

Федеральное государственное образовательное бюджетное
учреждение высшего образования
«Финансовый университет при Правительстве
Российской Федерации»

На правах рукописи

СУРКОВ АНТОН АЛЕКСАНДРОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В РАЗРАБОТКЕ СТРАТЕГИИ
ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ**

08.00.12 – Бухгалтерский учет, статистика

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата
экономических наук

Научный руководитель:
кандидат экономических наук, профессор
Салин Виктор Николаевич

Москва – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ В РОССИИ.....	14
1.1 Международный опыт стратегического планирования.....	14
1.2 Отечественный опыт стратегического планирования. Цели и задачи	29
1.3 Место прогнозирования в планировании. Прогноз как стадия стратегического планирования	36
1.4 Точность прогнозирования, проблемы и пути повышения	45
ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СТАТИСТИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ.....	68
2.1 Современные методы прогнозирования экономических показателей	68
2.2 Объединение прогнозов как эффективный способ повышения точности прогнозирования	82
2.3 Совершенствование методов объединения прогнозов.....	107
2.4 Применение объединения прогнозов с использованием экспертной информации	120
2.5 Методика повышения точности прогнозирования на основе объединения прогнозов.....	133
ГЛАВА 3 ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОВЫШЕНИЕ ИХ ТОЧНОСТИ	141
3.1 Прогнозирование показателей динамики развития отдельных отраслей экономики России для целей стратегического планирования	141
3.2 Повышение точности прогнозирования путем использования объединения прогнозов.....	159
3.3 Применение экспертной информации для объединения прогнозов.....	176
3.4 Исследование качества моделей прогнозирования экономических показателей и оценка эффективности применения объединения прогнозов	189

3.5. Анализ и сравнение прогнозных результатов. Прогноз динамики по отдельным продуктам промышленного производства России	195
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	212
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	215
ПРИЛОЖЕНИЕ А	231
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	291
ПРИЛОЖЕНИЕ В	301

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одним из основных направлений реформирования экономики России на современном этапе является внедрение в систему принятия управленческих решений стратегического планирования и социально-экономического прогнозирования. Во всех видах деятельности необходимо предвидение перспектив развития последствий проводимых мероприятий, а также явлений, которые могут возникнуть и независимо от этих целенаправленных действий. Последнее особенно важно для экономического прогнозирования, являющегося неотъемлемой частью любого планирования. Стратегическое планирование в современных условиях требует дополнительных усилий в части повышения достоверности прогнозов развития экономики в целом и отдельных ее отраслей, а также внедрения дополнительной экспертной информации при составлении прогнозов. Это позволит учесть в прогнозе не только динамику исследуемых экономических процессов, но и ее изменения под влиянием внешних факторов, тем самым повысив достоверность результатов и устранив необходимость постоянной корректировки прогнозов.

Применение экономико-статистических методов в исследовании социально-экономических показателей позволяет осуществить прогнозирование развития экономики и при необходимости своевременно принять меры по предотвращению нежелательных ситуаций. На практике, в большинстве случаев при экономическом прогнозировании учитывают результаты, полученные только при использовании наиболее точной модели прогнозирования. В связи с чем происходит потеря информации, которая заключалась в иных методах прогнозирования. Кроме того, проблемой является и оценка точности прогнозирования. Существующие методы оценки точности прогноза не могут дать однозначного ответа и могут противоречить друг другу. В связи с этим уместно обратиться к методике объединения частных методов

прогнозирования, широко используемой в зарубежной практике, но недостаточно в отечественном экономическом прогнозировании, что делает тему применения методики объединения прогнозов актуальной для реализации экономического прогнозирования для целей стратегического планирования как дополнительного инструмента повышения точности прогнозирования.

В то же время, методы объединения прогнозов имеют ряд недостатков, которых в большинстве случаев либо не касаются, либо обходят стороной. Так, нет ясного ответа на вопрос о необходимости вычисления только положительных весовых коэффициентов, что является важным с точки зрения экономического определения весовых коэффициентов объединенного прогноза. Кроме этого, мало внимания уделяется вопросу привлечения экспертной информации при объединении статистических методов прогнозирования, хотя к этому специалисты проявляют большой интерес.

Актуальность диссертационного исследования обусловлена высокой практической значимостью повышения точности экономического прогнозирования и недостаточной теоретической проработкой проблем, связанных с применением методики объединения прогнозов и включением в нее экспертной информации как дополнительного источника для повышения качества экономического прогноза.

Степень научной разработки проблемы. Вопросы, связанные со стратегическим планированием и экономическим прогнозированием, были ранее детально рассмотрены такими отечественными исследователями, как: В.А. Базаров, И.В. Бестужев-Лада, С.Ю. Глазьев, В.Г. Громан, Г.М. Добров, А.В. Клименко, Н.Д. Кондратьев, Г.И. Кржижановский, С.А. Логвинов, В.Е. Мотылев, С.Г. Струмилин. В работах этих авторов решены многие вопросы, касающиеся экономического планирования государства в целом и необходимости стратегического планирования для принятия управленческих решений, в частности. Кроме того, в работах отечественных авторов достаточно

четко определено соотношение плана и прогноза, его роль в планировании, а также важность задачи повышения точности экономического прогнозирования.

Применению экономико-статистических методов прогнозирования также посвящены работы других отечественных исследователей, в том числе: С. А. Айвазяна, Ю.П. Лукашина, В.С. Мхитаряна, В.В. Налимова, А.А. Френкеля, Е.М. Четыркина и др.

Среди зарубежных исследователей прогнозирования можно отметить: Т. Андерсона, Дж. Бокса и Г. Дженкинса, Р.Г. Броуна, К. Грейнджера, М. Кенделла, П. Кеннарда, Э. Маленво, Д.В. Тригга, Э. Хельвига, А. Хоэрлда.

Кроме того, есть ряд исследователей, рассматривающих непосредственно экспертные методы прогнозирования, например, Т.Л. Саати или Н.В. Хованов.

Методика применения объединения прогнозов широко применяется в частности, в разбуженной практике. Этой теме посвящено множество практических и научных работ. Основные и самые значимые теоретические и практические труды по использованию объединения прогнозов принадлежат К. Грейнджеру. Можно выделить и таких исследователей в данной области, как: Дж. С. Армстронг, Г.А. Барнард, Дж. М. Бейтс, Д.В. Бунн, П. Гудвин, С. Гупта, Р.Т. Клемен, С. Макридакис, П. Ньюболд, Р. Раманатхан, Дж. Сток, П.С. Уилсон, Р.Л. Уинклер.

В отечественной же литературе объединение прогнозов упоминается достаточно редко и в большинстве случаев только как теоретический вариант повышения точности прогнозирования. Из отечественных прогнозистов, кто достаточно серьезно подошел к возможности повышения точности прогнозирования через применение объединения прогнозов, следует выделить: А.А. Васильева, Н. А. Горелика, Э.Б. Ершова, Ю.П. Лукашина, А.А. Френкеля.

Цели и задачи исследования. Целью диссертационного исследования является совершенствование статистических методов экономического прогнозирования путем повышения их точности с применением методики объединения прогнозов в стратегическом планировании.

Для достижения указанной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- анализ существующих методов объединения прогнозов и выявление их достоинств и недостатков. Изучение зарубежного и отечественного опыта в применении методов объединения прогнозов, и на их основе формирование базы методик объединения прогнозов и выявление наиболее часто используемых и более эффективных методов;

- выявление существующих недостатков методики объединения прогнозов. Разработка и предложение модификаций и подходов, позволяющих избавиться от выявленных недостатков и повысить точность прогнозирования;

- исследование возможностей и границ привлечения экспертной информации при объединении прогнозов;

- разработка методики уточнения социально-экономических прогнозов для государственного управления, связанных со стратегическим прогнозированием;

- ретроспективная апробация предложенных статистических моделей прогнозирования при помощи отдельных отраслевых показателей промышленного производства России;

- реализация прогнозов развития данных отраслевых показателей по разработанной методике повышения точности экономических прогнозов.

Объектами исследования выступают показатели экономического развития по основным видам промышленного производства России, статистические и экспертные методы, используемые в экономическом прогнозировании, методы объединения прогнозов и построения интегральных показателей на основе экспертной информации.

Предметом исследования является методика построения объединенных прогнозов, методы повышения точности прогнозирования, критерии оценки качества прогнозных моделей, разработанных на основе методов объединения прогнозов для используемых показателей.

Область исследования. Исследование соответствует п. 4.1. «Исходные парадигмы, базовые концепции, основополагающие принципы, постулаты и правила статистики», п. 4.9. «Методы статистического измерения и наблюдения социально-экономических явлений, обработки статистической информации, оценка качества данных наблюдений; организация статистических работ», п. 4.11. «Методы обработки статистической информации: классификация и группировки, методы анализа социально-экономических явлений и процессов, статистического моделирования, исследования экономической конъюнктуры, деловой активности, выявления трендов и циклов, прогнозирования развития социально-экономических явлений и процессов» и п. 4.16. «Прикладные статистические исследования воспроизводства населения, сфер общественной, экономической, финансовой жизни общества, направленные на выявление, измерение, анализ, прогнозирование, моделирование складывающейся конъюнктуры и разработки перспективных вариантов развития предприятий, организаций, отраслей экономики России и других стран» Паспорта специальности ВАК 08.00.12 – Бухгалтерский учет, статистика (экономические науки).

Методология и методический аппарат исследования представлены через методологические разработки и теоретические положения, выдвинутые отечественными и зарубежными учеными и исследователями в области экономико-математического моделирования, экономического прогнозирования, теории вероятностей и экономической статистики.

Инструментальными средствами реализации предлагаемых методик и положений, а также построения статистических моделей прогнозирования выступали программы, разработанные на базе Центра макроэкономического анализа и прогнозирования Института экономики Российской академии наук (ИЭ РАН); пакет статистических программ EViews и статистический аппарат в Excel.

В процессе диссертационного исследования применялись методы математической статистики, экономического и экспертного прогнозирования, математического анализа, экономико-математического моделирования и эконометрические методы.

Информационная база исследования. Для формирования базы статистических временных рядов товаров промышленного производства использовались материалы Федеральной службы государственной статистики (Росстата), данные Центра макроэкономического анализа и прогнозирования ИЭ РАН, данные Центрального банка РФ. Кроме того, для анализа вопросов, касающихся стратегического планирования, использовались законодательные и нормативно-правовые акты, в данной сфере на федеральном и региональном уровнях; для анализа отечественного и зарубежного опыта стратегического планирования и применения методов объединения прогнозов использовались научные публикации в отечественных и зарубежных периодических изданиях, книги по исследуемой проблеме, а также материалы информационных ресурсов сети Интернет и средств массовой информации.

Научная новизна исследования состоит в разработке методики повышения точности статистических методов прогнозирования на основе применения методов объединения прогнозов.

