итогового срыва запланированных закупок со стороны советов директоров этих обществ должна быть дана оценка эффективности работы соответствующих специалистов, участвовавших в подписании приемки-сдачи результатов этапа по подпроектам и ответственных за составление перспективных планов мероприятий, лежащих в основу закупок машиностроительных предприятий.

Целесообразно формирование по научно-техническим программам информационной платформы, сетевым образом консолидирующей всю информацию от всех участников выполнения работ, принимающих результаты сторон и независимых экспертов, позволяющей отслеживать в текущем временном периоде и в ретроспективе ход выполнения программы и перспективы выхода ее на заявленные результаты (закупки со стороны производственных предприятий)^{365, 366}.

К мониторингу и контролю выполнения КНТП ПИЦ целесообразно применить действующий механизм контроля гособоронзаказа с участием (сопровождением) контрактов со стороны государственных ведомств, государственных и коммерческих банков, позволяющий отслеживать всю цепочку кооперации (в т. ч. целевое использование средств, динамику освоения средств, размеры неиспользуемых остатков на счетах головных исполнителей и пр.)³⁶⁷.

Для упорядочения процессов научно-технического развития компаний различного профиля можно предложить введение следующего организационного механизма пакетного (консолидированного) отраслевого заказа.

³⁶⁵ Агеев А. И., Логинов Е. Л., Ефремов Д. Н. Государственный комитет по научно-технической политике: центр сетевой концентрации научно-технических связей в ключевых областях знания для интегрированного управления в сфере науки и техники // Экономические стратегии. 2014. Т. 16, № 8 (124). С. 12–21.

³⁶⁶ Агеев А. И., Логинов Е. Л. Госплан — основные подходы к планированию социально-экономического развития России // Экономические стратегии. 2013. Т. 15, № 8 (116). С. 100–112.

³⁶⁷ Агеев А. И., Логинов Е. Л., Райков А. Н. Интеллектуальные технологии организации финансового мониторинга и контроля при реализации госзакупок // Экономические стратегии. 2016. Т. 18. № 1(135). С. 16–27.

Заказы различных компаний консолидируются в пакеты, структурированные по оборудованию и технологиям, с формированием итоговых заказов (пакет заказов от отрасли на одну технологию, или группу работ, или оборудование) на НИОКР и комплектное оборудование для конкретных научно-технических организаций, инжиниринговых компаний и машиностроительных и приборостроительных предприятий. При этом представители заказчиков (компаний) подключаются к поэтапной приемке результатов НИОКР, для того чтобы обеспечить (к концу цепочки кооперации по проведению научно-исследовательских, опытных, конструкторских и технологических работ) соответствие научно-технической продукции запросам этих компаний, чтобы они смогли сформировать для машиностроительных и приборостроительных предприятий заказ на изготовление конкретного оборудования — с вытеснением зарубежных поставщиков, выходом российских производителей на близкую к 100% локализацию и обеспечением защиты от санкций, возможных будущих кибератак (запуска вирусов в интеллектуальные элементы оборудования и его дистанционного отключения из-за рубежа) и иных форм сетевого деструктивного воздействия; с разработкой у производителя средне- и долгосрочных планов комплектного производства для замещения у компаний выбывающего оборудования и его ремонта с выходом на формирование ключевых консолидированных по отраслям и детализированных по юридическим лицам показателей налогооблагаемой базы, роста числа рабочих мест и необходимых инвестиций; с сопровождением цепочки работ и выполнения заказов представителями профильных министерств (Минэнерго России, Минпромторга России, Минобрнауки России и пр.).

Проведение закупочных процедур по пакету заказов должно осуществляться на особых условиях. Можно предложить допуск к закупочным процедурам только российских (точнее, из государств — членов ЕАЭС) производителей, входящих в список, формируемый на основе оценки эффективности и надежности поставщиков.

При этом необходимо четко прописать ответственность представителей заказчиков — компаний, участвующих в подписании актов о приемке этапа НИОКР, за недостижение исполнителями НИОКР результатов, позволяющих машиностроительным предприятиям наладить производство оборудования, востребованного компаниями в плановых объемах на среднесрочную перспективу. Этап НИОКР не должен быть принят, если он не соответствует перспективе будущей закупки конкретного оборудования компанией у машиностроительного предприятия.

В результате сетевидной интеграции данных с привязкой по пространственно-временным параметрам в рамках функциональных сервисов контроля и мониторинга произойдет объединение их составляющих по заданному параметру в наблюдаемую величину: например, переводение в один сопоставимый массив оценочных показателей различных характеристик, связанных напрямую, связанных опосредованно и не связанных в явном виде групп закупок с выявлением их ранее скрытой реальной динамики (например, устойчивости участия одних и тех же лиц — менеджеров, собственников компаний и пр. — в ключевых финансово-хозяйственных операциях, осуществляемых в рамках совершенно различных, не связанных между собой, контрактов).

Необходима отработка (на базе наиболее развитой ЭТП) — в целях качественного повышения эффективности контроля — модельного (типового) пула взаимовязанных информационно-аналитических и вычислительных сервисов, адаптированных к возможности обработки различных данных, получаемых от электронных торговых систем (ЭТП и пр.), а также из любых иных источников (МВД России, ЦБ России, ФНС России, ФАС России и пр.) — например, базы данных утерянных паспортов, фирм-однодневок, лиц, привлеченных к уголовной или административной ответственности, менеджеров или владельцев компаний, ранее имевших большие налоговые задолженности, совершавших масштабные офшорные операции, имеющих минимальные имущественные активы и пр.

Комплекс экономико-математических моделей как инструмент государственного планирования в условиях рыночной экономики России позволяет эффективно реализовывать анализ факторов и прогнозирование темпов социально-экономического роста.

5.4. Возможности интеграции естественных и искусственных агентов с использованием нейрокоммуникационных протоколов с формированием коллаборативной человеко-машинной среды для нового типа виртуальной реальности

Усиление политико-социальных флуктуаций в нашей стране, выразившееся в ряде случаев в нарастании деструктивной протестной активности на грани массовых беспорядков, актуализировало задачу формирования организационных и информационных систем, создающих инфраструктурную среду и процедурные механизмы для согласования интересов власти, бизнеса и граждан. На этой базе возможно формирование условий для достижения политической стабильности и снижения социально-политической напряженности (агрессивности). Такие меры «гашения» агрессивности особенно важны в условиях стратегических бифуркаций, таких как экономические и политические кризисы, стихийные и инициированные протестные выступления и массовые беспорядки, нагнетание из-за рубежа тревожности и раздражения населения в информационных материалах в Интернете и СМИ, политическая дезориентация больших групп молодежи, слепо верящей популярным блогерам с неясными источниками финансирования, пассивность и безинициативность части государственных ведомств и пр.

Для определения оптимального вида воздействия на личностные единицы социума с опорой на поведенческие и когнитивные модели человеческой деятельности, позволяющие направлять поток событий для стимулирования позитивной политической активности и обеспечения заинтересованности граждан в поддержке институтов государственной власти и политического режима, целесообразно обеспечить как можно лучшую наблюдаемость участников политической действительности.

На основе доступных баз данных предлагается анализ состояния каждого участника жизнедеятельности социума с использованием коллектива нейронных сетей, каждая из которых отображает некоторый фрагмент (элемент, процесс) фрактального сегмента социума, т. е. программное определение проявлений идентифицируемых интересов личности (человека) для гармонизации процессов и процедур взаимодействия граждан с органами государственной власти, включая отношение к политическим лидерам.

Идентификация интересов личности позволяет сформировать инструментарий управления когнитивно-эмоциональными и операционно-инструментальными механизмами проявления интересов личности (электронно идентифицированного человека как политического актора). Эти инструменты направлены на определение оптимального вида воздействия на избирателя с опорой на поведенческие и когнитивные модели человеческой деятельности и позволяют направлять поток событий согласно условиям, заданным политической актуальностью, с учетом выявленных — в глобальных информационных сетях и базах данных — показателей, характеризующих модуль состояния психометрической определенности человека в данный момент времени и в перспективе.

Именно такую или очень близкую аналогичную технологию использовали политические эксперты Д. Трампа в ходе выборов 2016 г., для того чтобы найти в каждом случае для отдельного субъекта (выявленной группы похожих субъектов) уникальное вычислительное решение в отношении трудноформализуемого в математических целях (из-за наличия эмоциональных элементов) информационного пакета, описывающего ортодоксальную политическую позицию в нечетких средах с неполной информацией. И именно это позволило им переиграть конкурентов, которые использовали традиционные информационно-аналитические подходы в борьбе за будущий выбор анонимного неидентифицированного избирателя с его нетривиальной линией поведения.

Александр Никс, директор Cambridge Analytica (компании, информационно обслуживавшей победоносную выборную эпопею Дональда Трампа 2016 г.): «Мы в Cambridge Analytica разработали модель, которая позволит высчитать личность каждого совершеннолетнего гражданина США». Маркетинговый успех Cambridge Analytica основан на трех китах. Это психологический

поведенческий анализ, основанный на «модели океана»³⁶⁸, изучение big data и таргетированная реклама. Последнее означает персонализированную рекламу, а также такую рекламу, которая максимально близко подстраивается под характер отдельного потребителя³⁶⁹.

Несмотря на большое количество новых разработок в этой сфере, наблюдается потребность в новых технологиях комплексного мониторинга, которые объединяли бы обработку информации от систем, позволяющих распознавать лица, понимать человеческую речь, интерпретировать физическую активность и эмоциональное состояние человека с выявлением отношения к окружающей реальности (включая нормативные акты, политические решения, события и пр.) как предметного элемента управляемой подсистемы (политического объединения граждан, территориального кластера населения, сетевой общности по политическим интересам и пр.).

Проведение мониторинга для выявления совместимых (эквивалентных) онтологических ядер тематических антологий в рамках кластеризуемых массивов данных (в т. ч. текстов, фото, видео и прочих материалов, подходящих для распознавания), содержащих искомую историческую, текущую фактическую и аналитическую информацию, создает своего рода динамически изменяемую многослойную сеть портретов события, формирующих устойчивый вектор скольжения больших групп избирателей в сторону заданного политического выбора — т. е. комплексную дистанционную когнитивную коррекцию мнений и поступков избирателя.

Системно-параметрические взаимосвязи позволяют рассчитать свертку и разбиение доступного информационного поля таким образом, чтобы каждый виртуально агрегированный «портрет события» (ключевая точка итерации прошлое/будущее) представлялся как своего рода один стандартный модуль образной интерпретации событий, присутствующих в доведенном до конкретного получателя электронном контенте, когда в интересах импринтируемого избирателю будущего политического выбора необходимо обеспечить логические цепочки (событийные ряды) трактовки истории и сознательную и бессознательную интерпретацию событий с прогнозируемыми эмоциональными реакциями³⁷⁰.

С учетом вышеизложенного авторами предлагается создание своего рода цифровой среды управления с поддержкой разных видов комплексного мониторинга, позволяющего распознавать и идентифицировать лица, понимать любые формы электронного обмена информацией и интерпретировать физическую активность и эмоциональное состояние с отношением к окружающей реальности (включая приказы, поручения, законы). При этом гармонизация процессов и процедур взаимодействия граждан с органами государственной власти, органами местного самоуправления, общественными организациями и бизнес-структурами может быть реализована (с планированием массовых коммуникативных практик и прогнозированием для стимуляции положительного когнитивного результата и реакций в бессознательной области психики) на основе мониторинга и анализа состояния каждого участника жизнедеятельности социума (от управления до потребления).

Для контроля процессов сетевой коммуникации граждан с органами власти как партнера/клиента/оппонента органов управления социумом с внедрением цифровой модели человека, когда система явно или неявно сигнализирует о необходимости действий со стороны органов управления в отношении предметного элемента управляемой подсистемы, несущего угрозу стабильности, предлагается использовать технологии электронной семантизации состояний сознания и психики отдельного индивида и их агрегированных групп.

³⁶⁸ «Метод океана» (по буквам OCEAN, анаграммы пяти измерений на английском языке): открытость (насколько вы готовы к новому), добросовестность (насколько вы перфекционист), экстраверсия (как вы относитесь к социуму), доброжелательность (насколько вы дружелюбны и готовы к сотрудничеству) и нейротизм (насколько легко вас вывести из себя). На основе этих измерений можно точно понимать, с каким человеком имеешь дело, в чем его желания и страхи, наконец, как он себя может вести. Расследование Das Magazin: как big data и пара ученых обеспечили победу Трампу и Brexit [Электронный ресурс]. <https://theins.ru/politika/38490> (дата обращения: 11.11.2021).