К элементам научной новизны в диссертации отнесены следующие результаты:

1. Проведенный анализ существующих методов повышения точности экономического прогнозирования на основе как статистических оценок качества методов прогнозирования, так и на иных подходах, связанных с последовательным и параллельным прогнозированием, позволяет выявить преимущества применения методики объединения прогнозов для решений этой задачи. Которая, в свою очередь дает возможность использовать всю имеющуюся у исследователя информацию о прогнозируемом процессе, в том

числе всех факторов, влияние которых учитывается в применяемых методах прогнозирования, что положительно влияет на точность прогнозирования.

2. Реализованная классификация существующих методов построения весовых коэффициентов при объединении прогнозов, используемых в социально-экономическом прогнозировании, позволяет выявить семь подходов к объединению прогнозов, основанных на различных способах минимизации ошибки прогнозирования и построения весов. С учетом данной классификации были выделены наиболее часто встречающиеся на практике методы объединения, применение которых в большинстве случаев приводит к повышению точности прогнозирования.

3. Разработанные методы объединения прогнозов, основанные на использовании последовательного объединения, оптимизации весовых коэффициентов и применения аппарата гребневой регрессии, исключают возможность получения отрицательных весов и весов больше единицы при объединении, что позволяет правильно интерпретировать долю частных методов прогнозирования в едином прогнозе.

4. Предложенные методы объединения прогнозов, основывающиеся на экспертной информации, позволяют использовать дополнительную внешнюю информацию, не включенную в применяющихся в объединении частных методов прогнозирования, что еще больше повышает точность прогнозирования. Их предлагаемая классификация дает возможность сравнить существующие подходы в этом направлении для выбора наиболее оптимального метода с точки зрения получаемого результата.

5. Проведенный сравнительный анализ точности полученных результатов прогнозирования с использованием частных методов и описанных методов объединения прогнозов позволяет сделать практический вывод о целесообразности применения того или иного метода и выявить наиболее точный метод объединения прогнозов.

6. Разработанную методику повышения точности социально-экономического прогнозирования через применение объединения прогнозов можно использовать на уровне как частного прогнозирования отдельных экономических временных рядов, так и государственного стратегического планирования.

Теоретическая значимость состоит в том, что, результаты настоящего диссертационного исследования могут быть использованы для дальнейшего теоретического изыскания в области применения методов объединения прогнозов и повышения точности экономического прогнозирования. Кроме этого, предлагаемые выводы и подходы могут быть использованы в учебном процессе при разработке учебных программ по статистическим и экономико-математическим дисциплинам.

Практическую значимость имеют следующие результаты исследования, ориентированные на широкое применение методов объединения прогнозов с целью повышения точности экономического прогнозирования:

- методика применения объединения прогнозов для цели повышения точности экономического прогнозирования;
- новые методы построения весовых коэффициентов при объединении прогнозов с использованием как статистической, так и экспертной информации об изучаемом экономическом процессе;
- представленный прогноз динамики развития отдельных показателей промышленного производства России на 2019 – 2023 гг., который может быть использован государственными органами в стратегическом планировании и экономическом прогнозировании.

Апробация и внедрение результатов исследования. Теоретические и практические результаты диссертационного исследования были рассмотрены и одобрены на следующих мероприятиях: на XXII Международной научно-практической конференции «Совершенствование тенденций развития науки и техники» (г. Белгород, АПНИ, 31 января 2017 г.); на Международной научно-

методической конференции «Образование будущего: новые кадры для новой экономики» (Москва, (Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»), 23 марта 2018 г.); на XI Всероссийской научно-практической конференции «Социально-экономические и естественнонаучные парадигмы современности» (г. Ростов-на-Дону, Южный Университет (ИУБиП), 30 марта 2018 г.); на XIII Международном симпозиуме «Эволюция иерархических структур в экономике и экономический рост» (г. Пущино, ИЭ РАН, 6-7 сентября 2019 г.).

Выводы и основные положения диссертации Суркова А.А. используются в практической работе Центра макроэкономического анализа и прогнозирования Института Экономики РАН и способствуют повышению точности прогнозов, выпускаемых Центром. В частности, была скорректирована методика при расчетах Конъюнктурного Индекса Экономической Активности, который публикуется Центром на постоянной основе, а сами методы объединения прогнозов используются при прогнозировании промышленного производства, результаты которого так же постоянно публикуются Центром в ведущих научных журналах России.

Кроме этого положения диссертационного исследования используются в практической деятельности аптечной сети «Аптека – Центр» и способствуют улучшению точности прогнозирования товарооборота сети. В частности, предлагаемые методы объединения прогнозов используются при интервальном прогнозировании товарооборота отдельных аптек сети на будущий прогнозный период, используемые методы объединения прогнозов смогли повысить точность прогнозирования товарооборота. Кроме этого, предлагаемые методы применяются при прогнозировании экономических издержек организации (внутренних и внешних) что позволило сократить затраты аптечной сети по реализации продукции.

Материалы диссертационного исследования используются Департаментом учета, анализа и аудита ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве РФ» в преподавании учебных дисциплин «Экономическая статистика» и «Статистика».

Публикации. Основные результаты исследования опубликованы в 6 научных работах общим объемом 8,0 п.л. (авторский объем 5,6 п.л.), в том числе 6 научных работах общим объемом 8,0 п.л. (авторский объем 5,6 п.л.) опубликованы в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК Минобрнауки России.

Структура и объем работы. Структура диссертации обусловлена целью, задачами и логикой проведенного исследования, состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 142 наименований и 3 приложений. Основной объем диссертации составляет 230 страниц, содержит 50 таблиц, 25 рисунков и 91 формулу.

ГЛАВА 1 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ В РОССИИ

1.1 Международный опыт стратегического планирования

Предвидение экономических событий являлось и продолжает являться основой любой государственной политики. Сегодня практически каждое государство проводит экономическую политику на основе тех или иных концепций реализации стратегических целей своего развития. Для Российской Федерации экономическое предвидение и переход к стабильному, предсказуемому и эффективному развитию экономики также является очень важным. В условиях нестабильности мировой экономики, неустойчивой динамики основных макроэкономических показателей особое значение имеет развитие отраслевого планирования и социально-экономического прогнозирования с целью предсказания и определения дальнейшего развития России. От качества научных исследований прогнозов стратегического развития во многом зависит успешность развития нашего государства.

Стратегическое планирование – значимый процесс социально-экономического управления, ему принадлежит важная роль в принятии решений по различным процессам, которые происходят в обществе и государстве. Планирование позволяет регулировать направление и динамику социально-экономических процессов. Программы и планы развития экономических процессов, разрабатываемые на всех уровнях субъектов государственного управления, являются важнейшими инструментами реализации экономической политики как самих субъектов управления, так и всего государства в целом. Благодаря этим планам и программам, государство может реализовать поставленные задачи экономического развития.

В современных условиях государственной экономической политики экономические стратегии оказывают существенное влияние на темпы и уровень

роста производства, решение важнейших социально-экономических задач. В связи с этим возрастает роль отраслевого планирования, а также научно обоснованных прогнозов, составляемых на длительную перспективу.

В России, по существу, наблюдается снижение эффективности управления в экономике, отсутствует единая социально-экономическая политика в долгосрочной перспективе, до сих пор не осуществлен переход на систему стратегического планирования, хотя для этого и принято соответствующее законодательство.

В настоящее время задачи и функции социально-экономического планирования и прогнозирования в системе государственного регулирования экономики не до конца отвечают своим целям и все более четко прослеживается тенденция попыток их изменения и доработки. Но при этом сама роль планирования в экономике остается на весьма значительном уровне.

Роль планирования особенно возрастает для экономики переходного периода, поскольку преобладание спонтанности в общественном развитии над его целенаправленностью несет разрушительный характер в силу того, что в обществе не сложились саморегулируемые механизмы управления. В России, где остается все еще не до конца сформированная рыночная экономика, главной задачей государственного регулирования и отраслевого планирования становится разработка и обоснование социально-экономической стратегии, которая бы четко определяла бы цели, задачи, приоритеты и возможные пути развития. Прежде всего это касается разработки различных государственных концепций на средне- и долгосрочный период, формирование стратегий прогнозов, государственных программ, приоритетных проектов и других инструментов развития страны, которые становятся всё менее надежными.

В условиях неопределенности будущего экономического развития в ряде стран с достаточно развитой рыночной экономикой разрабатываются так называемые индикативные (направляющие) планы. В их основу входит только учет взаимосвязей важнейших макроэкономических показателей экономики

государства, детализация же происходит только до уровня отдельных основных отраслей национальной экономики. Индикативное планирование – основной инструмент влияния государства на рыночную экономику посредством формирования совокупности параметров (индикаторов), различных стратегических планов развития и прогнозов. В качестве таких индикаторов социально-экономического развития государства обычно используются показатели, которые могут охарактеризовать динамику развития экономики, ее эффективность и структуру. Достижение поставленных значений по данным индикаторам предполагает прогнозное развитие экономики государства. Например, состояние финансово-кредитной системы и денежного обращения, рынка товаров и услуг, валютного рынка, занятость населения, уровень жизни и т.д. Важными индикаторами остаются и такие сводные показатели как валовый внутренний продукт (ВВП) или индекс промышленного производства (ИПП), характеризующий динамику объема производства.

Кроме индексов, государство также может воздействовать на экономику различными мерами, прописываемых в названных ранее индикативных планах. К этим мерам можно отнести использование бюджетных средств для стимуляции того или иного индикатора, снижение/повышение нормы амортизации и процентные ставки по кредитам, налоговую политику, таможенные пошлины, регулирование квот и лицензий, принятие государственных законов и прочее. В этом случае индикативное планирование выступает в качестве ряда задач и прописанных пунктов по их достижению, на которые ориентируются при управлении государством. При этом основной чертой индикативного плана остается рекомендательный характер исполнения. Из чего вытекает необязательность ресурсного обеспечения плана. Иными словами, индикативное планирование выступает всего лишь в качестве «маяка» для достижения конкретных целей и не способствует прямому их исполнению. Кроме того, индикативный план нельзя подвергнуть корректировке в процессе

исполнения, при индикативном планировании отсутствуют механизмы контроля за его реализацией.

Учитывая названные недостатки индикативного планирования, в последние годы во многих промышленно развитых странах мира наметилась тенденция перехода к стратегическому планированию. Этот вид планирования представляет собой результат логического развития макроэкономического планирования, содержащего не только желаемое состояние в будущем, но и методы, способы и средства достижения целевых показателей.

За рубежом, раньше всех стратегическое планирование стало применяться во Франции и Германии в условиях восстановления экономики в короткие сроки после Второй мировой войны. Изначально стратегическое планирование выступало как долгосрочное планирование с переносом тенденций развития на будущее. Но учитывая нестабильность экономического развития прошлые подходы планирования развития государства перестали работать и потребовалась новая концепция долгосрочного планирования с целевым характером результатов [84].

В общей тенденции развития стратегического планирования исследователи в области стратегического планированию выделяют пять основных этапов [84; 138]:

1) рост популярности стратегического планирования, повсеместное внедрение во всех субъектах экономики – 60–70-е гг. XX в.;

2) практически полный отказ от стратегического планирования по причине неспособности предсказать кризисные явления в экономике – 80-е г. XX в.;

3) учет недостатков и переосмысление стратегического планирования;

4) переход от долгосрочного к краткосрочному стратегическому планированию – конец 1980-х гг.;

5) переход к полноценному стратегическому планированию – середина 90-х гг. XX в.

Учитывая важность стратегического планирования для России, рассмотрим более детально особенности его применения в отдельных странах.

Франция. Развитие экономического планирования во Франции можно считать наиболее естественным и эволюционным путем развития экономического планирования государства от директивного планирования к непосредственно стратегическому. В нем традиционно выделяют три этапа. Началом экономического планирования во Франции стало директивное планирование в условиях восстановления после Второй мировой войны, которое представляло собой жесткий контроль государства над планированием экономики. Для первых пятилеток характерно ускоренное восстановление экономики страны, ее модернизация и развитие отдельных базовых отраслей производства. Перед руководством Франции стояла задача сделать ее конкурентоспособной на мировом рынке. Вторым этапом стал переход от директивного плана к индикативному планированию. В 1960-х годах необходимо было смягчить государственное регулирование экономики, государство уже не могло контролировать экономическое развитие, но оставалась потребность в его координации. Обязательный характер выполнения плана сменился рекомендательным характером, позволившим в дальнейшем перейти непосредственно к стратегическому планированию развития экономики. К концу 1980-х годов индикативное планирование перестало базироваться на численных показателях и уже с 1998 г. Франция полностью отказалась от индикативного планирования, государство перешло к политике «программного регулирования» экономического развития, по сути, это был переход к стратегическому планированию. Это в первую очередь было связано с тем, что экономика в 1990-х годах стала настолько сложной, что простое индикативное планирование уже не справлялось со своими задачами.

Хотя ряд исследователей считают, что во Франции по-прежнему преобладает индикативное планирование [16; 18], все же следует отметить что в ней используется программно-целевое стратегическое планирование.

Стратегическое планирование во Франции – это целый комплекс различных общих и специальных стратегических программ, и проектов, а также целевых государственных программ. Стратегическое планирование во Франции тесно переплетено с бюджетным планированием. При этом оно включает и некоторые индикативные методы планирования в экономике. С 2005 г. во Франции наблюдается возврат к государственному планированию и участию государства в экономическом развитии. На этом фоне был учрежден Генеральный комиссариат по разработке стратегических перспектив [75]. Стратегическим планированием во Франции занимается исключительно правительство.

Основа стратегического планирования Франции – Органический закон о бюджете (LOLF), принятый в 2001 г. и вступивший в силу полностью в 2006 г. Он определяет бюджетное планирование в взаимосвязи с социально-экономическим планированием и представляет собой ряд направлений государственной политики в области безопасности, культуры, образования здравоохранения и т.д., в рамках так называемых «миссий». Такой подход является практической привязкой стратегических программ к бюджету и позволяет конкретно определять ответственные за них министерства. Данный закон позволяет опираться не на планирование необходимых средств, а на планируемые результаты. При этом любая «миссия» является четко сбалансированной программой относительно соотношения целей и затрат. По вопросам развития регионов, во Франции существует система законов об общих принципах стратегического развития территорий государства. Такое законодательство позволяет государственным органам определять на законодательном уровне стратегические ориентиры и цели для долгосрочного планирования, а в дальнейшем взаимодействовать с региональными властями для достижения поставленных задач.

Благодаря программно-целевому планированию, а также фокусировке на конкретных «точках роста» в отдельных областях экономики, Франции удалось

не только восстановить экономику в кратчайшие сроки после Второй мировой войны, но и выстроить стабильную и растущую экономику. С помощью действующего института планирования Франция успешно справляется с периодически возникающими экономическими кризисами, а сам институт планирования стал базовой платформой для внедрения стратегического планирования и в других европейских странах.

Германия. В Федеративной Республике Германия за последние несколько десятков лет сложилась стройная национальная система планирования социально-экономического развития, охватывающая различные уровни управления: федеральный, региональный и муниципальный, что связано прежде всего со сложной региональной структурой государства.

С 1960-х годов в Германии выдвигается идея глобального регулирования экономики государства, хотя до этого на социально-экономическое планирование был наложен запрет. В 2002 г. эта идея была оформлена в виде Национальной стратегии устойчивого развития, которая является не набором показателей и индексов, а своего рода инструкцией для достижения необходимых результатов.

В отличие от Франции в Германии сохраняется более индикативная форма экономического планирования с элементами стратегического подхода. Основная идея немецкой социально-экономической стратегии – «устойчивое развитие – это форма развития, отвечающая нуждам сегодняшнего поколения и не ставящая под угрозу возможности будущих поколений удовлетворять собственные потребности» [17].

Планирование в Германии осуществляется на пять лет. При этом план пересматривается каждый год на основе происходящих изменений. Большое внимание в названной стратегии уделяется не только общенациональному уровню планирования, но и региональному и муниципальному уровням. Стратегическое планирование в ФРГ носит ярко выраженный региональный характер и требует согласованности общей концепции на всех уровнях

разработки стратегии. Оно является консенсусом экономических интересов как федеральных органов власти, так и органов власти на местах, что позволяет консолидировать усилия в условиях федерализации государства. В связи с этим основными документами по стратегическому планированию в Германии являются планы и программы развития федеральных земель, региональные планы, а также планы развития городов и агломераций.

При формировании программ и планов правительство Германии привлекает к планированию сторонних экспертных некоммерческих организаций, что децентрализует формирование программы развития в отличие от той же Франции.

Соединенные Штаты Америки (США). Стратегическое планирование в США, в отличие от европейских государств, начало сформировываться в единую политику еще до начала Второй мировой войны. При этом стратегическое планирование в США представляет собой эволюцию макроэкономического прогнозирования и федерального программирования развития основных отраслей производства. Планирование в США выделяют в одну из основных форм регулирования экономики [15].

Американское стратегическое планирование не является единой стратегией развития, а формируется на основе многочисленных прогнозов отдельных индивидуальных участников прогнозирования: частные банки, агентства, корпорации и фирмы принимают участие в выстраивании общей стратегии социально-экономического развития наравне с государственными органами прогнозирования (такими как Совет экономических консультантов, Совет управляющих Федеральной резервной системой и Административно-бюджетное управление). Все прогнозы имеют различные горизонты прогнозирования, различные объекты и субъекты и разрабатываются профессионалами в области планирования и прогнозирования. Суть стратегического планирования в США заключается в выборе главных приоритетов развития экономики на федеральном уровне, на основе

многообразия планов и прогнозов, и уже на их основе в выстраивании отношений с отдельными штатами, бизнесом и обществом [17].

США применяют два совершенно разных подхода к стратегическому планированию: на федеральном уровне применяется традиционный рыночный подход – стратегическое развитие отдельных отраслей экономики за счет государственного бюджета, а на региональном уровне – специфический подход на основе поощрения и грантов, выделяемых на развитие отдельных штатов. Как и во Франции, стратегическое планирование в США увязано с бюджетным планированием. Планы выстраиваются по четырехлетним президентским срокам и тесно связаны с прогнозированием. При этом в стратегическом планировании используется один из основных факторов – преемственность относительно изменения лиц, принимающих решения.

Китайская Народная Республика (Китай). Планирование в Поднебесной, как и само государство, прошло несколько этапов становления. Первый этап, примерно до 1980 годов, был восстановительным. Планирование проводилось централизованно и на основе директив (директивное планирование). В этот период, как отмечает А.В. Островский, «осуществлялось количественное планирование показателей промышленного и сельскохозяйственного производства ..., социальные показатели не входили в необходимые показатели исполнения пятилетнего плана» [25].

В дальнейшем, до 1982 г., экономическое планирование Китая было тесно связано с самим экономическим управлением. Общая тенденция развития китайского экономического планирования состояла в отходе от директивного планирования с переходом через индикативное планирование к прогнозному и стратегическому планированию. Такая тенденция очень похожа на французское развитие экономического планирования. Все больше в экономическое планирование Китая включались и социальные аспекты.

В настоящее время в КНР преобладает именно стратегическое планирование, что хорошо видно из последних пятилетних планов. Учитывая

политическую систему, Китаю почти удалось уйти от индикативного и директивного планирования, которое присуще странам с социалистической и коммунистической формой правления и плановой экономикой. Но несмотря на общий характер стратегического плана, в китайском планировании все еще остается много индикаторов, характеризующих жесткий вектор развития.

Китай долгое время сокращал количество индикаторов и снижал макроэкономический контроль. Стратегическое планирование государства представлено в долго-, средне- и краткосрочных программах развития. В качестве основной чертой китайского планирования можно выделить то что, в отличие от европейских государств, китайский план является сбалансированной программой развития отдельных отраслей экономики и включает цели нефинансового характера. Такие цели делают программу более понятной и позволяют более детально описывать пути решения поставленных задач. Кроме того, китайские планы не предполагают нескольких вариантов развития событий, четко обозначая цели, задачи, сроки и пути решения. Китайская программа экономического развития также разделена на государственную и частную, что позволяет переложить часть поставленных задач на частный сектор экономики и привлечь его к решению общих экономических задач развития государства [48].

Япония. Макроэкономическое планирование Японии прежде всего является инструментом достижения необходимых условий по сбалансированному и долгосрочному развитию страны. Япония была вынуждена, как и европейские государства после окончания Второй мировой войны, начать процессы социально-экономического планирования для быстрого восстановления экономики и скорейшего выхода страны из экономической зависимости от иностранных государств. Как и во Франции, первые послевоенные социально-экономические планы государства носили индикативный характер. Но в дальнейшем, Япония, как и европейские страны эволюционным путем перешла на стратегическое планирование.

Концепции макроэкономического планирования в Японии не являются законодательными актами, а представляют собой совокупность государственных программ по аналогии с французскими «миссиями», но сами планы выстроены на основе индикативного планирования. Разрабатываемые в Японии общегосударственные планы экономического и социального развития, а также научно-технические программы рассматриваются в стране как важный инструмент государственного регулирования экономики [29]. Такой подход выделяет японское макростратегическое планирование на фоне других подходов к государственному планированию.

Японское социально-экономическое планирование сегодня схоже с планированием в ФРГ, оно строится на принимаемых планах-программах, имеющих индикативный характер с определенными правительством стратегическими целями развития. Кроме того, в Японии планирование является общенациональным инструментом регулирования экономики. По мнению К. Тани, «правительство [Японии] создало такую систему принятия стратегических решений, которая позволяет представителям самых различных интересов участвовать в формировании экономической политики» [94]. Это выражено в адаптивности планирования в Японии [54]. Правительство и предприниматели четко следуют принятым планам-программам, но в случае обоснованного несогласия с ними планы-программы корректируются на основе предложенных изменений.

Индия. До недавнего времени в Индии сохранялось планирование на уровне составления пятилетних планов, которое основывалось на индикативном планировании по аналогии с СССР. Пятилетние планы составлялись относительно программы социально-экономического развития страны. Основным органом, контролирующим планирование до 2015 г., оставалась Плановая комиссия. Как отмечает О.В. Маляров, Плановая комиссия определяла отраслевое развитие и развитие отдельных секторов экономики [22].