³⁶⁹ Расследование Das Magazin: как big data и пара ученых обеспечили победу Трампу и Brexit [Электронный ресурс]. <https://theins.ru/politika/38490> (дата обращения: 11.11.2021).

³⁷⁰ Агеев А. И., Логинов Е. Л. Стратегия Трампа на выборах: нейроматематический ключ к глубинным слоям сознания американского избирателя // Экономические стратегии. 2019. Т. 21, № 7 (165). С. 78–93.

На этой основе предлагается анализ состояния каждого участника жизнедеятельности социума с использованием коллектива нейронных сетей, каждая из которых отображает некоторый фрагмент (элемент, процесс) фрактального сегмента социума, т. е. программное определение проявлений идентифицируемых интересов личности для гармонизации процессов и процедур взаимодействия граждан с органами государственной власти, органами местного самоуправления, общественными организациями и бизнес-структурами. При этом требуется также анализ и идентификация событий и их носителей (акторов) с возможностью инкапсуляции (схватывания) целостной позиции (мнения), устраивающей большинство доступных для мониторинга людей для задания вектора устойчивой сходимости мнений, вырабатываемых большинством людей в сегменте социума.

Для коррекции политической активности людей в условиях стратегической бифуркации:

- реализуется мониторинг релевантности информационных сигналов от различных участников организованных (и самоорганизованных — рой, облако и т. п.) проявлений политической активности для выявления мнений при проявлении их информационной активности в механизмах электронной демократии;

- осуществляется кластеризация мнений как формы выражения политических интересов на основе коррелирующих проявлений информационной активности политических агентов в механизмах электронной демократии;

- выявляется семантика связей между агентами в рамках кластеров выявленных политических интересов (мнений);

- формируются матрицы вариантов связанности политических интересов в рамках выделенных кластеров и взаимосвязей между ними;

- выделяется тематическое ядро мнений как основы нахождения возможного политического консенсуса;

- производится структурирование ключевых идей в форме сложившихся политических штампов, лозунгов и ярлыков как оболочек, «упаковывающих» мнения;

- анализируется структура смысловых связей как мостика между мнениями для обеспечения их сходимости, формируются новые структурированные блоки связанных политических штампов, лозунгов и ярлыков как выражения мнений;

- реализуется информационное воздействие на участников организованных (и самоорганизованных) проявлений политической активности в рамках электронных коммуникаций путем доведения до них новых структурированных блоков политических штампов, лозунгов и ярлыков, приводящих к сходимости мнений, и на этой основе программирование выработки и реализации поведенческих решений: трансформация человека от «оппонента власти» к «клиенту власти», удовлетворенному ее услугами, и отсюда — к «партнеру власти», пользующемуся какими-либо бонусами за политическую лояльность;

- выделяется кластер наиболее активных участников (политических агентов) деструктивных (агрессивных) проявлений политической активности. К этому кластеру можно применить агрегирующие или дезагрегирующие методы с использованием модели самоорганизации и распада коллективов и кооперативного поведения людей. Если через анализ данных о состоянии всех потенциально опасных личностей и их групп применить к ним агрегирующие или дезагрегирующие методы с последующим выпадением 10–15% наиболее активных членов каждой группы, то выпадение этого сегмента трудно, а иногда и невозможно заменить, что резко снижает ее социальную опасность³⁷¹.

Описанный инструментарий экономико-математического моделирования может быть применен к решению проблем стратегического управления в условиях критических ситуаций.

³⁷¹ Логинов Е. Л. Использование технологий BIG DATA для противодействия массовым беспорядкам в условиях недостатка информации и неопределенности развития ситуации // Искусственный интеллект (большие данные) на службе полиции. Сборник статей международной научно-практической конференции. М.: Академия управления МВД России, 2020. С. 145–150.

ГЛАВА 6. ПРОБЛЕМЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ

6.1. Россия в военном конфликте: стратегические подходы к построению военно-экономических сценариев

В последнее десятилетие международная обстановка становится все напряженнее. Некоторые крупные страны в силу разных причин вплотную приблизились к военному конфликту между собой. Происходят такие конфликты и между более мелкими странами, в т. ч. на постсоветском пространстве. В очередной раз активизируются — иногда терпят поражение, а иногда на определенный период даже побеждают — политические, религиозные, национальные и т. п. движения, которые в ряде стран считаются террористическими. Тлеют, иногда с выбросами пламени, горячие точки на мировой арене, которые уже не раз служили источником крупных и средних военных столкновений.

Различные силы — иногда самостоятельно, а иногда чужими руками — намереваются за счет военных конфликтов решить свои проблемы. Развитие любого такого конфликта может повлечь расширение военных или близких к ним широкомасштабных военно-террористических действий на значительные участки, прежде всего Евразийского континента. В силу территориального расположения России и ее исторического развития многие из таких потенциальных военных конфликтов с большой степенью вероятности могут затронуть нашу страну. События на Украине подтверждают значимость этой проблемы.

Отсутствие иллюзий по отношению к такому тренду развития международной обстановки актуализировало для нашей страны следующие задачи:

- не дать полноценно сконструировать максимально неблагоприятные для нас условия военного конфликта в Европе или Азии, столкнув нас лбами с нашими естественными торговыми партнерами: Германией, Францией, Китаем и далее по списку российских экспортных поставок;
- подготовиться к серьезной войне, сформировав контур управления, позволяющий использовать наши преимущества и нивелировать имеющиеся преимущества возможных противников России (они же во многих случаях наши торговые партнеры и/или граничащие с нами страны).

Задача России в этих условиях — подготовить контур управления, способный справиться с военно-экономическими проблемами критического характера, не «умывшись кровью», а в режиме напряженного, но спокойного управления цепочкой ситуаций и упреждающего стратегического планирования на предвоенный, военный и послевоенный периоды.

Схема налаживания работы экономики России в условиях военного конфликта приведена на рисунке 6.1.

Методы моделирования этих процессов достаточно отработаны^{372, 373}.

Целесообразно формирование системы управления в особый период, способной функционировать как в масштабах всех отраслей экономики России и иных территорий за ее пределами в обычных условиях, так и в зоне поражения экстремальными воздействиями военного, террористического и иного аналогичного характера, вызывающими замедление методов управления финансово-экономическими процессами.

Новая технология управления должна обеспечивать динамическое изучение денотативных и когнитивных семантик явных и латентных связей в базах данных и моделях, содержащих необходимую информацию об операционно-режимных ситуациях цепочки «наличие — замещение — использование» важнейших материальных ресурсов и финансовых средств.

Предлагается автоматизированный мониторинг и контроль с заданием базовых характеристик системно-динамического анализа электронного контента управления экономикой (на основе обработки информации, накопленной в электронных закупочных системах (электронных торговых площадках)

³⁷² Бахтизин А. Р., Макаров В. Л., Хабриев Б. Р. Опыт реализации параллельной пространственно-распределенной агент-ориентированной модели с использованием многоядерной архитектуры // Искусственные общества. 2020. Т. 15, № 1. С. 2.

³⁷³ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Ильин Н. И. Моделирование и оценка национальной силы России // Экономические стратегии. 2020. № 2. С. 6–19.

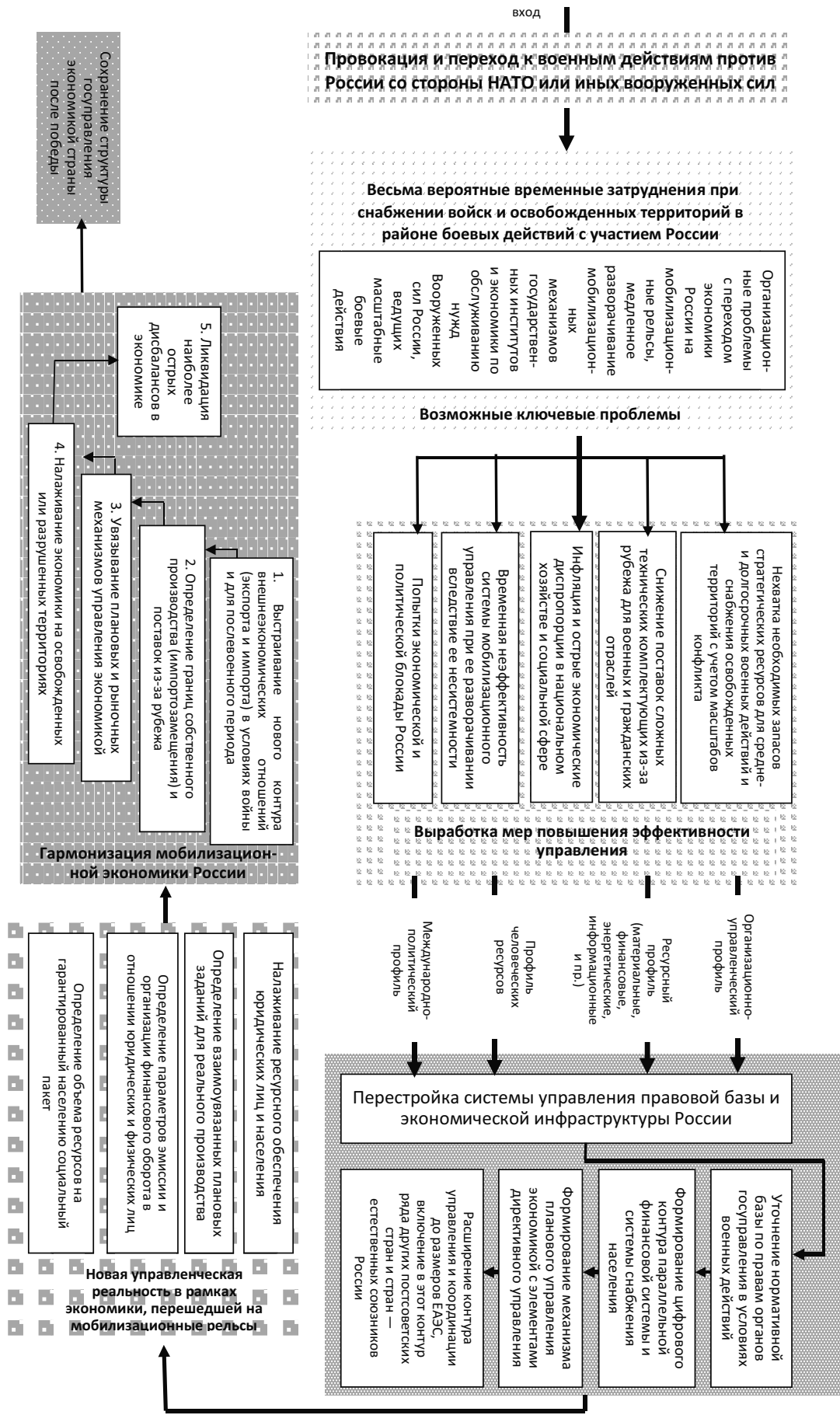


Рисунок 6.1. Схема налаживания работы экономики России в условиях военного конфликта

при поддержании режимов самонастраивающейся, в т. ч. Антиколлапсной, интеграции данных, адаптированной к быстроразвивающимся чрезвычайным условиям известного, предсказуемого и неизвестного характера. По результатам анализа формируются временные, ресурсные или операционно-режимные матрицы любого регулируемого экономического процесса, обеспечивая ранее недостижимую надежность, устойчивость и восстановимость управления экономикой³⁷⁴.

Предлагается формирование выделенного (электронного, цифрового) контура обращения финансовых средств для обеспечения ритмичного финансирования деятельности хозяйствующих субъектов всех форм собственности, в т. ч. в условиях выпадения существенных сегментов продуктовых и служебных цепочек, разрыва устоявшихся хозяйственных связей (заказов, поставок, логистики и пр.), блокирования работы финансово-банковской инфраструктуры, уничтожения или выведения из строя информационных массивов³⁷⁵.

Для реализации таких новых стратегических возможностей необходимо:

- формирование катастрофоустойчивой информационной платформы (как базы для организационной реконфигурации экономической суперсистемы для упорядочения процессов обеспечения структурированных экономико-технологических зон необходимыми ресурсами), а также механизмов регулирования восстановления разрушенных производственных мощностей, их обновления и модернизации в условиях ограниченности финансовых средств³⁷⁶;

- совершенствование экономической модели ценообразования в рамках сочетания рынка и государственной системы установления цен и тарифов для оптимизации тарифно-ценовой нагрузки на потребителей электроэнергии, тепла и других ресурсов и услуг для эффективного обеспечения юридических и физических лиц;

- выстраивание контура сбора производственной и экономической информации с введением полноценно функционирующей системы сбора данных с ЭТП, в т. ч. в отношении обеспечения ресурсами как децентрализованного, так и централизованного характера для мониторинга и координации реальных процессов предоставления товаров и услуг и ценового тренда на товарных рынках;

- структурирование эмиссии, позиционирование государственных и негосударственных инвесторов в отношении вложений в инвестиционные проекты (включая восстановление разрушенных объектов) с новой конфигурацией структуры органов регулирования деятельностью компаний всех форм собственности;

- увязка методов решения проблем финансирования деятельности компаний всех форм собственности как на тарифно-ценовой, так и на внетарифной основе с относительно стабильным спектром регуляционных изменений и операционных механизмов производства и логистики с возможностью регулирования ценового тренда на рынках товаров и услуг.

Необходимо формирование в экономике России комплексного сквозного (корпоративно детализированного) баланса всех видов топливно-энергетических ресурсов (электроэнергии, газа, нефтепродуктов, угля и т. п.) по видам взаимосвязанных энергетических бизнесов («добыча топлива — генерация энергии/тепла — передача — распределение») с выходом на единый киловатт-час или его аналог, структурированных по любым финансовым и натуральным показателям. Балансирование создает возможность государственного программирования (в т. ч. федерального и регионального планирования) социально значимой финансовой нагрузки на потребителей топливно-энергетических ресурсов, а также конкурентоспособности других российских отраслей, прежде всего в отношении энергоемких производств и услуг³⁷⁷.

³⁷⁴ Агеев А. И., Логинов Е. Л. Госплан — основные подходы к планированию социально-экономического развития России // Экономические стратегии. 2013. Т. 15, № 8 (116). С. 100–112.

³⁷⁵ Логинов Е. Л. Организационно-экономическое программирование развития ОПК России с опорой на интегрированную информационно-вычислительную поддержку жизненного цикла научно-технической продукции // Экономика: теория и практика. 2015. № 2 (38). С. 3–10.

³⁷⁶ Агеев А. И., Бочкарев О. И., Грабчак Е. П., Логинов Е. Л. Сетевая система повышенной живучести управления энергетикой России в сложнопрогнозируемых критических условиях // Экономические стратегии. 2021. Т. 23, № 3 (177). С. 6–17.

³⁷⁷ Логинов Е. Л., Райков А. Н., Эриашвили Н. Д. Аналитическое моделирование кризисных процессов: первоочередные подходы к удержанию российской экономико-политической системы в рамках управляемого контура // Вестник Академии экономической безопасности МВД России. 2015. № 5. С. 91–96.

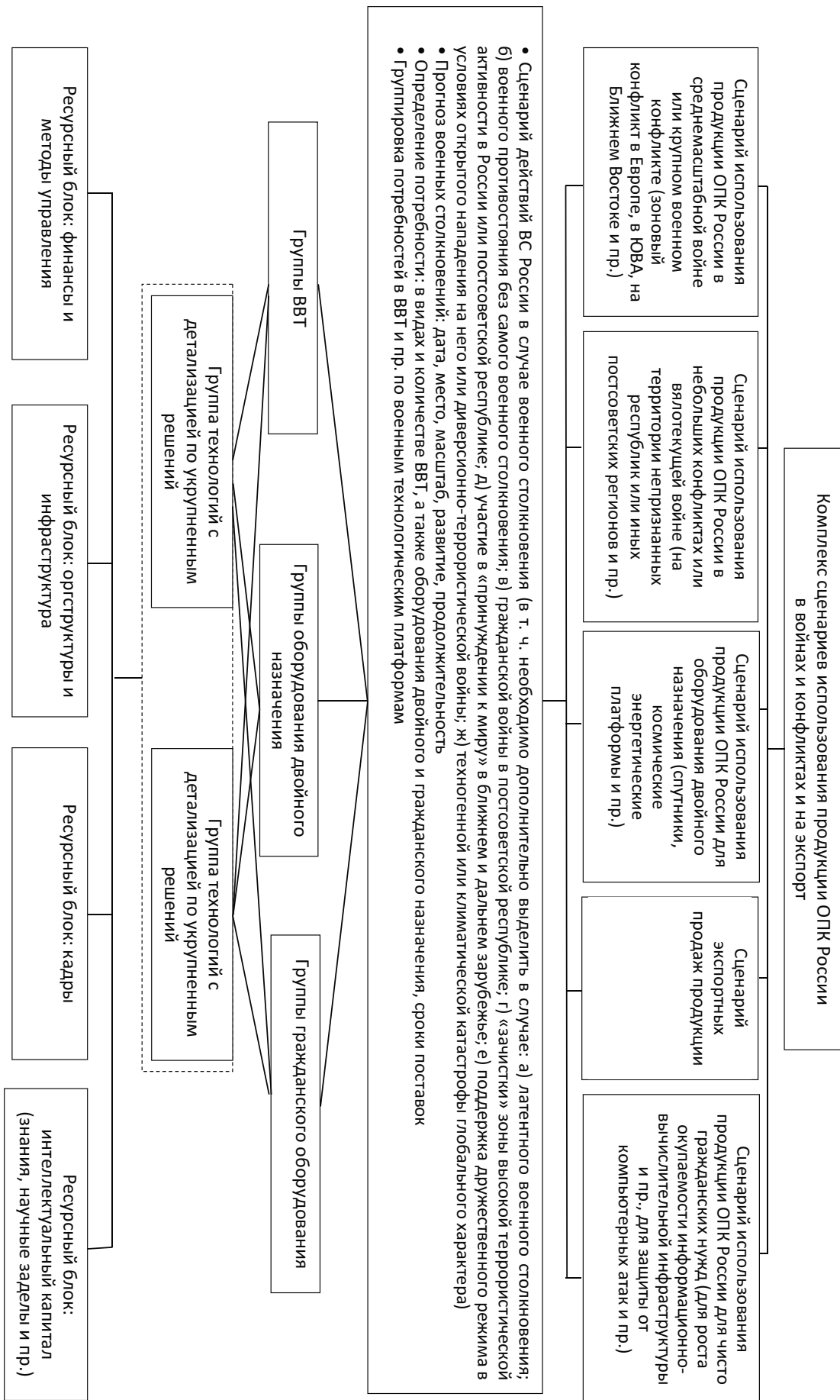


Рисунок 6.2. Структура стратегических сценариев использования продукции ОПК России

Участие поставленной на экспорт советской и российской техники в боевых столкновениях в разных регионах мира показало, что российская военная техника, как новая, так и, казалось бы, морально устаревшая, но частично модернизированная, как правило, с успехом противостоит западным и азиатским образцам³⁷⁸.

В НАТО и тех странах, которые могут стать нашими военными противниками в случае такого стечения обстоятельств, с вооружением в общем-то похожая ситуация: ввиду ограниченности средств перевооружение идет очень медленно, в основном путем частичной модернизации старых образцов. Новой техники приходит мало, и позволить ее могут себе очень немногие наши геополитические конкуренты. Кроме того, казалось бы, передовые образцы техники наших геополитических конкурентов, крайне дорогостоящие, лишь иногда весьма незначительно превышают по своим ТТХ российские аналоги, и их очень мало.

На рисунке 6.2 приведена структура стратегических сценариев использования продукции ОПК России.

Налаживание системных механизмов импортозамещения требует сведения в одном информационном пространстве производителей оборудования и потребителей этого оборудования в лице хозяйствующих субъектов и органов исполнительной власти. Такое информационное пространство можно сформировать путем интеграции межотраслевых и корпоративных систем сбора пакета заказов/поставок в средне- и долгосрочной перспективе и управления производственными активами, т. е. необходимо формирование цифровой подсистемы взаимодействия стейкхолдеров импортозамещения. Особого внимания требует интеграция данных о реализации НИОКР по разработке инновационного российского оборудования в систему импортозамещения³⁷⁹.

Задача организации комплексного механизма планирования и управления научно-техническим развитием в экономике России может быть решена путем создания опорной информационной системы (платформы), собирающей все доступные данные и обладающей необходимой архитектурой и функциональностями для внедрения сервисов, которые адаптивно поддерживают взаимодействие структур фундаментальной и прикладной науки и образования в пределах регулируемого диапазона востребованных инноваций со стороны хозяйствующих субъектов и госведомств (в рамках платежеспособного спроса).

Работа такой системы (платформы) в экономике является инструментом поддержки управленческой деятельности при формировании пакетного заказа по технике и технологиям, а также сопровождения выполнения и мониторинга результатов исполнения договоров.

6.2. Управление восстановлением функций жизнеобеспечения в экономике России для преодоления последствий природной макрокатастрофы

Возможные риски природной или техногенной макрокатастрофы (падение крупного метеорита, землетрясение 10–12 баллов и пр., а также пандемии, аналогичной COVID-19, но с более тяжелыми последствиями) для суперсистемы российского государства, территории, экономики и пр. требуют разработки и реализации комплекса мер, резко повышающих эффективность госуправления в отношении перечня регулируемых ресурсных, экономических, технических, социальных и иных параметров³⁸⁰.

Ситуация с COVID-19 продемонстрировала неготовность практически всех стран мира к глобальным природным или квазиприродным катастрофам. Аналогично, например, наводнение в Германии летом 2021 г. также продемонстрировало неготовность институтов жизнеобеспечения развитых стран к серьезным потрясениям.

³⁷⁸ Грабчак Е. П., Логинов Е. Л. Перестройка управления ОПК России применительно к перспективам потребностей в продукции отрасли для использования в условиях различных стратегических сценариев // Проблемы повышения эффективности научной работы в оборонно-промышленном комплексе России. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. Астрахань: Астраханский государственный университет, 2020. С. 63–65.

³⁷⁹ Барикаев Е. Н., Логинов Е. Л., Эриашвили Н. Д. Построение контура стратегического управления научно-техническим развитием в оборонно-промышленном комплексе России // Образование. Наука. Научные кадры. 2015. № 1. С. 156–161.

³⁸⁰ Агеев А. И., Логинов Е. Л. Coronavirus superstrategy: мировая проекция финансовой модели catastrophe just-in-time для выхода из кризиса на новую геоэкономическую нормальность // Экономические стратегии. 2020. Т. 22, № 4 (170). С. 6–19.

Системы жизнеобеспечения нашей страны по многим параметрам уступают аналогичным системам СССР, хотя некоторые аспекты подготовки и противодействия в России чрезвычайным и аналогичным ситуациям неглобального масштаба в последние годы показали свою эффективность³⁸¹.

Однако в условиях сверхкритической ситуации управление восстановлением функций жизнеобеспечения для преодоления последствий природной или техногенной макрокатастрофы требует повышения эффективности с учетом значительной компоненты неопределенности таких событий^{382, 383}.

Можно предложить следующие укрупненные группы мер по подготовке системы госуправления нашей страны к таким ситуациям:

- разработка сценариев последствий возможных управляющих воздействий со стороны органов государственной власти на институциональную и конъюнктурную среду, органы власти разного уровня и хозяйствующие субъекты с целью поддержания устойчивости экономики России в условиях мировой природной катастрофы и периода восстановления пострадавших территорий³⁸⁴; разработка мер по повышению эффективности управляющих воздействий со стороны органов государственной власти с целью поддержания устойчивости экономики России в условиях природной катастрофы и периода восстановления пострадавших территорий³⁸⁵;

- диагностика экономической (в т. ч. энергетической, продовольственной и пр.) безопасности России в условиях природной катастрофы и периода восстановления пострадавших территорий; анализ влияния рисков внешних угроз экономической безопасности страны вследствие природной катастрофы, в т. ч. введения карантина, на функционирование экономики в условиях нарушения кооперационных, экономических и социальных связей, а также на эффективность работы и развития отдельных секторов экономики (в энергетике это генерация электроэнергии и тепла, магистральная транспортировка, распределение электроэнергии, энергосбытовая деятельность, обеспечение топливно-энергетическими ресурсами объектов электро- и теплогенерации), в т. ч. на выполнение инвестиционных программ³⁸⁶;

- построение карты рисков развития экономики России в условиях природной катастрофы в увязке с ситуацией и возможным поведением других стран — покупателей наших ресурсов и поставщиков необходимой продукции и с учетом наибольшего влияния их как в отдельности, так и в совокупности на устойчивость российской суперсистемы³⁸⁷; построение сценарного «дерева рисков»;

- выявление сфер экономики в отраслевом, территориальном и корпоративном аспектах, нуждающихся в первоочередной государственной поддержке в условиях природной катастрофы и периода восстановления пострадавших территорий, с определением сценарных макроэкономических и производственно-технологических эффектов от оказания различных мер господдержки³⁸⁸;

- разработка системных механизмов поддержания работы систем жизнеобеспечения в условиях природной катастрофы и периода восстановления пострадавших территорий с детализацией по основным технологическим профилям и техническим подсистемам; определение необходимых мер для

³⁸¹ Агеев А. И., Логинов Е. Л. Россия в новой экономической реальности. М.: Институт экономических стратегий; Ассоциация «Аналитика», 2016.