Территориальное устройство Индии так же, как и в Германии накладывает свои условия на экономическое и социальное планирование. Например, совместно с Плановой комиссией в Индии действовал и Комитет районного планирования, занимающийся составлением пятилетних планов на уровне отдельных штатов. Плановая комиссия была эффективной в первые годы независимости государства, что подтверждается успешностью директивного и индикативного планирования в периоды пост-колониального восстановления, но с переходом к рыночной экономике такое планирование стало неэффективным [94].

С 2015 г. Плановая комиссия прекратила свою деятельность. На данный момент основным органом государственной власти по экономическому и социальному развитию является Национальный институт трансформации Индии (НИТИ). Е.В. Ростянникова отметила, что наиболее важным эволюционным изменением в системе государственного планирования Индии стало объявление политики «кооперативного федерализма», в основе которого лежит достижение национальных идей через взаимодействие центра и отдельных штатов, для этой цели в НИТИ включены все министры штатов Индии [76]. Основным инструментом в достижении поставленных НИТИ целей и реализации программ является стратегическое планирование на пятнадцатилетний период (до 2030 г.). При этом все принимаемые на перспективу программы определяются исходя из тесного сотрудничества между центральными органами власти и органами власти отдельных штатов, и программы не могут быть приняты без соответствующего одобрения министров штатов. Выполнение установленных целей по стратегическим планам развития отдельных регионов также закреплено за властями штатов.

Рассмотрев основные положения стратегического планирования в разных странах, можно выделить их преимущества и недостатки. Они определены в таблице 1.

Таблица 1 - Преимущества и недостатки зарубежного планирования

Страна	Преимущества	Недостатки
Франция	<ul style="list-style-type: none"> • Формирование стратегии развития на основе конкретных планов развития – «миссий»; • подробное описание каждой программы с указанием ожидаемых результатов; • фокус на конкретные «точки роста» экономики в рамках отдельных «миссий»; • планирование результатов и свободное распределение средств для достижения поставленных целей; • подключение региональных властей к общему стратегическому планированию 	<ul style="list-style-type: none"> • Централизованный характер государственного планирования без привлечения сторонних экспертов; • существенная роль индикативного планирования, затраты на которое выше чем полученный результат
Германия	<ul style="list-style-type: none"> • Тесная связь государственного и федерального планирования, в выработке единой социально-экономической политики развития государства; • ярко выраженный региональный характер планирования; • децентрализация программ планирования через привлечение сторонних организаций 	<ul style="list-style-type: none"> • Большой уровень индикативного планирования в общей стратегии развития; • сложность согласования единой политики при учете интересов различных уровней планирования.

Продолжение таблицы 1

Страна	Преимущества	Недостатки
США	<ul style="list-style-type: none"> • Тесная связь планирования и прогнозирования; • широкий круг лиц, принимающих участие в составлении планов; • профессионализм лиц, участвующих в разработке стратегий; • преемственность общей стратегии развития государства, не зависящая от политических изменений в руководстве 	<ul style="list-style-type: none"> • Сильная разрозненность в составлении планов развития; • отсутствие централизованного планирования в регионах, что приводит к противоречиям между программами штатов.
Китай	<ul style="list-style-type: none"> • Сбалансированное планирование, включающее в себя нефинансовые индикаторы; • разделение плана развития на государственную и частную сферы; • вариативность принимаемой стратегии государственного развития 	<ul style="list-style-type: none"> • Достаточно большое влияние отдельных индикаторов на вектор развития государства
Япония	<ul style="list-style-type: none"> • Адаптивное планирование; • национальный характер принятия планов развития государства; • учет мнений участников и исполнителей планов и внесение корректировок на их основе; • план лежит в основе государственного регулирования экономики 	<ul style="list-style-type: none"> • Сильное влияние индикативного планирования в экономике

Продолжение таблицы 1

Страна	Преимущества	Недостатки
Индия	<ul style="list-style-type: none"> • Федеративный характер принятия стратегий государственного развития, тесное сотрудничество центральных органов власти и отдельных штатов государства; • социальный характер принимаемых стратегических планов 	<ul style="list-style-type: none"> • Остаточное влияние прошлого директивного и индикативного планирования

Источник: составлено автором

Несмотря на указанные различия между странами в стратегическом планировании, можно выделить некоторые общие принципы, присущие всем зарубежным странам. М.А. Войтишина, Э.И. Кистрина и Г.Е. Локтева выделили семь общих принципов зарубежного стратегического планирования [58]:

- 1) сочетание различных источников финансирования при реализации стратегических планов;
- 2) единый мониторинг и корректировка целей на каждом этапе реализации стратегического плана;
- 3) преемственность стратегического плана независимо от изменения политического руководства государства;
- 4) выделение сильных сторон регионов при составлении общего стратегического плана;
- 5) усиление внешнеэкономического аспекта с учетом мировой глобализации;
- 6) постоянное обновление индикаторов стратегического плана;

7) профессионализм участников разработки стратегии развития государства, привлечение сторонних лиц в процесс стратегического планирования.

Таким образом, рассматривая зарубежный опыт, преимущества и недостатки использования стратегического планирования в экономическом развитии государства можно сделать выводы о том, что индикативное планирование является эффективным инструментом при необходимости быстрого восстановления экономики государства. Стратегическое планирование в той или иной форме сегодня успешно применяется во многих государствах и является эффективным подходом в долгосрочном планировании развития. При этом, следует отметить, что индикативное планирование может остаться одной из частей стратегии развития государства.

Российская экономика уже пережила этап необходимости быстрого восстановления и сегодня именно стратегическое планирование с учетом опыта зарубежных государств может стать ключом к дальнейшему социально-экономическому развитию нашей страны.

1.2 Отечественный опыт стратегического планирования. Цели и задачи

Учитывая рассматриваемые пути развития стратегического планирования, можно сказать, что в мире с начала прошлого века сформировался огромный опыт использования индикативного и стратегического планирования, который позволил государствам сформировать национальные программы социально-экономического развития.

В России экономическое планирование было впервые применено в СССР при построении плана ГОЭЛРО – долгосрочного плана электрификации Советской России. В 1921 г. ГОЭЛРО стал первым как у нас, так и за рубежом стратегическим планом развития отдельных отраслей экономики. В нем был использован программно-целевой метод, который определял цель и методы ее

достижения. При этом план ГОЭЛРО был планом развития ни одной отрасли, а сразу несколько смежных отраслей экономики, так как для его выполнения требовались значительные ресурсы и соответствующая инфраструктура.

Необходимость восстановления народного хозяйства в короткие сроки после Гражданской войны и специфика планового ведения экономического развития страны позволили широко использовать и развивать теорию стратегического планирования. После отказа от зарубежной практики регулирования экономикой, был совершен резкий поворот в сторону директивного планирования. Как отметил В.В. Косов: «Не сам план, а подход, на котором он основывался, был объявлен «буржуазным» [67] и большая часть принципов стратегического планирования в СССР была отброшена. В это время было сформировано два подхода в планировании развития государства – «генетический», основанный на экстраполяции (Н.Д. Кондратьев, В.Г. Громан, В.А. Базаров) и «телеологический», основанный на составлении плановых целей и задач (Г.И. Кржижановский, В.Е. Мотылев, С.Г. Струмилин). Именно второй подход был взят за основу при дальнейшем планировании в СССР.

Социальное и экономическое планирование в СССР было представлено в виде планов-прогнозов социально-экономического развития на основе самых общих агрегированных показателей, что можно считать прообразом индикативного планирования. При этом долгосрочное планирование в СССР обеспечивало альтернативу в принятии решений по принципиальным структурным изменениям и модернизации экономики, а также выбор оптимальной стратегии развития.

Основным планом в СССР выступал пятилетний план развития народного хозяйства, который разрабатывался как директивный документ. Он предлагал прогноз целевых показателей, достижение которых ставилось в основу развития экономики государства. При этом пятилетние планы предполагали возможность внесения корректировок и поправок, но для этого необходимо было их утверждение в структурных органах управления и в дальнейшем на

съездах КПСС. Бюрократическая блокировка изменения пятилетних планов привела к практике использования в качестве основных документов планирования в СССР директивных годовых планов [72].

Следует отметить что экономическое планирование в СССР базировалось на научных прогнозах общественных потребностей и ресурсов экономики. Весь пятилетний план фактически был большим прогнозным планом развития. Над планами различных уровней трудились большие научные коллективы и научно-исследовательские институты Госплана, ЦЭМИ РАН СССР. Кроме центральных плановых структур, существовали и союзные, и региональные структуры, которые создавали целую научную сеть по организации планирования и прогнозирования в Советском Союзе. Как отметила Д.А. Ермилина, в период с 1920 г. по 1960-е годы были заложены основы программно-целевого и директивного планирования, которые в дальнейшем послужили базисом для внедрения планирования в других странах, таких как Китай, Бразилия, Португалия и др. [63].

С конца 1960-х годов XX века в СССР повысились требования к научной обоснованности социально-экономического планирования и прогнозирования. В это время были подготовлены первые труды по социальному прогнозированию (Г.М. Добров «Прогнозирование науки и техники» (1969); И.В. Бестужев-Лада «Окно в будущее: современные проблемы социального прогнозирования» (1970); коллективные труды «Прогнозирование капиталистической экономики (1970); «Методология прогнозирования экономического развития СССР (1971) и др. [4]). В это же время широко распространяется концепция научного прогноза и «технологического прогнозирования». Однако в дальнейшем с развитием и расширением производства директивно-индикативное планирование перестало справляться со своими задачами. В 1980-х годах появилась необходимость применения непосредственно стратегического планирования в условиях разрыва плановых и фактических показателей народного хозяйства. Так, в «Основных

направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976–1980 годы» особо подчеркивается необходимость «осуществить меры по дальнейшему совершенствованию планирования. Полнее учитывать в планах общественные потребности и предусматривать их удовлетворение при наиболее эффективном использовании трудовых, материальных и финансовых ресурсов» [24]. Предполагался переход к программно-целевому планированию с широким использованием комплексных программ по наиболее важным социально-экономическим проблемам.

Фактически индикативное и директивное планирование, которое использовалось ранее, было отменено в 1991 г. после ликвидации Государственного планового комитета СССР [63]. Как отмечал С.Ю. Глазьев, важным элементом перехода к рыночной экономике был переход к программно-целевому планированию развития экономики страны. В то время был необходим отказ от директивного планирования, которое тормозило экономическое развитие страны [12].

К сожалению, с отменой директивного и индикативного планирования в России был закончен период самостоятельного развития социально-экономического планирования. В дальнейшем происходит поиск и адаптация мировой практики стратегического планирования в условиях российской экономики.

В современной России стратегическое планирование основывается на законодательном построении стратегий развития государства. На данный момент действует федеральный закон №172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации» 2014 г., (последняя редакция 2017 г.), регулирующий основы стратегического развития России [44]. Кроме названного закона, Правительство России при стратегическом планировании опирается на ряд правительственных постановлений и на иные нормативно-правовые акты, в том числе на доктрины, концепции и стратегии развития.

В России стратегическое планирование реализуется на двух уровнях – федеральном (в виде непосредственно стратегий социально-экономического развития всего государства) и региональном (в виде планов развития регионов). Именно на региональном уровне происходит реальная работа по стратегическому планированию и социально-экономическому прогнозированию, но только в рамках отдельных регионов.

Основным органом по определению стратегии развития России является Министерство экономического развития РФ, осуществляющее выработку и реализацию социально-экономической политики, а также определяющее пути эффективного развития экономики России и обеспечения социально-экономического прогресса. Еще одним органом, отвечающим за стратегию национальной безопасности государства, является Совет Безопасности РФ, который также принимает участие в стратегическом планировании развития страны.

Федеральный закон о стратегическом планировании определяет органы по подготовке и реализации стратегических планов и целевых программ, устанавливает необходимые нормативные акты как на федеральном уровне, так и на региональном для реализации стратегии развития России, но в целом является расплывчатым в формулировках и нечетким в определении структуры реализации стратегического планирования.

К сожалению, имея в распоряжении богатый мировой опыт стратегического планирования, существенный собственный опыт разработки научно обоснованных планов и все возможности по построению макроэкономического развития государства, в России так до конца и не создана концепция формирования стратегического планирования.

На сегодняшний день в России нет эффективной системы разработки стратегии социально-экономического развития, несмотря на наличие законодательства в этой сфере и принятые нормативные документы. Существующие программы и планы разрабатываются независимо и зачастую

противоречат друг другу. Нет необходимого законодательного акта о создании единой социально-экономической политики на долгосрочный период, а уже существующие программы разрабатывались без надлежащего привлечения научного сообщества.

Анализируя использование концепции стратегического планирования, в целом можно выделить основные проблемы стратегического планирования в России:

- номинальность принятия стратегических планов;
- отсутствие необходимых подзаконных актов для исполнения планов и недостаточность источников финансирования;
- недостаточный мониторинг исполнения отраслевого планирования и отсутствие ответственности органов власти за исполнение планов;
- копирование зарубежного опыта разработки отраслевого планирования без учета отечественной специфики;
- несогласованность всех разработанных концепций, стратегий и доктрин;
- недостаточность использования математического моделирования;
- отсутствие долгосрочного целеполагания;
- отсутствие единого центра или структуры, отвечающей за реализацию планов и стратегий развития.

Кроме того, особой проблемой стратегического планирования в России является жесткий государственный контроль за созданием целевых программ и планов, без привлечения широкого круга общественных организаций, экспертов и научного сообщества. Зачастую целевые программы и стратегические планы оторваны от реальности и не предполагают проверку и корректировку на стадии выполнения. Обращение к экспертам для оценки и корректировки планов обычно происходит уже на поздних стадиях реализации и не приводит к повышению эффективности реализуемых программ [65].

Несогласованность программ, стратегий и доктрин еще более усиливается на региональном уровне, где программы развития отдельных регионов зачастую совершенно не связаны между собой и с программами развития страны. Более того, многие программы приняты номинально и за все время своего существования никогда не корректировались или не обновлялись. Как отмечали эксперты Института общественных наук РАНХиГС в 2017 г., система регионального стратегического планирования к тому времени еще не была сформирована, а переход к новой системе, которая была закреплена в Федеральном законе №172-ФЗ не завершен [66]. Многие регионы тогда продолжали функционировать в старой системе стратегического планирования [66]. В целом ситуация на сегодняшний момент практически ничем не отличается от 2017 г.

Решение всех поставленных проблем позволит эффективно использовать преимущества стратегического планирования для государственных нужд. Многие ведущие отечественные экономисты подчеркивают, что такое создание долгосрочных планов и механизмов стратегического планирования России не может больше продолжаться [59; 63]. Поэтому вопрос разработки эффективного законодательства в области стратегического планирования и контроль его реализации являются первоочередными задачами. При этом, если не учитывать законодательные аспекты использования планирования на практике, то стратегическое планирование не всегда будет основано на четком и развернутом математическом инструментарии, что не позволяет использовать прогнозирование в своих целях.

Одним из ключевых этапов стратегического планирования является составление стратегических прогнозов, направленных на определение возможных направлений развития социально-экономических процессов в будущем. Именно через прогноз можно определить границы и области формирования дальнейших целей экономического развития. Прогноз может помочь выбрать направление для решения основных проблем, являющиеся

объектом для разработки и принятия управленческих решений. Учитывая опыт отечественного и зарубежного применения стратегического планирования, следует отметить, что остается нерешенной проблема места прогноза в планировании. Здесь уместно обратиться к опыту стратегического планирования в США, где прогнозированию отводится основная роль в стратегическом планировании, что как показала практика, является эффективным, но единичным случаем.

К сожалению, несмотря на то, что российское законодательство в области стратегического планирования и предусматривает прогнозирование социально-экономического развития страны, до сих пор не принято никаких нормативно-правовых актов о разработке прогнозов. Стратегический прогноз призван определить оптимальный сценарий преодоления рисков и угроз и оценку конкурентных преимуществ России [93].

Таким образом, Россия сегодня нуждается в проработке системы стратегического планирования. При этом не следует копировать зарубежный опыт, поскольку он не всегда может быть эффективным, учитывая российскую специфику как государственного устройства, так и экономического развития. Необходимо привлечение научного и экспертного сообщества для разработки актуальных программ и планов, а также определение места прогнозирования в разработке и внедрении стратегических планов. Вместе с этим возникает и еще одна проблема прогнозирования в целом – точность прогнозирования и возможности ее повышения для целей стратегического планирования.

1.3 Место прогнозирования в планировании. Прогноз как стадия стратегического планирования

Как было отмечено ранее, в стратегическом планировании необходимо уделять особое внимание макроэкономическому прогнозированию. В условиях постоянного роста производства, его эффективности и поэтапного решения

важнейших задач социально-экономического развития государства возрастает роль выработки экономической стратегии на длительный период, основным звеном которой является построение прогноза. Как отмечал американский экономист О. Моргенштерн, экономическая теория во всех ее видах в конечном итоге предназначена для построения прогнозов [23]. А вместе с этим встает и главный вопрос любого планирования, в том числе и стратегического, – соотношение прогноза с планом, место прогнозирования в планировании, в том числе и в стратегическом.

Для проведения дальнейшего сравнения и сопоставления планирования и прогнозирования, изначально следует дать определение стратегическому планированию.

Под стратегическим планированием обычно понимается как один из видов государственного планирования, так и одна из форм управления организацией. В дальнейшем под стратегическим планированием будет пониматься именно форма государственного планирования. Согласно указанному ранее Федеральному закону №172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации». Под стратегическим планированием в России понимается – «деятельность участников стратегического планирования по целеполаганию, прогнозированию, планированию и программированию социально-экономического развития Российской Федерации, субъектов Российской Федерации и муниципальных образований, отраслей экономики и сфер государственного и муниципального управления, обеспечения национальной безопасности Российской Федерации, направленная на решение задач устойчивого социально-экономического развития Российской Федерации, субъектов Российской Федерации и муниципальных образований и обеспечение национальной безопасности Российской Федерации» [44].

По своей сути, стратегическое планирование – высшая форма индикативного планирования с некоторыми исключениями [70]. Главное отличие стратегического планирования от других форм планирования является

его долгосрочный характер. Основными целями такого планирования являются стратегические цели социально-экономического развития при ведущей роли государства в их достижении. Наряду с целями в стратегический план так же входит ресурсное обеспечение и пути обеспечения достаточного потенциала для достижения поставленных целей.

Если в отношении стратегического планирования существует единое определение, то в отношении того, что такое прогноз и прогнозирование для экономики имеется множество определений.

В общем смысле, по мнению В.П. Герасенко, прогноз есть «научно обоснованное суждение о возможных состояниях объекта в будущем и (или) об альтернативных путях и сроках их достижения. Прогнозирование – процесс разработки прогнозов» [11]. Н. Б. Антонова определяет, что прогноз в экономике — это «система научно обоснованных представлений о направлениях, критериях, принципах, целях и приоритетах социально-экономического развития Республики Беларусь на соответствующий период с указанием основных прогнозируемых показателей, целевых ориентиров и мер по их обеспечению» [1]. С точки зрения М.И. Плотницкого, Э.И. Лобковича и М.Г. Муталимова, прогнозирование – это «система научных исследований, направленных на определение тенденций развития экономики или ее частей (регионов, отраслей) и поиск оптимальных путей достижения целей этого развития» [26].

Так чем же является прогнозирование для планирования? Большинство исследований в этой области определяют планирование как неотъемлемую часть планирования, выделяя ее в отдельную процедуру. Так, Л.О. Прокопчук и А.А. Козырева считают, что стратегическое планирование состоит из нескольких процедур: стратегическое прогнозирование (прогнозы), программирование (стратегические программы) и проектирование (стратегические планы) [28].

Хотя, такая точка зрения не единственная, зачастую, особенно в СССР прогнозирование как предвиденье стихийных и неуправляемых социально-экономических процессов при капитализме противопоставляется планированию управляемых процессов при социализме. Однако, по мнению С.А. Саркисяна [35] такое сопоставление не корректно, так как и планирование, и прогнозирование имеют одинаковую информацию и социально-экономическую природу.

Прогнозирование может существовать отдельно от стратегического планирования, будучи составной частью планирования. Этим оно существенно отличается от последнего. При этом существуют процессы, к которым не всегда можно применить стратегическое планирование, но, можно применить экономическое прогнозирование. В частности, такие процессы встречаются в таких сферах общественного производства как, например, демография, текущий спрос на предметы потребления и т.д. В связи с этим социально-экономическое планирование, в том числе и стратегическое планирование, не может полностью обходиться без прогнозирования.

Кроме того, прогнозирование необходимо для того, чтобы проводить проверку выполнения плана и соответствующую корректировку целей. Без проверки прогнозов промежуточных индикаторов и целей нельзя определить корректность выполнения плана.

Прогноз является инструментом, он дает информацию для дальнейшего обоснования решения и определяет возможности развития ситуации в будущем. В стратегическом же плане происходит выбор возможности для его реализации. Прогноз может содержать оценку каждой из возможностей, рассматривать даже взаимоисключающие варианты развития. В стратегическом плане определяются конкретные действия для реализации в соответствии с выбранным направлением развития. Стратегический план отражает сугубо определенные, детерминированные условия. Иными словами, если прогноз

является многовариантным явлением, то план, как правило, существует в единственном варианте.

Стратегическое планирование имеет функциональный характер. Ему предшествует обоснование целей, выделяемых ресурсов, разработка исходных нормативов, точных норм. Стратегический план является обязательным к выполнению и не может включать только рекомендательные положения. При этом любые действия в экономическом регулировании должны быть направлены на выполнение такого плана. Вместе с тем, стратегическое планирование представляет возможность достижения поставленных целей различными путями, но в заданных в плане рамках. Такая многовариантность достигается за счет заранее определенных в плане возможных сценарии развития событий при различных внешних факторах и ресурсах, которые прописываются в стратегическом плане.