³⁸² Грабчак Е. П., Логинов Е. Л. Актуализация элементов централизованного государственного управления в рыночной среде ТЭК России в условиях многофакторной нестабильности с расширенной компонентой неопределенности // Искусственные общества. 2020. Т. 15, № 2. С. 7.

³⁸³ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д. Технология поддержки агент-ориентированного моделирования для суперкомпьютеров // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2016. Т. 12, № 1 (334). С. 4–16.

³⁸⁴ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Агеева А. Ф. Агент-ориентированная модель Евразии и имитация реализации крупных инфраструктурных проектов // Экономика региона. 2018. Т. 14, № 4. С. 1102–1116.

³⁸⁵ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Агеева А. Ф. Имитация социально-экономической системы Евразийского континента с помощью агент-ориентированных моделей // Прикладная эконометрика. 2017. № 4 (48). С. 122–139.

³⁸⁶ Грабчак Е. П., Логинов Е. Л. Анализ и прогнозирование критических ситуаций в электро- и теплоэнергетике России на основе внедрения инновационных информационных сервисов // Инновационная деятельность. 2019. № 4 (51). С. 24–28.

³⁸⁷ Грабчак Е. П., Григорьев В. В., Логинов Е. Л., Райков А. Н., Шкута А. А. Управление экономикой России в условиях с предельно большой компонентой неопределенности развития чрезвычайных ситуаций и критического недостатка информации // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2019. № 4. С. 104–110.

³⁸⁸ Бахтизин А. Р., Абрамов В. И. Применение агент-ориентированного подхода для моделирования сценариев чрезвычайных ситуаций в регионах России // Экономические и экологические вызовы устойчивому развитию России и других стран СНГ: проблемы формирования новой технологической базы. Материалы международной научно-практической конференции. М.: ИПР РАН, 2017. С. 29–31.

снижения негативного воздействия природной катастрофы на работу отраслевых и территориальных технологических комплексов с учетом их технологических, организационных и экономических взаимосвязей³⁸⁹;

- анализ и систематизация опыта СССР (нормативные акты и фактические организационные мероприятия) по массовой эвакуации и возвращению хозяйственных объектов (оборудования) в период Великой Отечественной войны; анализ и систематизация опыта СССР по перемещению промышленных объектов из зоны чернобыльской аварии; анализ последствий землетрясения в Спитаке; разработка рекомендаций по адаптации этого опыта к современным условиям глобальных природных и техногенных катастроф (наводнение, землетрясение, авария на АЭС и пр.) в отношении хозяйственных, а также социальных и иных объектов в России;

- анализ особенностей и проблем функционирования экономики России в особый период (военные действия, зональная активизация террористической активности, массовые беспорядки и пр.) с учетом накопленного опыта решения этих проблем в условиях рыночной экономики в постсоветский период (проблемы: технические, логистические, финансово-экономические, кадровые и т. п.); разработка рекомендаций по адаптации имеющихся организационных и информационных механизмов взаимодействия федеральных, региональных и муниципальных властей и корпоративного управления для обеспечения устойчивой работы органов власти разного уровня и хозяйствующих субъектов в условиях природной катастрофы и периода восстановления пострадавших территорий.

- расчеты комплексного ресурсного и топливно-энергетического балансов на различных уровнях управления (Российская Федерация, субъект Российской Федерации или крупное муниципальное образование, территория); построение продуктовых моделей (математическое моделирование, описание функционирования комплекса анализируемых объектов, прогнозирование, в т. ч. при внешних воздействиях на ресурсный и топливно-энергетический балансы, в т. ч. в условиях природной катастрофы).

На рисунке 6.3 приведена модель функционирования экономики России в условиях природной катастрофы и периода восстановления пострадавших территорий.

С учетом значительной вероятности временного блокирования активности информационных подсистем производственных, энергетических и т. п. объектов в условиях природной катастрофы и периода восстановления пострадавших территорий необходимо быть готовыми к определенному временному периоду автономной работы³⁹⁰.

При развитии сбоев, приводящих к каскадным отключениям или блокированию работы, для поддержания стабильности работы в чрезвычайных ситуациях авторы предлагают опираться на управляемую временную кластеризацию информационных и энергетических систем управления (временную дезинтеграцию системы на кластеры с последующим самовосстановлением в автоматическом или оперативно управляемом режиме)³⁹¹.

Временная дезинтеграция системы на кластеры ставит задачу поиска новых методов управления. Российскими учеными разработан ряд подходов к повышению эффективности существующих информационных и энергетических систем управления со сложной структурой.

Наиболее перспективным здесь является использование мультиагентных технологий: системы адаптивного управления (децентрализованной адаптивной координации) работой объектов³⁹².

³⁸⁹ Агеев А. И., Радина В. А. Методология формирования плана на основе инструментария цифровой экономики // Экономические стратегии. 2019. Т. 21, № 4 (162). С. 6–17.

³⁹⁰ Агеев А. И., Бочкарев О. И., Грабчак Е. П., Логинов Е. Л. Сетевая система повышенной живучести управления энергетикой России в сложнопрогнозируемых критических условиях // Экономические стратегии. 2021. Т. 23, № 3 (177). С. 6–17.

³⁹¹ Агеев А. И., Грабчак Е. П., Логинов Е. Л., Махутов Н. А. Подходы к восстановлению элементов государственного управления в энергетике для действий в условиях чрезвычайных ситуаций сложнопрогнозируемого характера // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2020. № 4. С. 53–59.

³⁹² Бахтизин А. Р., Макаров В. Л., Сушко Е. Д., Сушко Г. Б. Система проектирования масштабируемых агент-ориентированных моделей, включающих популяции агентов разных типов с динамически изменяющейся численностью и сложными многоэтапными взаимодействиями агентов, образующих социальные сети // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020612410, 20.02.2020. Заявка № 2020611366 от 06.02.2020.

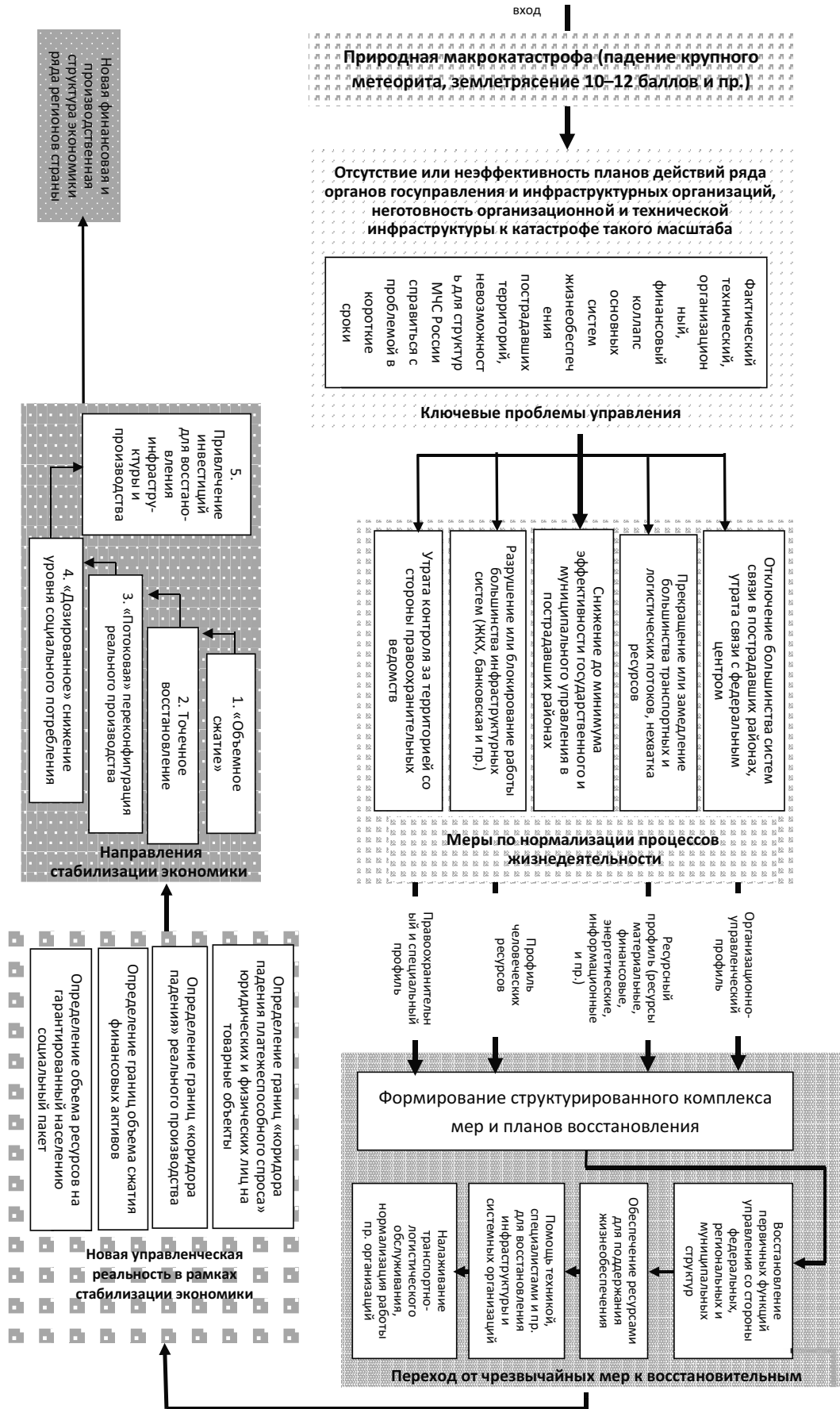


Рисунок 6.3. Модель функционирования экономики России в условиях природной катастрофы и периода восстановления пострадавших территорий

При этом первоочередное внимание необходимо уделить интеллектуальным сегментам информационных подсистем.

Особенно это важно в отношении сложных объектов в электро- и теплоэнергетике с большим количеством автономных подсистем управления, не входящих в глобальные централизованные информационно-управляющие сети³⁹³.

Управляемая временная дезинтеграция системы на кластеры с последующим самовосстановлением в автоматическом или оперативно управляемом режиме путем децентрализованной стабилизации и управления качеством сложносоставной системы в линейной, нелинейной, оптимальной и адаптивной постановках позволяет рассчитать желаемые передаточные матрицы вынужденного движения выхода для всех локальных информационных подсистем управления.

В результате обеспечивается выполнение поставленных целей управления для определенного перечня вариаций возмущений из прогнозируемой области группы энергетических и иных объектов в рамках кластера³⁹⁴.

На этой основе создается возможность определения мер по стабилизации работы информационных и энергетических систем управления в условиях действия на управляемый объект динамических во времени или величине возмущений для регулирования динамики работы объектов в отношении формирования их синхронных групп для класса многосвязных объектов с запаздыванием, когда измерению доступны скалярные входные и выходные сигналы локальных подсистем.

В хозяйствующих субъектах цифровые описания идентифицируемых параметров оборудования группируются в виртуальные информационные блоки данных с учетом характеристик жизненного цикла оборудования.

При этом создается возможность анализа разноплановых технико-экономических данных, получаемых из различных информационных источников для определения оптимального вида, стоимости и сроков восстановления работоспособности пострадавших объектов.

На этой основе осуществляется выход на формирование сценариев технических воздействий на это оборудование (агентное моделирование управляемого событиями поведения): продолжения эксплуатации, осуществления ремонта, замены, модернизации или реконструкции с учетом протекания деградиционных процессов в массиве оборудования.