Планирование представляет собой постановку и обоснование целей и приоритетов социально-экономического развития с определением путей и средств их достижения. Таким образом, план является документом, который содержит систему показателей, начальных ресурсов, внешних условий и набор различных мероприятий по решению социально-экономических задач. Стратегический план является руководством по принятию решений. В нем должны быть отражены не только цели и приоритеты, но и ресурсы, источники обеспечения достижения поставленных целей, а также и их сроки выполнения.

Необходимо отметить, что стратегическое планирование рассматривается как основной рабочий инструмент в достижении целей, сформулированных в стратегическом плане развития страны с учетом конкретно складывающейся экономической и социально-политической ситуации.

Планирование социально-экономического развития страны развивается и совершенствуется в тесной взаимосвязи с прогнозированием стратегических возможностей общества.

Прогнозирование занимает особое место в планировании. Прогнозирование и планирование взаимно дополняют друг друга. Сочетание прогнозирования и планирования может иметь различные формы. В большинстве случаев прогноз предшествует разработке плана, но прогнозирование может следовать за планированием, давая оценку последствий принятых в плане решений. Прогнозирование также может осуществляться в процессе разработки плана, т.е. самостоятельно играть роль плана. Такой вид прогнозирования характерен для крупномасштабных экономических систем: регион, государство. Прежде всего это связано с тем, что не всегда можно определить показатели плана методы по достижению поставленных задач, а также факторы, которые могут повлиять на их выполнение. В этом случае план приобретает вероятностный характер, поскольку не имеет четких поставленных задач и путей их реализации, а это в свою очередь приводит к тому, что план становится прогнозом.

Планирование нацелено на обоснование принятия и практической реализации управляющих решений. Цель *прогнозирования* – создать предпосылки для выполнения поставленных в планировании задач. Такими предпосылками являются: научный анализ тенденций развития экономики, вариантное предвидение ее предстоящего развития, оценка возможностей последствий принимаемых решений.

Обоснование направлений экономического прогнозирования заключается в том, чтобы:

- выяснить перспективы ближайшего или более отдаленного будущего в исследуемой области, руководствуясь реальными экономическими процессами, сформировать цели развития;
- способствовать выработке оптимальных планов, опираясь на составленный прогноз и оценку принятого решения с позиций его последствий в прогнозном периоде.

В случае перехода от прогнозирования к соответствующему планированию необходимо принимать во внимание оценку результатов полученного прогноза для установления экономических целей дальнейшего развития и учета возможных факторов, влияющих на достижение поставленных целей.

Наличие неуправляемых факторов приводит к необходимости социально-экономического прогнозирования и стратегического планирования в условиях риска и неопределенности. Это обусловлено тем фактом, что экономические процессы в большей степени подвержены влиянию большого количества различных внешних и внутренних факторов: социальных, политических, демографических, научно-технических и др. В связи с этим результаты планирования зачастую могут не совпадать с теми результатами, которые были определены изначально.

При разработке прогнозов и планов осуществляется диалектически противоречивый процесс: научные достижения обогащают человека все более точными данными о путях развития производства и общества, а превращение науки непосредственно в производительную силу осложняет оценку перспектив развития техники, так как именно в научном творчестве особенно существен фактор неопределенности.

Неопределенность может возникнуть еще и потому, что число участников разработки прогнозов и планов во много раз меньше числа лиц, непосредственно выполняющих плановые задания и вносящих свою специфику в этот непрерывный процесс.

По мнению А. Бауэла и других ученых планирование и прогнозирование имеют некоторые общие признаки – это общая социальная функция, мыслительная и методологическая общность. Однако наряду с дуализмом плана и прогноза имеется существенное различие между прогнозированием и планированием. Прогноз с логической точки зрения есть высказывание. Оно может быть истинным или ложным. Напротив, план – это система директив,

которые не могут быть ни ложными, ни истинными, а только в большей или меньшей степени обеспечивающими достижение поставленной цели [3].

Так как прогноз имеет численное или словесное определение, его можно в той или иной степени анализировать с точки зрения возможной альтернативы экономического развития. Прогноз выступает некоторой гипотезой, предположением о будущем течении экономического процесса. Прогноз может включать и ошибку прогнозирования, которая недопустима при планировании, в связи с этим планирование получает возможность составления различных вариантов плана на основе анализа полученных при прогнозе результатов. Важнейшей функцией любого прогноза является обоснование возможного положения рассматриваемого объекта в будущем и определение альтернативных путей достижения поставленных целей планирования.

Таким образом, можно разделить прогноз по динамике развития и прогноз по плану. В первом случае прогноз осуществляется исходя из текущей динамики показателей социально-экономического развития и предполагает их некоторое положение в будущем при неизменности действующих на показатели внешних факторов. Во втором случае прогноз определяется из тех целей, которые заложены непосредственно в целевой программе или плане. Такой прогноз будет учитывать все факторы, действующие на исследуемый процесс и описанные в плане. С точки зрения стратегического планирования больший интерес придается именно прогнозу по плану, но как один из вариантов развития событий обязательно должен рассматриваться в стратегии и прогноз по динамике, так как он определяет базовый сценарий развития событий.

Методы планирования и прогнозирования также различаются. Методы планирования в первую очередь — это методы принятия решений, поскольку главное в планировании — обосновать плановые решения достижения поставленных целей. Прогнозирование же связано с будущим течением рассматриваемого процесса или положением объекта. Это будет зависеть от

множества случайных факторов, оказывающих влияние как из вне, так и изнутри процесса или объекта. В связи с этим можно говорить, что будущее является стохастичным процессом. Отсюда следует, что любое прогнозирование можно рассматривать только как вероятностный процесс, а следовательно и методы и модели прогнозирования являются вероятностными.

В силу вероятности прогнозирования можно определить четкую разницу между прогнозированием и планированием: *прогнозирование является процессом предсказания направления экономического развития исследуемого процесса и определение вероятностного положения рассматриваемого объекта в будущем.* Отсюда экономический прогноз – это некоторая гипотеза, некоторая вероятностная оценка протекания экономического процесса в будущем [7]. *Планирование же направлено на формирование концепций и планов по достижению поставленных результатов относительно поставленных целей.*

В настоящее время развитие любой социально-экономической системы и управление этим развитием должны быть направлены на обеспечение жизнеспособности и эффективности функционирования данной системы путем наилучшего сочетания механизмов рыночной экономики с индивидуальными интересами субъектов экономических отношений.

Соответственно, возрастает требовательность к качеству прогнозных исследований и к их точности. Это, свою очередь вызывает необходимость дальнейшей, более углубленной разработки вопросов теории и практики социально-экономического прогнозирования.

Точность и надежность прогнозов обеспечивается прежде всего развитием методологического аппарата, достижениями теории прогнозирования, постоянным слежением за уровнем развития отечественной и зарубежной науки, техники, экономики.

Знание методов прогнозирования, обработка больших массивов информации и точная постановка проблемы определяют основные условия для

принятия обоснованных прогнозов при их разработке. Эти условия определяют эффективность прогнозного исследования. Возможность правильно оценить адекватность прогнозных оценок – основа определения приемлемых прогнозных вариантов развития ситуации.

1.4 Точность прогнозирования, проблемы и пути повышения

Наряду с основным вопросом любого прогнозирования – его место и соотношение с планом, необходимо рассмотреть и второй вопрос – точность прогнозирования и возможности ее повышения.

Точность прогнозирования выступает основной характеристикой, от уровня точности зависит успешность применения того или иного метода прогнозирования. Именно от величины ошибки прогноза зависит возможность использования самого прогноза в плане, от ошибки прогнозирования будет зависеть уровень вариативности принятия различных путей достижения целевых параметров стратегии.

Для целей стратегического планирования могут применяться различные методы прогнозирования. Существующие методы экономического прогнозирования различаются по уровню сложности в реализации, структуре и адаптации к изменениям. Такое разнообразие методов прогнозирования требует научно-обоснованной методики по оценке точности и одновременно методики повышения уровня качества используемых методов прогнозирования в том или ином случае.

На текущий момент нет общепринятых и универсальных подходов по определению точности прогнозирования. Существующие оценки могут расходиться и зависят от множества факторов, в том числе и от того, как их использует исследователь. Кроме того, провести оценку точности прогноза можно только при получении результата, проверить метод прогнозирования

еще на стадиях реализации нельзя, хотя для этих целей и есть оценки адекватности построенных моделей прогнозирования.

Существующие методы оценки точности прогнозирования являются только количественной мерой качества используемого метода прогнозирования и не могут влиять на саму точность прогноза, а также определить недостатки используемого метода прогнозирования. На основе полученной оценки точности используемого метода прогнозирования исследователь либо допускает ошибку прогноза и принимает полученный прогноз, либо же не допускает и отказывается от полученного прогноза. При большой ошибке прогнозирования исследователю приходится строить новый прогноз с корректировкой исходной модели или с выбором другого метода прогнозирования. Это делает оценки точности прогнозирования неэффективными с точки зрения затрат на получение прогнозных результатов.

На практике в большинстве случаев исследователь добивается повышения точности прогноза через корректировку первоначальной модели прогнозирования и практически не использует существующие подходы по повышению точности прогнозирования.

Для того что бы рассмотреть возможности по повышению точности прогнозирования необходимо обратиться к определению точности прогноза и установить методы ее оценки.

Точность прогнозирования. Под точностью прогнозирования следует понимать максимальную приближенность полученного прогноза к фактическим данным, т.е. это уровень ошибки прогноза.

Основными факторами, определяющими точность полученных результатов прогнозирования, является точность информации, которая используется на стадии построения прогнозной модели (точность ретроспективного ряда – его отклонение от фактических значений исследуемого временного ряда), и эффективность самой методики построения модели прогнозирования.

Кроме того, в качестве дополнительного фактора, необходимо также учитывать объективность и непредвзятость трактовки исследователем исходных данных и результатов прогнозирования – так называемый человеческий фактор. Именно исследователь, представляя конечные результаты, достаточно часто допускает «вольности» в выводах и рекомендациях по принятию решений на основе полученных прогнозов. Но оценить вклад исследователя в ошибку прогнозирования не представляется возможным. По этой причине обычно человеческий фактор не учитывается при оценке точности прогнозирования, предполагается, что его нет.

На сегодняшний день для определения оценки точности информации и анализа ошибки ретроспективного ряда, построенного по выбранной модели прогнозирования существует множество статистических методов. Они служат инструментом для выявления аномальных наблюдений, определяют достаточность объема выборки временного ряда для прогнозирования, а также неперiodические и скачкообразные явления, которые могут быть в исследуемом временном ряде. Данные статические методы могут определить влияние внешних факторов (сразу или же с небольшим запозданием), которые могут приводить к существенным изменениям динамики процесса, привносить дополнительную информацию и в конечном итоге снижать точность прогнозирования.