Анализ технических и экономических параметров процессов восстановления позволяет проанализировать движение пакетов ресурсов, выделить тенденцию изменения группы показателей надежности и рабочего ресурса восстанавливаемого оборудования и их характеристики для выработки управляющих рекомендаций в рамках интерактивной коммуникации хозяйствующих субъектов и органов государственного управления.

Для реализации механизмов управления процессами восстановления на пострадавшей территории необходимо:

- формирование нормативно-правовой и организационной схемы воссоздания и функционирования органов управления на уровне субъекта Федерации, муниципальных образований и крупных сельских поселений, а также механизмов корпоративного управления на пострадавших хозяйствующих субъектах и социальных объектах;
- совершенствование экономической модели ценообразования в рамках развития рынков и одновременно в рамках государственного ценового и тарифного регулирования для оптимизации тарифно-ценовой нагрузки на потребителей ресурсов для эффективного обеспечения ресурсами подконтрольных технологических зон;
- выстраивание контура регулирования производственной и экономической информации на пострадавшей территории для мониторинга и координации реальных процессов предоставления ресурсообеспечения и работы систем жизнеобеспечения;

³⁹³ Логинов Е. Л., Боргалевич С. И., Шкута А. А., Логинова В. Е. Подходы к использованию модели самоорганизации и распада нейронно-сетевых структур для повышения живучести информационных систем органов государственного управления вследствие природных, техногенных катастроф или военных атак // Вестник Московского университета МВД России. 2017. № 4. С. 187–194.

³⁹⁴ Бахтизин А. Р., Макаров В. Л., Хабриев Б. Р. Опыт реализации параллельной пространственно-распределенной агент-ориентированной модели с использованием многоядерной архитектуры // Искусственные общества. 2020. Т. 15, № 1. С. 2.

- формирование механизма, позволяющего оперативно идентифицировать разрушения и идущие изменения в процессах восстановления производственных фондов;
- увязка методов решения проблем финансирования процессов восстановления напрямую из бюджетов разных уровней, а также как на тарифно-ценовой, так и на внетарифной основе с относительно стабильным спектром регуляционных изменений и операционных механизмов реальных процессов получения и расходования финансовых средств.

Целесообразно запустить программу комплексного анализа угроз критических ситуаций вследствие природных и техногенных катастроф с выходом на пакет общетехнических и специальных мер, которые необходимо будет учесть органам государственного управления и хозяйствующим субъектам при утверждении и реализации стратегий развития инфраструктуры, выделения федерального и регионального финансирования, утверждения цен и тарифов и т. п.

Для реализации в среднесрочном периоде необходимо сформировать рекомендации и заложить их в программы развития инфраструктуры, касающиеся следующих элементов работы в условиях критических ситуаций вследствие природных и техногенных катастроф:

- резервные поставщики, запасы, транспортные пути, маршруты и сроки подвоза и хранения топлива и иных ресурсов, условия их поставки и механизмы финансовых расчетов в чрезвычайных обстоятельствах;
- запасные пути, сети и системы энергоснабжения, возможности замены сетей, переброски ресурсов, быстрого восстановления систем управления в случае выхода их из строя в обычных и чрезвычайных условиях;
- производственное оборудование различных видов, в том числе повсеместное дополнение для возможности поддержания коммуникаций по сетям технологического управления и телекоммуникационным сетям общего пользования в условия природных и техногенных катастроф;
- сохранность данных, защищенность вычислительных центров, наличие дополнительных и запасных каналов и систем связи в обычных и чрезвычайных условиях;
- оборудование и устройства отечественного производства с цифровыми компонентами (новое строительство и модернизация), исключающими возможность выведения их из строя в условиях природных и техногенных катастроф;
- система автоматизированного информирования местных и центральных подразделений органов государственного управления и силовых структур, организационные и информационные механизмы, адаптированные к работе в условиях природных и техногенных катастроф в рамках субъекта Федерации, а также на федеральном уровне³⁹⁵.

Предлагается создание компьютерной информационной системы моделирования воздействий на электро- и теплосетевое хозяйство в обычных и чрезвычайных условиях с опорой на новые вычислительные возможности с использованием элементов искусственного интеллекта, в том числе математических технологий на основе нечеткой логики, включая учет следующих эффектов:

- типовые факторы воздействия на объекты электро- и теплосетевого хозяйства в обычных условиях;
- ресурсные топливно-энергетические факторы, формирующие условия генерации и передачи электроэнергии (оборот электроэнергии в системе, связь с поступлением топливно-энергетических ресурсов в генерирующие компании и пр.);
- факторы воздействия вследствие чрезвычайных ситуаций естественного характера (природные, климатические и т. п. флуктуации: наводнения, пожары, грозы, ураганы, метеориты, температурные аномалии — жара, морозы, выпадение снега и ливни, обмерзание и оледенение, резкое обмеление рек и спад воды в водохранилищах при ГЭС и т. п.);
- факторы воздействия вследствие чрезвычайных ситуаций инициированного технического характера (информационные сетевые атаки (в т. ч. внедрение вирусов, перегружение каналов связи, лож-

³⁹⁵ Grabchak E. P., Loginov E. L., Grigoriev V. V. Ensuring observability and controllability of complex technical systems in difficult and irregular situations when commands with a large distortion component are received // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2021. Т. 729 LNEE, p. 624–631.

ные команды smart grid и т. п.), военные и террористические атаки, массовые беспорядки с захватом и повреждением объектов и т. п. — варианты атак, зоны поражения, возможность замещения отключившихся сегментов и объектов, замещения отключившихся систем связи, оптимальные маршруты и системы замещения и переконфигурации энергопоставок, необходимые запасы и места складирования с источниками финансирования, замещение выпадения управляющих центров, возможные источники срочного привлечения на цели восстановления финансовых средств энергетических компаний и пр.);

- факторы воздействия вследствие некорректной работы связанных обеспечивающих систем (например, ценовые пики на топливно-энергетические ресурсы, кризисная динамика падения курса рубля, банкротство системообразующего банка, приводящее к выпадению больших сумм финансовых средств энергетических компаний на банковских счетах, блокирование притока электроэнергии в единую энергосистему России из-за рубежа вследствие политических событий и пр.);

- организационные проблемы снижения управляемости отрасли в чрезвычайных условиях (кто и как будет принимать решения в случае внезапного отсутствия или бездействия управляющих органов энергетических компаний на различных уровнях (муниципальном, субъекта Федерации, средней или крупной компании и пр.) — отсутствия членов дирекции, невозможности срочного сбора совета директоров, отсутствия органов госуправления).

Таким образом, необходимо обеспечить следующие результаты адаптации систем управления к условиям природной катастрофы и периода восстановления пострадавших территорий:

- готовность разворота с нуля работы инфраструктуры систем жизнеобеспечения в условиях изолированной работы в случае полного прекращения ресурсоснабжения или прекращения получения управляющих сигналов (команд) систем автоматизированного управления из-за пределов данного субъекта Российской Федерации;

- проверку готовности перевода ответственных потребителей на децентрализованное электроснабжение от автономных резервных источников электроснабжения;

- проверку готовности оборудования операторов связи (задействованного в каналах технологической связи между объектами и диспетчерскими центрами) к бесперебойному оказанию услуг связи в случае прекращения электроснабжения узлов связи или временного блокирования оборота информации по телекоммуникационным сетям общего пользования, получаемой из-за пределов субъекта Федерации.

6.3. Проектирование действий России в условиях глобального экономического коллапса вследствие обрушения доллара США

Развитие мировой экономики перешло в процесс, который четче всего характеризуется все большей компонентной стратегической неопределенности³⁹⁶. Экономические последствия пандемии COVID-19 фактически надломили существовавший более полувека финансово-экономический каркас, позволявший хоть как-то успешно балансировать макроэкономические диспропорции, которые приобрели катастрофический характер³⁹⁷.

Антикризисное моделирование по итогам COVID-19 характеризуется многими триллионами эмиссии долларов США, не сбалансированных производством продукции или оказанием реальных услуг.

Пока еще инфляционный обвал доллара удастся удержать. Но это становится все сложнее³⁹⁸. Не укрепляют доллар разного рода санкции и политические акции, инициируемые и реализуемые руководством США, вносящие в мировую экономику нестабильность близкую критической.

Для расшивки накопившихся проблем необходимы меры чрезвычайного характера.

³⁹⁶ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Ильин Н. И., Сушко Е. Д. Национальная безопасность России // Экономические стратегии. 2020. Т. 22, № 5 (171). С. 6–23.

³⁹⁷ Агеев А. И., Логинов Е. Л. Coronavirus superstrategy: мировая проекция финансовой модели catastrophe just-in-time для выхода из кризиса на новую геоэкономическую нормальность // Экономические стратегии. 2020. Т. 22, № 4 (170). С. 6–19.

³⁹⁸ Агеев А. И., Логинов Е. Л. Формирование новой модели валютно-финансовой политики при управлении национальными золотовалютными резервами России // Экономические стратегии. 2016. Т. 18, № 3 (137). С. 8–5.

Лежащая в основе поддержки глобальной, и в том числе американской, экономической конъюнктуры гипертрофированная эмиссия доллара США уже несколько раз ставила мировую валютно-финансовую систему на грань коллапса, который мог легко перейти в мировую экономическую катастрофу^{399, 400}. COVID-19 позволил США продолжить наращивание эмиссии доллара во все возрастающих масштабах.

Однако это не решение проблемы, а только отодвигание коллапса на какое-то количество лет.

Перспективы дальнейшей опоры мировой экономики на доллар США как на главный инструмент поддержания стабильности демонстрируют все более серьезные риски и угрозы обрушения доллара с взаимосвязанным глобальным экономическим коллапсом⁴⁰¹.

В гипотетических условиях обрушения доллара можно предположить следующий порядок действий России по стабилизации собственной экономики и экономик дружественных республик на постсоветском пространстве.

Входные условия: происходит обвальное падение курсов доллара США и ряда национальных валют других стран, включая Россию. Падение усиливается массовой валютной атакой со стороны британских и постамериканских (выведенных в Сингапур и пр.) ТНБ⁴⁰². США вводят параллельную доллару новую валюту (World-валюта) для стабилизации экономической ситуации. В США и мировой экономике с нуля запускается новый кредитно-инвестиционный (он же эмиссионно-инфляционный) цикл. World-валюта может быть чисто электронной, т. е. безналичной. Также может быть и наличный сегмент. США блокируют на счетах в банках суммы в долларах. Все госрасходы США, уплата налогов и иных обязательных платежей теперь осуществляются только с использованием World-валюты. Вводится принудительный (завышенный) курс World-валюты к доллару. На World-валюту обменивается только часть сумм долларов (происходит быстрое удорожание World-валюты). Падение курсов доллара и ряда привязанных к нему национальных валют, а также рубля, продолжается.

Суммы в долларах (вложения других стран и компаний в гособлигации США, наличные купюры и т. п.) не обнуляются, а зачисляются на спецсчета в Минфине США с последующей передачей их для операционного обслуживания в уполномоченные банки ФРС США. Наличные купюры в долларах, обращающиеся за пределами США, сдаются в филиалы и дочерние банки США, находящиеся за рубежом, с последующим зачислением World-валюты на спецсчета. Финансовые средства со спецсчетов можно расходовать только на закупки продукции из США.

Золотые запасы России замораживаются решением национального российского регулятора.

США предлагают ряду стран предоставление центральным банкам этих стран займов в World-валюте.

Затем Россия в рамках ЕАЭС — в республиках бывшего СССР — предлагает ввести как параллельную цифровую союзную валюту (единую валюту ЕАЭС для оплаты поставок товаров между республиками и расчетов между ними).

Происходит естественное падение курсов ценных бумаг ряда американских компаний. Падение курсов ценных бумаг усиливается массовой атакой на американские фондовые рынки со стороны британских и постамериканских (выведенных в Сингапур и пр.) ТНБ.

Американские, британские и постамериканские ТНК и ТНБ начинают массово скупать подешевевшие активы и ресурсы ряда восточноевропейских компаний, землю и пр. за постоянно дорожающую World-валюту. У местных компаний денег нет, т. к. они в долларах или в обвалившейся национальной валюте, а американские компании имеют неограниченный кредит от ФРС в World-валюте.

³⁹⁹ Агеев А. И., Логинов Е. Л. Институциональные механизмы снижения мультифакторных рисков для валютно-финансовой системы России и ЕАЭС в условиях нелинейной экономической динамики. Монография. М.: Институт экономических стратегий, 2017.