Эти методы в совокупности с существующими приемами работы с временными рядами позволяют исследователю правильно оценить всю доступную информацию и определить наиболее подходящий статистический метод прогнозирования для конкретного временного ряда. Они помогают своевременно установить наметившиеся тенденции на изменения в динамике рассматриваемого прогнозного процесса и дать сигнал для корректировки и адаптации исходной модели прогнозирования исходя их новых условий. В связи с этим особенно важна оценка точности используемой модели прогнозирования и ее корректировки. Ошибка в выборе модели

прогнозирования приведет к искажению прогноза и высокой неточности полученных результатов прогнозирования.

На прогнозные результаты также могут оказывать влияние факторы, не связанные с исследуемым процессом, но относящиеся к исследователю. Прежде всего это перестраховка исследователя, его личное представление о прогнозных изменениях в динамике исследуемого ряда или же осторожность при прогнозировании и осознанное занижение полученных результатов, а также подгонка прогноза под тот результат, который исследователь считает правильным [62]. Названные факторы встречаются достаточно часто на практике. Поэтому появляется потребность в независимой методике повышения точности прогнозирования, которая минимизировала бы возможность вмешательства исследователя в процесс прогнозирования и не давала бы ему повода для такого вмешательства.

Факторы, связанные с используемой информацией и вмешательством исследователя в процесс прогнозирования, можно определить как внешние факторы по отношению к прогнозной модели и получаемым прогнозным результатам. Точность используемой модели прогнозирования, соответственно, будет внутренним фактором. Внешние факторы не всегда или даже практически всегда не могут быть правильно оценены. Их вклад в ошибку прогнозирования не может быть минимизирован. В качестве внешних условий могут выступать достоверность полученной информации, достаточность и репрезентативность выборки, информативность данных, адекватность прогнозной модели.

Самой первой оценкой точности модели, которую необходимо провести исследователю, является определение адекватности прогнозной модели. Адекватность модели характеризует способность модели правильно описывать реальную структуру исследуемого процесса. В общем случае адекватность модели представляет собой степень соответствия полученной прогнозной модели реальному явлению, для которого она выстраивается [96].

С точки зрения определения адекватности модели прогнозирования ее можно использовать в качестве оценки точности. Задача проверки на адекватность используемой модели прогнозирования формируется как предположение, что значение, рассчитанное по модели, отличается от реального значения исследуемого процесса не более чем на заранее заданную величину.

Необходимым условием адекватности модели является существенность признаков. Если они неинформативны, то никакой способ моделирования не приведет к хорошим результатам. В зависимости от характеристик показателя один и тот же признак может быть либо существенным, либо несущественным. При его измерении необходимо использовать количественные и качественные характеристики признака.

Адекватность полученной модели можно оценить через безразмерный коэффициент детерминации (1):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - M(\tilde{y}_i))^2} \quad (1)$$

где y_i – фактические значения временного ряда;

\tilde{y}_i – прогнозные значения временного ряда;

n – число значений временного ряда;

$M(\tilde{y}_i)$ – математическое ожидание прогнозных значений.

Для адекватности прогнозной модели также существенным признаком является *достоверность информации*, от которой напрямую зависит точность построения прогноза. Недостоверный или недостаточный объем информации, используемой при прогнозировании – наиболее часто встречающаяся причина получения неадекватной модели прогнозирования. В этом случае нужно полностью пересмотреть процесс построения прогноза и в случае необходимости сменить используемую модель прогнозирования.

Следует отметить, что адекватность модели прогнозирования является в значительной мере условным показателем. Про нее можно говорить только в том случае, когда используемая модель прогнозирования имеет серьёзное теоретическое обоснование и нет оснований сомневаться в корректности построенной модели прогнозирования.

Для определения адекватности модели прогнозирования можно выделить следующие основные действия исследователя:

- выбор значимых параметров модели прогнозирования;
- определение их количественной величины;
- проверка на значимость параметров модели прогнозирования;
- проверка модели на адекватность.

Использование данной последовательности действий исключает искажение прогнозных результатов из-за неточности информации, и позволяет определить неточность и неадекватность выбранной модели прогнозирования без привлечения дополнительных методик, по оценке точности результатов.

Однако положительный результат проверки на адекватность используемой модели прогнозирования не говорит о точности полученных результатов, так как внешние факторы, названные выше, оказывают влияние на изучаемый процесс независимо от выбранной исследователем прогнозной модели. В связи с этим после того, как была полностью принята гипотеза об адекватности выбранной модели прогнозирования и значимости факторов, которые были включены в данную модель, необходима количественная и качественная оценка точности полученных прогнозных результатов.

Дальнейшая оценка точности полученных результатов прогнозирования проводится по величине ошибки прогнозирования. Она определяется как отклонение прогнозных значений от фактических данных. Учитывая то, что на практике прогноз не может быть сравнен с фактическими данными, которых еще нет на момент прогнозирования, оценка точности прогнозной модели проводится на основе ретроспективного ряда, построенного на базе

используемой модели прогнозирования, которые и сравниваются с фактическими значениями временного ряда.

К сожалению, такая оценка оправдана только в случае краткосрочного прогнозирования. При долгосрочном прогнозировании ошибка прогноза накапливается достаточно быстро, что сказывается на точности полученного долгосрочного прогноза. В случае экономического прогнозирования, которое в основном является краткосрочным, такое ограничение может быть не существенным.

При оценке точности полученных результатов можно выделить апостериорное качество результатов прогнозирования, которое определяется только после уже практической реализации прогнозной модели, и априорное, или предполагаемое, качество, которое оценивается на отдельных стадиях построения прогнозной модели.

Оценку полученных прогнозных результатов можно проводить с помощью количественных или качественных методов. Количественные методы оценки, в свою очередь, разделяются на абсолютные, относительные и сравнительные методы или показатели.

К *абсолютным показателям* качества, или точности, прогнозирования можно отнести такие показатели, которые определяют величину ошибки прогноза в количественных единицах измерения, а именно: среднеквадратическая ошибка, относительная и средняя относительная ошибка, а также другие ошибки, которые можно оценить в количественных единицах измерения. Абсолютные показатели точности хороши тем, что их оценка может проводиться независимо от других методов прогнозирования, достаточно выбрать некоторый уровень точности и сравнивать полученный результат оценки с ним [82]. Существенным же недостатком таких оценок точности результатов прогнозирования является их сильная зависимость от масштаба измерения значений исследуемого показателя [7].

Кроме того, абсолютная ошибка прогнозного результата является единичной оценкой для конкретной точки прогнозного временного ряда и не дает понимание о точности всей прогнозной модели. Это оказывается существенным недостатком, учитывая внешние факторы, которые могут влиять на исследуемый процесс. Единичный прогноз может быть точным даже при неадекватной модели прогнозирования и наоборот: даже самая адекватная модель прогнозирования при проведении оценки точности на отдельном прогнозом результате может показать плохие результаты по точности при сравнении прогноза с аномальными фактическими данными.

В связи с этим на практике в дополнение к простой оценке по абсолютным показателям проводят оценку коэффициента качества прогноза K_k , показывающий соотношение между числом совпавших прогнозов и общим числом прогнозов (2):

$$K_k = \frac{c}{c + n}, \quad (2)$$

где c – число совпавших прогнозов (абсолютная ошибка, по таким прогнозам, в пределах заданного уровня оценки);

n – число несовпавших прогнозов (абсолютная ошибка, по таким прогнозам, выше заданного уровня оценки).

Данный показатель определяет вес числа совпавших прогнозов в целом по временному ряду. Он измеряется в пределах от нуля до единицы. В случае, если K_k равен единице, можно говорить, что полученные результаты прогнозирования точные относительно заданного уровня оценки точности по выбранному абсолютному показателю.

Использование коэффициента качества прогнозных результатов приводит к тому, что при оценке точности прогнозной модели необходимо использовать такие методы, которые основывались бы на совокупности сопоставлений

прогнозных и фактических значений изучаемого процесса. Для этих целей используют *относительные показатели*. Кроме того, относительные показатели могут быть использованы и для сравнения нескольких прогнозных моделей по точности [82].

Наиболее часто на практике, для сравнения различных методов прогнозирования используется средняя относительная ошибка в процентах (3):

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i - \tilde{y}_i}{y_i} * 100\% \quad (3)$$

или же средняя абсолютная ошибка в процентах (4):

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \tilde{y}_i}{y_i} \right| * 100\%. \quad (4)$$

Для данных оценок также используется заданный уровень точности. В большинстве случаев на практике задается значение точности, равное 5%. Принято считать, что если средняя абсолютная или средняя относительная ошибки менее 5%, то модель прогнозирования имеет высокий уровень точности. В случае превышения уровня в 20%, можно говорить о низкой точности полученного прогноза. Но границы уровня точности необходимо определять по потребностям прогноза. В некоторых случаях значение ошибок в 1–2% уже считаются показателем низкой точности.

Средняя абсолютная ошибка достаточно чувствительна к отдельным отклонениям. Одно нетипичное отклонение для модели может существенно понизить ее точность. Кроме того, средние абсолютные и относительные ошибки тяжело рассчитываются при значениях исследуемого процесса, близких к 0. В связи с этим в качестве оценки точности прогнозирования также можно использовать коэффициенты несоответствия (коэффициенты Тейла) [6; 8; 36] (5, 6):

$$K_{T1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2}}, \quad (5)$$

$$K_{T2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2 + \sum_{i=1}^n \tilde{y}_i^2}}. \quad (6)$$

Границы уровня точности для коэффициентов Тейла являются такими же, как и для средней абсолютной и относительной ошибок. Недостатком данных коэффициентов следует назвать то, что они имеют одинаковую размерность с исследуемым временным рядом. Это означает существенную зависимость от колебаний данного временного ряда. В работе Е.Ю. Пискуновой предлагается корректировать коэффициенты Тейла на отношение дисперсий фактического (σ_y^2) и прогнозного ($\sigma_{\tilde{y}}^2$) временных рядов [49] (7):

$$K_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2}} * \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{\tilde{y}}^2}, \text{ при } \sigma_y^2 > \sigma_{\tilde{y}}^2, \quad (7)$$

$$K_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2}} * \frac{\sigma_{\tilde{y}}^2}{\sigma_y^2}, \text{ при } \sigma_{\tilde{y}}^2 > \sigma_y^2.$$

Кроме коэффициента Тейла, избавиться от недостатков средней абсолютной ошибки можно и через нормировку по диапазону [14] (8):

$$E_N = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \tilde{y}_i}{y_{i \max} - y_{i \min}} \right| * 100\%, \quad (8)$$

где $y_{i \max}$ – максимальное значение фактического временного ряда;

$y_{i \min}$ – минимальное значение фактического временного ряда.

Кроме относительных и абсолютных показателей также выделяются *сравнительные показатели точности прогнозирования*. Данные показатели

основываются на сравнении некоторой полученной оценки с ее эталонным значением. В целом такие показатели не являются оценкой точности прогнозирования, но используются для оценки полученных результатов по какому-то показателю.