⁴⁰⁰ Макаров В. Л., Ву Ц., Ву З., Хабриев Б. Р., Бахтизин А. Р. Мировые торговые войны: сценарные расчеты последствий // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90, № 2. С. 169–179.

⁴⁰¹ Агеев А. И., Ворожихин В. В., Логинов Е. Л., Махутов Н. А., Яковец Ю. В. Проблемы формирования комбинированной валютной позиции России на мировых финансовых рынках в условиях критической динамики взаимовлияния доллара, евро и юаня // Выход из системной кризисной цикличности: проблемы и пути устойчивого экономического развития. Материалы международной научно-практической конференции. М.: ИПР РАН, 2018. С. 12–14.

⁴⁰² ТНБ — транснациональные банки.

США обещают, что национальные валюты и существующий доллар США будут в недалекой перспективе свободно обмениваться на World-валюту, но постоянно отодвигают эту дату в будущее.

На территории США происходит быстрый обмен выделенных населению квот наличных долларов на World-валюту.

Курс рубля, вследствие жесткого мирового кризиса, продолжает падать. В России расчеты в союзной валюте и рублях разрешены. Однако производство замедляется. В ряде регионов начинаются перебои с поставками товаров и продовольствия в магазины. Впереди маячат массовые проявления населением социально-политического раздражения.

Ситуация требует срочной реализации чрезвычайных мер восстановления экономической стабильности.

Для преодоления коллапса предлагается введение российскими властями Регуляционно-координационной системы, опирающейся на интегрированный пул электронных торговых систем и площадок (ЭТП)⁴⁰³. Эта система раздает заказы, обеспеченные рублями и союзной валютой и организует поступление товаров и продовольствия⁴⁰⁴.

Основные операции Регуляционно-координационной системы, координирующей поставки товаров и сопровождающей расчеты при поставках, — это государственные и муниципальные закупки⁴⁰⁵.

Для эффективной работы координационных механизмов необходимо введение в государствах — членах ЕАЭС автоматизированного удаленного фискального, госуправленческого и правоохранительного анализа движения финансовых средств в национальных валютах (в т. ч. как основы выяснения спросовых сигналов на наращивание ликвидности в национальных валютах вообще и неинфляционной потребности в союзной валюте — единой валюте ЕАЭС — в частности) через присвоение индивидуального номера каждой безналичной денежной единице финансовых средств в национальных валютах и в союзной валюте (аналогично цифровой валюте) для обеспечения контроля любых форм движения активов между участниками товарных, финансовых и имущественных сделок.

Концептуальной основой антиинфляционной финансовой политики формирования динамично конфигурируемой структуры объема денежных средств в национальных валютах государств — членов ЕАЭС и в союзной валюте должна стать архитектура электронных финансовых систем для вычислительного формирования электронно-мониторинговой «матрицы» операций крупных и средних групп финансовых агентов.

На рисунке 6.4 приведена модель глобального пикового экономического коллапса вследствие обрушения доллара США.

Обеспечение взаимосвязанного управления пакетом товарных, финансовых и имущественных активов, оборачивающихся на рынках государств — членов ЕАЭС, должно опираться на методологию применения цифровой модели финансового агента как его цифрового «портрета» для построения вычислительно наблюдаемой объектно-ресурсной базы электронных транзакций, позволяющей проследить движение каждой единицы финансовых средств в национальных валютах и союзной валюте через любое количество счетов в едином союзном экономическом пространстве, служащих основой присвоения и передачи товарных, финансовых и имущественных активов⁴⁰⁶.

Предполагается, что Регуляционно-координационная система России интегрируется с Евразийской экономической комиссией, распространяет свое действие на весь ЕАЭС, а также частично на ряд других республик (Таджикистан, Узбекистан и пр.) и постепенно начинает исполнять функции Гос-

⁴⁰³ Агеев А. И., Логинов Е. Л. Госплан — основные подходы к планированию социально-экономического развития России // Экономические стратегии. 2013. Т. 15, № 8 (116). С. 100–112.

⁴⁰⁴ Агеев А. И., Грабчак Е. П., Логинов Е. Л., Деркач А. К. Формирование в рамках ЕАЭС цифровой модели повышения прозрачности и успешности обеспечения контроля движения активов между участниками товарных, финансовых и имущественных сделок // Микроэкономика. 2020. № 2. С. 5–12.

⁴⁰⁵ Агеев А. И., Радина В. А. Методология формирования плана на основе инструментария цифровой экономики // Экономические стратегии. 2019. Т. 21, № 4 (162). С. 6–17.

⁴⁰⁶ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Агеева А. Ф. Имитация социально-экономической системы Евразийского континента с помощью агент-ориентированных моделей // Прикладная эконометрика. 2017. № 4 (48). С. 122–139.

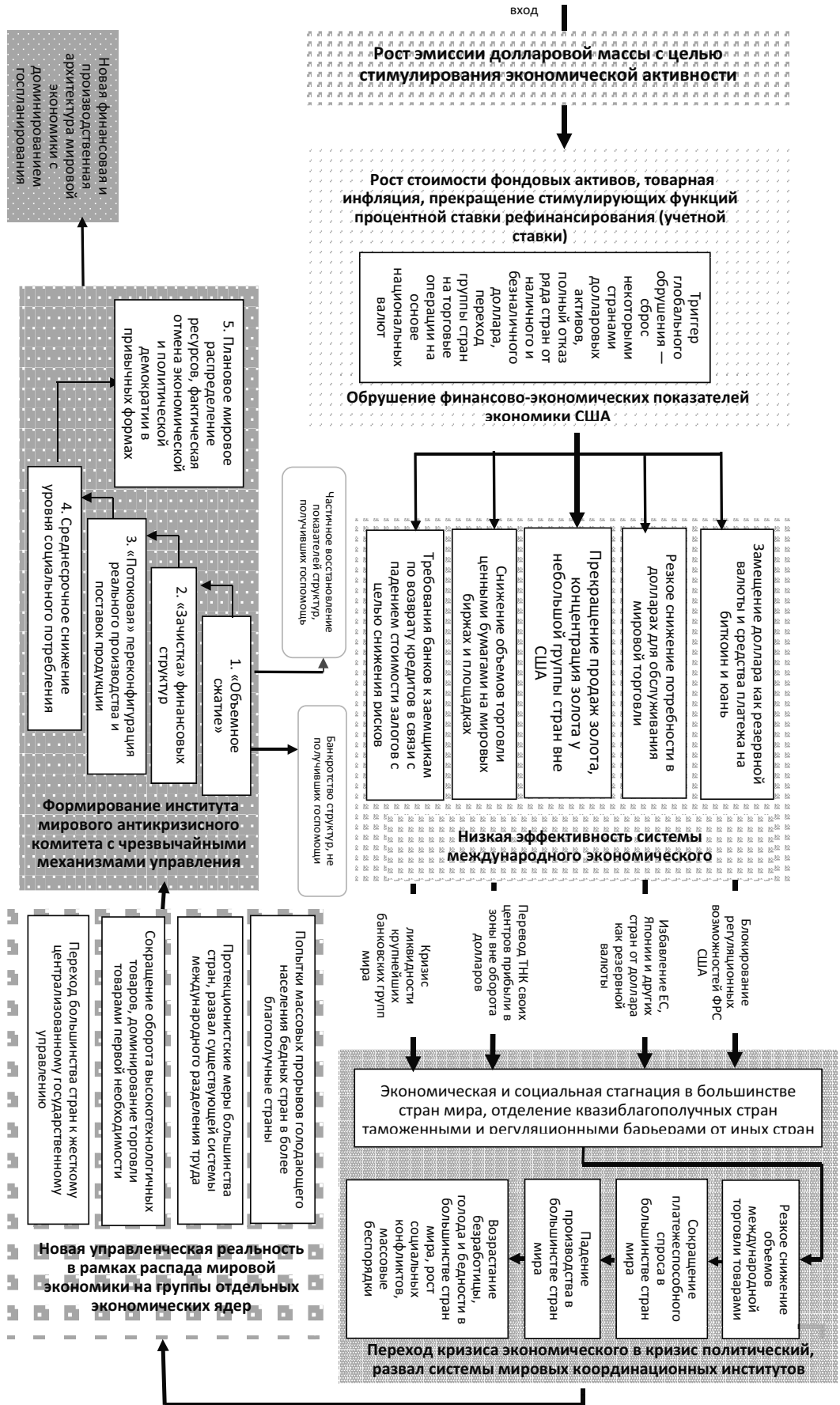


Рисунок 6.4. Модель глобального пикового экономического коллапса вследствие обрушения доллара США

плана ЕАЭС⁴⁰⁷, планируя объемы выпуска продукции, обеспеченные платежеспособным спросом в национальных валютах и в союзной валюте⁴⁰⁸, координируя с пулом национальных банков стран — членов ЕАЭС квоты (эмиссию) союзной валюты и национальных валют этих стран с постепенным переходом к полному замещению национальных валют (с падающим курсом) союзной валютой, имеющей высокий обменный курс.

Происходит постепенное обнуление счетов в банках ЕАЭС в национальных валютах. Пересчитываются балансы компаний в союзной валюте. Производится управляемая переоценка стоимости любых видов активов⁴⁰⁹.

Происходит реализуемое властями государств — членов ЕАЭС наделение национальных компаний оборотными средствами в союзной валюте⁴¹⁰. Реализуется также возможность для ряда стран (Таджикистан, Узбекистан и пр.) покупки сумм союзной валюты⁴¹¹.

Фактически будет сформировано три контура финансового управления:

- 1-й контур: безналичное и наличное обращение союзной валюты;
- 2-й контур: безналичное и наличное обращение рубля и других национальных валют;
- 3-й контур: безналичное и наличное обращение World-валюты, доллара, евро и национальных валют других стран мира.

Создается возможность на основе использования Госплана ЕАЭС (Регуляционно-координационной системы) формирования и регулирования квазиединых балансов России, отдельных стран — членов ЕАЭС и самого ЕАЭС как единого союза в целом: энергетического, финансового, продовольственного и пр.⁴¹². Как результат формирования (сведения) таких балансов возникает возможность выработки со стороны Госплана ЕАЭС рекомендаций странам — членам ЕАЭС по эмиссии национальных валют и перехода к союзной валюте^{413,414}, опирающихся на производство реальной продукции, а также координации других макроэкономических показателей⁴¹⁵.

Внедрение механизмов планирования и координирования экономики созданным Госпланом России:

1. С учетом опыта существующего «рынка электроэнергии и мощности» формируется типовая организационная модель и пакет нормативно-правовых актов универсального отраслевого рынка товарных ресурсов. Вносятся предложения в совершенствование федеральных законов, нормативных актов и инструкций госведомств в этой сфере, налаживается информационный обмен с существующими ЭТП, формируется механизм сбора, концентрации и анализа информации.

⁴⁰⁷ Агеев А. И., Логинов Е. Л. Госплан — основные подходы к планированию социально-экономического развития России // Экономические стратегии. 2013. Т. 15, № 8 (116). С. 100–112.

⁴⁰⁸ Агеев А. И., Бочкарев О. И., Грабчак Е. П., Логинов Е. Л. Пакетный отраслевой заказ как эффективный инструмент управления импортозамещением, созданием новых технологий и модернизацией энергетики // Экономические стратегии. 2020. Т. 22, № 3 (169). С. 6–17.

⁴⁰⁹ Райков А. Н. Конвергентная сборка стратегических субъектов с применением ситуационных центров развития и сильного искусственного интеллекта // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2019). Материалы двенадцатой международной конференции. М.: Международный научно-исследовательский институт проблем управления РАН, 2019. С. 255–261.

⁴¹⁰ Агеев А. И., Григорьев В. В., Логинов Е. Л., Момотова А. К. Повышение прозрачности безналичных финансовых расчетов на основе электронной цифровой идентификации каждой денежной единицы с выявлением бенефициаров операций по объектным, ресурсным и временным параметрам // Новые технологические вызовы: проблемы цифровой трансформации систем управления. Материалы международной конференции. М.: МНИИПУ, 2019. С. 6–9.

⁴¹¹ Митяев Д. А., Агеев А. И., Ершов М. В., Архипова В. В., Вэнь В., Ли Ч., Цзинцзин Ц., Тинтин Ч. Расчеты в национальных валютах между Китаем и Россией в постпандемийную эпоху: современное состояние, вызовы и перспективы. Часть II // Экономические стратегии. 2021. Т. 23, № 1 (175). С. 6–13.

⁴¹² Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Бекларян Г. Л., Акопов А. С. Разработка программной платформы для крупномасштабного агент-ориентированного моделирования сложных социальных систем // Программная инженерия. 2019. Т. 10, № 4. С. 167–177.

⁴¹³ Агеев А. И., Логинов Е. Л., Романова Ю. А., Момотова А. К. Цифровой концепт выявления скрытых центров управления в рамках сложноструктурированных мультивалютных финансовых систем с большим количеством латентных связей между элементами // Микроэкономика. 2020. № 4. С. 5–11.

⁴¹⁴ Агеев А. И., Ворожихин В. В., Логинов Е. Л., Побываев С. А. Стратегическое конфигурирование организации взаимодействия государственных ведомств и коммерческих банков России с кооперированной структурой управленческих и специальных мер для защиты российских валютно-финансовых ресурсов // Финансовые механизмы ациклического регулирования структурных диспропорций в экономике России и других стран СНГ. Материалы международной научно-практической конференции. М.: ИПР РАН, 2017. С. 25–29.

⁴¹⁵ Агеев А. И., Логинов Е. Л., Ефремов Д. Н. Государственный комитет по научно-технической политике: центр сетевой концентрации научно-технических связей в ключевых областях знания для интегрированного управления в сфере науки и техники // Экономические стратегии. 2014. Т. 16, № 8 (124). С. 12–21.

2. На основе типовой организационной модели и пакета нормативно-правовых актов с использованием ЭТП формируются отдельные обособленные ключевые товарные рынки в товарно-продуктовых и финансовых сферах России.

3. Группы обособленных ключевых товарных рынков различных товарно-продуктовых сфер (отраслей и секторов экономики) квазиинтегрируются в условно единый рынок товарных ресурсов всей страны в целом (объединяются информационные потоки и базы данных о торгах на различных ЭТП).

4. Объем данных о торговле на условно едином рынке товарных ресурсов России в целом, собранный с ЭТП, используется для выдачи результатов анализа рынка и оптимизационных рекомендаций (условно — плановых заданий) госведомствам и органам управления соответствующих товарных рынков.

5. Госведомствами осуществляется информационно-аналитическая «закольцовка» показателей товарно-финансовых циклов различных товарно-продуктовых сфер (отраслей и секторов экономики) в условно единой модели рынка товарных ресурсов России с целью народно-хозяйственной оптимизации.

6. На основе единой модели рынка товарных ресурсов России госведомствами осуществляется выдача рекомендаций по формированию комплексной товарно-финансовой позиции России для ее крупных корпораций на зарубежных рынках.

7. На основе типовой организационной модели и пакета нормативно-правовых актов с использованием ЭТП формируются и интегрируются отдельные обособленные ключевые товарные рынки стран ЕАЭС в условно единый рынок.

8. На основе единой модели рынка товарных ресурсов стран ЕАЭС осуществляется выдача рекомендаций по формированию объединенной товарно-финансовой позиции России и других стран (их крупных корпораций) — участников ЕАЭС для действий на зарубежных рынках.

Таким образом, принципиально новыми являются подходы, при которых ведущая роль отводится ядру складывающейся новой экономической системы — комплексной системы электронных рынков товарных ресурсов как универсальной управленческой технологии, обеспечивающей надежность и эффективность связей территориально разнесенных и индивидуально обезличенных, но виртуально идентифицированных производителя и потребителя.

Динамика снижения экономической активности по регионам России в условиях обрушения доллара и резкого ухудшения мировой экономической конъюнктуры, замедления товарооборота и вытекающего отсюда падения промышленного производства требует для поддержки экономики прежде всего устранения критических диспропорций цен и тарифов на снабжение электроэнергией как ключевого фактора поддержания производственной активности.

Цены и тарифы должны формировать полноценную финансовую основу для эксплуатации, ремонта и замены оборудования генерирующих и сетевых компаний. Однако органами тарифо- и ценообразования (ФАС России, региональными энергетическими комиссиями) в принципе не учитывается динамика старения оборудования, потребности замещения выбывающего оборудования, бесконечное временное продление сроков эксплуатации выработавшего свой ресурс оборудования, на десятилетия превышающего паспортные сроки, и структура изношенности оборудования, требующего значительно больших затрат на постоянные ремонты по сравнению с новым оборудованием. По ряду регионов России (например, в Республике Дагестан) эта ситуация дошла до своего предела: энергетические компании региона перманентно балансируют на грани банкротства, а денежных средств хватает только на частичный ремонт оборудования.

Снижение потребления электроэнергии в условиях режима самоизоляции в условиях пандемии коронавируса, усугубляющееся проблемами падения платежей, различающееся по ряду регионов в 2–3 раза, привело к временному замедлению осуществления ряда инвестпрограмм и необходимости существенного сокращения (сдвига на более поздние периоды) ряда мероприятий ремонтных программ производственных предприятий.

Ситуация еще раз подтвердила необходимость перехода на нормативные затраты как основу расчета цен и тарифов на снабжение электроэнергией. Это особенно важно в условиях того, что раз-

брос затрат и объемов накопленной амортизации энергосетевых компаний относительно количества условных единиц оборудования по линиям электропередачи и по подстанциям различается по ряду регионов в 2–3 раза.

Предлагаемые подходы к изменению методологии расчета тарифов в энергетике (с учетом необходимости выравнивания диспропорций по ценам и тарифам по регионам):

1. Действующий механизм расчета тарифов в энергетике реализуется путем индексации по принципу «инфляция минус». При этом реальное техническое состояние оборудования и величина требуемых затрат на его замещение не учитываются. Необходимо изменить этот механизм.

2. Предлагается рассчитать нормативные затраты на эксплуатацию и ремонт (восстановление) оборудования исходя из нормативного срока эксплуатации функциональных узлов и фактического жизненного цикла функциональных узлов в рамках единого объекта.

3. Нормативные затраты предлагается с помощью корректирующих коэффициентов адаптировать к климатическим условиям и срокам фактической эксплуатации объектов с учетом индекса технического состояния (ИТС) функциональных узлов энергетического оборудования.

4. Возможно введение корректирующих коэффициентов к тарифам для населения исходя из уровня социального благополучия населения (учитывать: «доходы на одного жителя» + «обеспеченность работой» + «продуктовую и услугу корзину (в т. ч. расходы с учетом обеспеченности населения жильем)» + «лиц, состоящих на иждивении государства»). Разница, формирующаяся по корректирующим коэффициентам, должна перераспределяться в рамках «котла» группы регионов через энерго-сбытовые компании или головные компании энергетических холдингов.

5. Ежегодная индексация тарифов должна производиться исходя из уровня инфляции с учетом необходимости выделения источника затрат на повышение ИТС для выведения его на уровень, обеспечивающий низкоаварийную работу (с учетом плановой прибыли и амортизации компаний)⁴¹⁶.

На основе формирования оптимальной структуры цен и тарифов, опирающихся на нормативные затраты, а также анализа условно постоянной ценовой и натуральной структуры закупок производственных предприятий могут быть обеспечены организационные основы для государственной балансировки системно связанных пакетов топливно-энергетических ресурсов (электроэнергия, газ, нефтепродукты, уголь). Результатом может быть выход на единый экономически обоснованный эквивалент киловатт-часа для достижения отраслевой и межотраслевой топливно-энергетической сбалансированности в существующем формате корпоративных собственников предприятий ТЭК России, включая поставки как внутри страны, так и за рубеж⁴¹⁷.

Таким образом, необходимо формирование в экономике России комплексного сквозного (корпоративно детализированного) баланса всех видов топливно-энергетических ресурсов (электроэнергии, газа, нефтепродуктов, угля и т. п.) по видам взаимосвязанных энергетических бизнесов (добыча топлива — генерация энергии/тепла — передача — распределение) с выходом на единый киловатт-час или его аналог, структурированных по любым финансовым и натуральным показателям. Балансирование создает возможность государственного программирования (в т. ч. федерального и регионального планирования) социально значимой финансовой нагрузки на потребителей топливно-энергетических ресурсов, а также конкурентоспособности других российских отраслей, прежде всего в отношении энергоемких производств и услуг^{418, 419}.

Одним из возможных направлений формирования рациональной ценовой и производственной стратегии в экономике России может являться применение методов имитационного (динамического,

⁴¹⁶ Логинов Е. Л., Грабчак Е. П. Актуализация элементов централизованного государственного управления в рыночной среде ТЭК России в условиях многофакторной нестабильности с расширенной компонентой неопределенности // Искусственные общества. 2020. Т. 15, № 2. С. 7.

⁴¹⁷ Райков А. Н., Логинов Е. Л. Интеллектуальная трансформация систем управления в энергоинфраструктурном комплексе как основа формирования единого энергетического пространства ЕАЭС // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2015. № 2 (15). С. 269–280.

⁴¹⁸ Агеев А. И., Логинов Е. Л. Снижение мировых цен на нефть: выдержит ли Россия? // Экономические стратегии. 2014. Т. 16, № 10 (126). С. 32–45.

⁴¹⁹ Логинов Е. Л. Переход к консолидированной экономике: стратегическая трансформация ТЭК России в условиях критической нестабильности мировой экономики // Экономика: теория и практика. 2014. № 4 (36). С. 3–7.

агент-ориентированного) моделирования, позволяющих учесть сложные взаимосвязи между субъектами экономики (предприятиями, отраслями, регионами), в частности относящиеся к влиянию существенной дифференциации спроса и предложения на энергию на уровне регионов Российской Федерации^{420, 421}.

Даже при определенных мерах государственной поддержки российские производители оборудования часто не готовы инвестировать деньги в эти производства в условиях, когда будущий спрос на готовую продукцию со стороны производственных предприятий не гарантирован.

В то же время энергокомпании заранее не могут гарантировать закупки точных объемов оборудования у конкретного поставщика, т. к. нужно проходить установленные законодательством конкурсные закупочные процедуры, в результате которых торги (конкурс) часто выигрывают иностранные поставщики.

Опыт стимулирования экономики России в условиях пандемии COVID-19 показал необходимость введения ряда плановых инструментов развития энергетики с элементами централизованного управления. Ситуация с экономическим коллапсом вследствие обрушения доллара может быть гораздо жестче.

В таких условиях предлагается формирование профильными министерствами интегрированной цепочки от фундаментальной науки через НИОКР к пакетному отраслевому заказу (аналогичному оборонзаказу) применительно к связанной последовательности заказов/закупок/поставок с соответствующими механизмами реализации закупочных процедур в рамках действующего законодательства.

Пакетный отраслевой заказ — это консолидация профильным министерством заказов различных компаний в пакеты, структурированные по оборудованию и технологиям, с формированием итоговых заказов (пакет заказов от отрасли на одну технологию, или группу работ, или оборудование) на НИОКР и комплектное оборудование для конкретных научно-технических организаций, инжиниринговых компаний и машиностроительных и приборостроительных предприятий. Формирование пакетного (консолидированного) отраслевого заказа позволяет даже в крайне сложных финансово-экономических условиях (среднесрочной нехватки у производственных предприятий финансовых средств на оплату закупок оборудования и комплектующих, а также оплату расчетов между генерацией, транспортировкой и сбытом топливно-энергетических ресурсов) обеспечить условно равномерные поставки различных видов ресурсов всем участникам производственных и энергетических цепочек и циклов.

Для консолидации заказов различных производственных предприятий в пакеты необходимо внесение изменений в нормативные акты, регламентирующие закупочные процедуры.

Формирование нового организационного инструмента — пакетного (консолидированного) отраслевого заказа — позволяет создать для производителей стимулы инвестиций в новые производства, а производственным предприятиям позволяет планировать процессы замещения выбывающего оборудования в привязке к возможностям российских производителей. Государству пакетный отраслевой заказ гарантирует, что оказываемая производителям государственная финансовая и организационная помощь не пропадет зря, а завершится созданием новых производств с поставками оборудования на основе технологических решений российской разработки. Соответственно, это гарантирует создание новых рабочих мест и формирование основ наращивания налогооблагаемой базы, подтвержденной платежеспособным спросом по цепочке заказов/поставок.

Цифровизация в энергетике и других отраслях экономики России позволяет качественно преобразовать процессы планирования и реализации эксплуатации и ремонта оборудования⁴²².

⁴²⁰ Макаров В. Л., Бахтин А. Р. Применение агент-ориентированных моделей в качестве инструмента поддержки реализации и мониторинга стратегий различного уровня // Теория и практика стратегирования. Тезисы докладов участников III Международной научно-практической конференции. Сер. «Экономическая и финансовая стратегия» / Под научной редакцией В. Л. Квинта. М.: Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, 2020. С. 19–21.

⁴²¹ Макаров В. Л., Бахтин А. Р., Сушко Е. Д. Технология поддержки агент-ориентированного моделирования для суперкомпьютеров // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2016. Т. 12, № 1 (334). С. 4–16.

⁴²² Грабчак Е. П. Цифровая трансформация электроэнергетики. М.: Кнорус, 2018.

Результатом реализации цифровой топологии с использованием виртуальной модели отслеживания жизненного цикла оборудования является:

- оценка и прогноз технического состояния оборудования на основе данных мониторинга, статистики дефектов и отказов для определения оптимального вида, стоимости и сроков продолжения эксплуатации оборудования, осуществления ремонта, замены, реконструкции или модернизации с использованием расчетных моделей планирования технического воздействия для устранения возможных причин задержки работ;
- анализ, прогнозирование и планирование технических процессов и процессов обслуживания оборудования в увязке с инвестиционными и тарифными источниками CAPEX и OPEX⁴²³, а также с финансово-экономическими результатами работы акционерных обществ (амортизация, прибыль, дивиденды и пр.);
- переход к анализу максимально детализированного состава закупаемых энергокомпаниями запчастей и комплектующих с позиций обеспечения приоритетов импортозамещения, сравнения технических характеристик, выявления отличий в ценовых показателях и иных параметрах закупочных операций и реальных процессов замены оборудования максимально широкого перечня, в том числе в ретроспективе.

Формирование цифровой топологии как основы единой цифровой модели отраслевой суперсистемы позволит выйти на пооперационный контроль каждого рубля в процессе эксплуатации и ремонта (в т. ч. с использованием удаленного автоматизированного анализа соответствия отдельных технико-экономических транзакций (натуральные, финансовые или временные параметры с требуемой детализацией) нормативным показателям).

Экономический коллапс в условиях мирового краха доллара актуализирует внедрение в рыночную среду экономики России элементов централизованного государственного управления, что позволит обеспечить не только необходимые параметры надежности и безопасности снабжения потребителей различными видами ресурсов и продовольствия, но и выход на детализированные параметры экономической эффективности группы бюджетоформирующих бизнесов.

Что особенно важно, при этом в условиях многофакторной нестабильности с расширенной компонентой неопределенности будет обеспечена управляемость массива хозяйствующих субъектов в критических условиях: падения экономической активности в условиях пандемий или природных катаклизмов; пиковых изменений курса доллара, рубля и иных валют; любых изменений стоимости нефти и газа как основных наполняющих бюджет экспортных товаров; сохранения работоспособности хозяйствующих субъектов при любых внешних воздействиях: от информационных сетевых атак до применения санкционных мер зарубежными глобальными структурами⁴²⁴.

На этой основе даже в условиях близкой к критическим параметрам нестабильности ряда ключевых макроэкономических профилей будет обеспечено в стране в целом и в ее регионах удержание в управляемом контуре социальной и политической динамики (с учетом возможных протестных настроений) и одновременно дееспособность основных институций государственного, регионального и муниципального управления.

⁴²³ OPEX — operating expense — операционные расходы бизнеса. CAPEX — capital expense — капитальные расходы бизнеса.

⁴²⁴ Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д. Ситуационное моделирование — эффективный инструмент для стратегического планирования и управления // Управленческое консультирование. 2016. № 6 (90). С. 26–39.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ

Основным направлением развития методов компьютерного моделирования в ЦЭМИ РАН является создание симуляторов — искусственных обществ. Причем эти симуляторы должны воссоздавать особенности и структуру реального моделируемого общества с максимально возможным правдоподобием. Подобные симуляторы могут использоваться в системах принятия решений на любом, даже очень высоком уровне, т. к. позволяют лицам, принимающим управленческие решения, ставить с их помощью компьютерные эксперименты для моделирования различных ситуаций и получения ответа на вопрос: «Что будет, если?»



Слева направо: лауреат Нобелевской премии по экономике Жан Тироль, иностранный член РАН В. Л. Квинт, академик РАН В. Л. Макаров

Это, в свою очередь, позволяет проигрывать на моделях как различные сценарии изменения внешней среды, так и последствия реализации планируемых управленческих мер для выбора наиболее приемлемого (требующего наименьших затрат ресурсов) варианта. В последнее время развитие компьютерного моделирования именно как инструмента апробации решений в сфере управления социально-экономическими системами становится наиболее востребованной практикой.

Наиболее существенны перемены в математическом и техническом оснащении моделирования: теперь применяются быстродействующие компьютеры с диалоговым режимом работы, большие базы данных, банки моделей и т. п.

В ЦЭМИ РАН и сейчас продолжаются исследования под руководством академика РАН В. Л. Макарова, члена-корреспондента РАН А. Р. Бахтизина и др. Исследования касаются как самой России, так и мировой экономики, групп стран и международных союзов, в том числе в отношении экономической динамики КНР.

Используемые модели опираются на технологии распараллеливания работы на множестве вычислительных узлов суперкомпьютера, позволяют проводить симуляции с большим числом агентов и достигать приемлемых показателей параллельной эффективности вычислений. Реализуемое в ЦЭМИ РАН моделирование с использованием суперкомпьютеров настроено на введение в искусственную среду объектов различных типов с соответствующим добавлением имитируемых процессов (социальных, экологических, экономических, политических и пр.), в которых эти объекты участвуют, позволяет в ходе экспериментов получать прогнозы любых требуемых характеристик как в разрезе регионов, так и в целом по стране или группе стран.

Завершая книгу, авторы и одновременно руководство ЦЭМИ

РАН считают необходимым выразить свою благодарность ученым, в разное время внесшим свой вклад в научные результаты, которые сделали институт ведущим центром экономико-математических исследований. Это М. М. Албегов, А. И. Анчишкин, А. Н. Анисимов, В. И. Аркин,



А. Р. Бахтизин в ходе работы на суперкомпьютере «Млечный путь — 2» (Гуанчжоу, Китай)

С. А. Айвазян, М. Ю. Афанасьев, Э. Ф. Баранов, К. А. Багриновский, А. Р. Бахтизин, В. З. Беленький, В. Д. Белкин, Т. А. Белкина, О. Б. Брагинский, Б. Д. Бреев, П. Г. Бунич, А. Л. Вайнштейн, А. Е. Варшавский, Н. А. Винокурова, С. М. Вишнев, В. А. Волконский, Ю. Н. Гаврилец, Б. Л. Геронимус, С. Ю. Глазьев, М. М. Голанский, О. Г. Голиченко, Е. Г. Гольштейн, К. Г. Гофман, В. Г. Гребенников, В. П. Гришухин, В. С. Дадаян, В. И. Данилин, В. И. Данилов, В. И. Данилов-Данильян, В. Е. Дементьев, А. В. Дмитрук, Е. Б. Дынкин, Н. Е. Егорова, Б. А. Ерзкян, Э. Б. Ершов, Д. А. Жданов, В. А. Житков, М. Г. Завельский, Ф. Л. Зак, В. В. Ивантер, М. Д. Ильменский, Б. Л. Исаев, В. В. Калашников, А. И. Кацнелиенбойген, К. В. Ким, Г. Б. Клейнер, Л. Я. Клеппер, М. Р. Когаловский, В. Д. Конаков, А. Н. Козырев, Ю. В. Козырь, И. Е. Кричевский, Н. И. Комков, Г. Н. Ковшов, Г. А. Кошевой, В. В. Коссов, К. С. Кузьмин, И. Л. Лахман, Ю. А. Левада, М. Я. Лемешев, Ю. Р. Лейбкинд, В. Н. Лившиц, Е. Л. Логинов, А. Л. Лурье, Д. С. Львов, В. Л. Макаров, С. В. Макаров, Н. И. Макачук, В. К. Малиновский, У. Х. Малков, Г. В. Мартынов, В. Ф. Майер, Е. З. Майминас, И. С. Матлин, Н. В. Махров, В. Г. Медницкий, Л. Д. Мешалкин, Л. Е. Минц, Л. Э. Миндели, Б. С. Митягин, Б. Н. Михалевский, С. М. Мовшович, И. В. Неволин, А. С. Некрасов, В. С. Немчинов, А. С. Немировский, Е. П. Нестеров, Ю. Е. Нестеров, М. А. Никонова, В. В. Новожилов, Ю. В. Овсиенко, Ю. А. Олейник, Е. С. Паламарчук, С. А. Панов, С. И. Паринов, А. А. Пересецкий, С. Б. Перминов, В. Л. Перламутров, Н. Я. Петраков, В. М. Полтерович, Э. Л. Пресман, А. С. Плещинский, В. Ф. Пугачев, О. С. Пчелинцев, Н. Ф. Реймерс, В. И. Ротарь, Н. М. Римашевская, Т. В. Рябушкин, Ю. М. Самохин, Н. М. Светлов, А. Д. Смирнов, С. А. Смоляк, И. М. Сонин, Б. П. Суворов, Ю. В. Сухотин, Е. В. Устюжанина, В. К. Фальцман, Е. Ю. Фаерман, Н. П. Федоренко, А. А. Фридман, Г. М. Хенкин, Е. Ю. Хрусталева, Е. А. Хруцкий, В. А. Цветков, Ю. И. Черняк, С. Я. Чернавский, В. О. Чернявский, Г. Л. Шагалов, С. С. Шаталин, А. Ю. Шевяков, И. П. Шубкина, Е. Г. Яковенко, Е. И. Яковлев, Ю. В. Яременко, Е. Г. Ясин.

Вышеприведенный список является далеко не полным. Авторы просят коллег не обижаться, если они кого-то не упомянули.

Даже переходя на основную работу в другие институты, вузы и министерства, выходцы из ЦЭМИ РАН, как правило, продолжают в разной форме научное сотрудничество с институтом, являясь участниками научных коллективов, осуществляющих значимые теоретические и прикладные разработки.

В настоящей монографии использованы фото из архива ЦЭМИ РАН, а также из издания: Леонид Витальевич Канторович. Ярославль: Издательство «РПМ», 2012, подготовленного на основании фотографий, предоставленных Всеволодом Леонидовичем Канторовичем.

В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Л. Логинов

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОНОМИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ
ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ
В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ БУДУЩЕГО**

ЦЭМИ АН СССР И ЦЭМИ РАН: ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ И РАЗВИТИЕ НАУЧНОГО НАСЛЕДИЯ НОБЕЛЕВСКИХ
ЛАУРЕАТОВ Л. В. КАНТОРОВИЧА И В. В. ЛЕОНТЬЕВА

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Центральный экономико-математический институт Российской академии наук»
(ЦЭМИ РАН)
117418 Москва, Нахимовский проспект, 47
Тел. 8 (499) 129-10-11
www.cemi.rssi.ru
E-mail: office@cemi-ras.ru

Отпечатано в типографии Принтлето
Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 28.64
Тираж 300 экз.
Издательский дом «Бюджет», 2022, — 248 с.
Тел. 8 (495) 632-23-22
E-mail: post@bujet.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ БУДУЩЕГО



МАКАРОВ ВАЛЕРИЙ ЛЕОНИДОВИЧ

академик РАН
д. ф.-м. н., профессор

Ученик Л. В. Канторовича, советский и российский экономист и математик. Академик АН СССР и РАН (1990, член-корреспондент с 1979 г.).

Директор Центрального экономико-математического института РАН (1985-2017). Декан экономического факультета Государственного академического университета гуманитарных наук (ГАУГН).



БАХТИЗИН АЛЬБЕРТ РАУФОВИЧ

член-корреспондент РАН
д. э. н., профессор РАН

Ученик В. Л. Макарова, российский ученый, специалист в области математического моделирования социально-экономических процессов, в т. ч. применения для этого суперкомпьютерных технологий.

Директор ЦЭМИ РАН (с 2017 г.).



ЛОГИНОВ ЕВГЕНИЙ ЛЕОНИДОВИЧ

д. э. н., профессор РАН
дважды лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники (секции «Информационные и вычислительные системы» и «Энергетика и энергосбережение»)

Ученик В. М. Готлобера, российский ученый, специалист в области экономической и энергетической безопасности, разработки и применения интеллектуальных информационных систем.