В общем виде сравнительный показатель точности можно определить в следующем виде (9):

$$\lambda = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\tilde{p}_i - \tilde{y}_i)^2}}, \quad (9)$$

где p_i – фактическое значение величины эталонного показателя;

\tilde{p}_i – прогнозируемое значение величины эталонного показателя.

В качестве эталонного показателя может быть выбрана любая базовая величина: постоянный темп роста, прироста и т. п. В том случае, если величину эталонного прогноза принять за ноль, получим частный случай сравнительного показателя, называемый *коэффициентом несоответствия* (10):

$$\lambda_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{y}_t - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2}}. \quad (10)$$

В случае совершенного прогноза коэффициент несоответствия будет равен нулю.

Кроме того, за эталонный показатель можно выбрать и другой прогноз для сравнения их по точности или по определенному критерию сравнения. Для этой цели можно использовать средний коэффициент несоответствия. Данный коэффициент $\overline{\lambda}_n$ исчисляется как отношение среднеквадратической ошибки прогноза к той же ошибке, которая имела бы место, если принять в качестве

прогноза для каждой прогнозной точки среднее значение переменной за весь период прогнозирования (11, 12):

$$\bar{\lambda}_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{y}_t - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\bar{y} - y_i)^2}}, \quad (11)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}. \quad (12)$$

В случае, если данный показатель превышает единицу, делается вывод о том, что прогноз на уровне среднего значения фактических данных дал бы лучший прогноз чем тот, который используется для сравнения.

Кроме усредненного значения, для сравнения также можно использовать и отношение среднеквадратической ошибки прогноза к ошибке, полученной при экстраполяции исходных данных по аналитическому тренду.

Коэффициент парной корреляции как вариант коэффициента несоответствия между прогнозируемыми и фактическими значениями переменной R [20] (13):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{y}_i - \bar{y}_i) (y_i - \bar{y}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\tilde{y}_i - \bar{y}_i)^2 * \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}}, \quad (13)$$

где \bar{y}_i – среднее значение фактического временного ряда.

Недостатком использования коэффициента парной корреляции в качестве критерия точности прогноза является то, что он лишь устанавливает факт существования линейной зависимости между рядами прогнозных и фактических величин через регрессионное уравнение первого порядка с коэффициентами α и β вида (14):

$$\tilde{y}_t = \alpha + \beta y_t. \quad (14)$$

Из уравнения можно сделать вывод о том, что прогноз будет совершенным, в случае если коэффициент α будет равен 0, а $\beta = 1$.

В связи с этим в некоторых работах вводится коэффициент расхождения, базирующийся на корреляции. Например, в работе [36] коэффициент расхождения определяется следующим образом (15):

$$U = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\tilde{y}_t - y_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tilde{y}_t^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2}} \quad (15)$$

А в работе [132] можно найти измененную форму для подсчета коэффициента расхождения (16):

$$U = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\tilde{y}_t - y_i)^2 / n}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2}} \quad (16)$$

Кроме обычного коэффициента корреляции иногда используют его модификации. В работе О.М. Гусаровой автор представил коэффициенты $R1$ и $R2$, как уточнения для использования коэффициента корреляции в качестве оценки точности прогнозирования [46, 47].

Первый коэффициент $R1$ основывается на ретропрогнозной оценке используемой модели прогнозирования. Следует отметить, что в данном случае во временном ряду выделяют отдельно промежуток ретропрогноза, по которому строится прогнозная модель для дальнейшего ее использования при прогнозировании. Данный коэффициент рассчитывается согласно следующей формуле (17):

$$R1 = \sqrt{1 - \frac{S_P^2}{S_n^2}} \quad (17)$$

где S_p – среднеквадратическое отклонение ретропрогнозных оценок, найденное по следующей формуле (18):

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum_{t=n-1}^{\tau} (E(t) - \hat{E})^2}{\tau}}, \tau = 1, 2, \dots, \quad (18)$$

где под $E(t)$ понимается отклонение расчетного значения ретропрогноза от фактического;

\hat{E} – среднее значение ряда отклонений ретропрогноза от фактических данных;

n – длина исследуемого временного ряда;

τ – длина построения ретропрогноза;

S_n – среднеквадратическое отклонение, исчисленное из приведенной дисперсии (19):

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n E(t)^2}{n - m - 1}}, \quad (19)$$

где m – число параметров модели.

Второй модифицированный коэффициент корреляции $R2$ предлагается рассчитывать по формуле (20):

$$R2 = \sqrt{1 - \frac{S_a^2}{S_n^2}}, \quad (20)$$

где S_a – среднеквадратическое отклонение, определяемое по формуле (21):

$$S_a = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (E(t) - \bar{E})^2}{n - m - 1}} \quad (21)$$

где под $E(t)$ понимается разность между фактическим и расчетным значением исследуемого показателя;

\bar{E} – среднее значение ряда $E(t)$.

Анализ предлагаемых коэффициентов R1 и R2 позволяет сделать выводы о прогнозных качествах исследуемых моделей. Для каждого исследуемого показателя осуществляют расчет моделей прогнозирования, для каждой из которых вычисляются модифицированные коэффициенты корреляции, а затем по результатам их сравнения выбирают лучшую по прогнозным качествам модель.

К качественным показателям следует отнести такие, которые позволяют провести анализ видов ошибок прогнозов и разложить их на какие-либо составляющие. Особенно важен такой анализ для циклически изменяющихся переменных, когда необходимо прогнозировать общее направление развития исследуемого процесса [9].

Стандартным примером качественного показателя служит разложение Тейлора среднеквадратической ошибки на отдельные составляющие (22):

$$\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (\tilde{y}_t - y_t)^2 = (\bar{\tilde{y}} - \bar{y})^2 + (S_{\tilde{y}} - S_y)^2 + 2(1 - R)S_{\tilde{y}}S_y, \quad (22)$$

где $\bar{\tilde{y}}$ и \bar{y} - средние значения прогнозного и фактического значений временного ряда;

R – коэффициент корреляции;

$S_{\tilde{y}}$ и S_y - дисперсии прогнозных и фактических значений временного ряда.

При делении правой части на левую получаем три показателя (23):

$$\frac{(\bar{\tilde{y}} - \bar{y})^2}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (\tilde{y}_t - y_t)^2} + \frac{(S_{\tilde{y}} - S_y)^2}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (\tilde{y}_t - y_t)^2} + \frac{2(1-R)S_{\tilde{y}}S_y}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (\tilde{y}_t - y_t)^2} = \omega^M + \omega^S + \omega^l = 1, \quad (23)$$

Данные показатели характеризуют:

ω^M – показатель, характеризующий наличие ошибки в оценке центральной тенденции, т.е. если доля больше нуля, то это означает, что среднее арифметическое прогноза отличается от среднего арифметического фактических данных;

ω^S – показатель, отражающий степень совпадения стандартных отклонений прогнозного и фактического значения временного ряда;

ω^l – показатель, характеризующий тесноту связи между прогнозным и фактическим временными рядами.

Необходимо отметить, что о качестве выбранной прогнозной модели можно судить лишь по совокупности различных методов оценки точности прогнозирования, основанных на разных подходах к определению отклонений прогнозных и фактических значений, так как учет только одной характеристики точности не может дать полной картины о точности данной модели.

К качественным показателям также можно отнести экспертные оценки, достаточно часто используемые в социально-экономическом прогнозировании в качестве меры оценки достоверности полученного прогноза исследуемого процесса. В данном случае за предполагаемые фактические значения исследуемого процесса берутся оценки, полученные экспертами, после чего прогноз сравнивается с такими оценками и дается вывод о реальности сделанного прогноза.

Некоторой «подстраховкой» от ошибки прогнозирования является установление доверительной области (доверительные интервалы),

определяемой из значения вероятности того, что прогнозное значение действительно совпадет с фактическим значением. Попадание фактического значения в указанные доверительные интервалы для прогноза говорит о *достоверности прогноза*. Границы доверительных интервалов определяются как (24):

$$\tilde{y}_l - t_a \sigma < \tilde{y}_l < \tilde{y}_l + t_a \sigma, \quad (24)$$

где t_a – критерий Стьюдента, определяющийся в зависимости от размера выборки и заданной вероятности того, что прогноз совпадет с фактическими данными; σ – среднеквадратическое отклонение, исчисляемое по формуле (25):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2}{n}}. \quad (25)$$

Описанные выше методы оценки качества и точности прогнозирования достаточно часто используются на практике. Но данные методы являются только оценочной характеристикой прогноза и сами по себе не могут влиять на повышение точности прогнозирования, хотя с их помощью можно определить необходимость корректировки прогнозной модели. Следует отметить, также, что большинство методов оценки качества прогнозирования по своей сути не оценивают результаты прогнозирования как таковые, а направлены на оценку метода, которым был получен результат. Кроме того, и сама оценка метода прогнозирования делается на основе качества используемой информации.

Дальнейшее повышение точности прогнозирования в первую очередь связано с использованием нескольких индивидуальных моделей прогнозирования [81]. В связи с этим можно определить два независимых подхода:

- 1) последовательное прогнозирование;

2) параллельное прогнозирование.

Последовательное прогнозирование предполагает, что у одного и того же временного ряда может повторяться динамика в разные промежутки времени. Поэтому необходимо разбить исследуемый временной ряд на несколько отрезков по времени, провести построение конкретной модели прогнозирования для конкретного отрезка временного ряда и предопределить, какой моделью стоит прогнозировать будущую динамику исследуемого процесса.

Таблица 2 – Возможные пути повышения точности прогнозирования

Повышение точности прогнозирования				
Последовательный подход		Параллельный подход		
С использованием нескольких моделей прогнозирования	С использованием одной и той же модели прогнозирования	Выбор из множества прогнозов	Объединение прогнозов в один прогноз	
			С использованием статистических методов	С привлечением экспертной информации

Источник: составлено автором.

В научной литературе отмечаются некоторые успехи по данному направлению [110], но последовательный подход при прогнозировании не является универсальным и имеет достаточно существенные недостатки. Последовательное прогнозирование будет эффективным методом в случае прогнозирования циклически повторяющихся экономических явлений.

К последовательному прогнозированию также можно отнести рекурсивные методы прогнозирования, например, кусочно-линейную регрессию [95]. При данном подходе прогнозирование исследуемого процесса проводится по одной и той же модели, но с разными параметрами.

Недостатком последовательного прогнозирования (с использованием как разных моделей прогнозирования, так и одной и той же модели) прежде всего

является то, что в нем нет четкого понимания разбивки исследуемого процесса на группы и определения того, как выяснить к какой группе следует отнести текущую динамику исследуемого временного ряда, хотя для решения этой проблемы и есть реальные предложения [10]. Кроме того, не всегда временной ряд вообще можно разбить на группы. В качестве отдельного подхода с использованием одной и той же модели прогнозирования можно выделить предложение по корректировке полученных прогнозных результатов на ошибку прогнозирования. Данный метод повышения точности прогнозирования подробно описан в работе М.Ю. Турунцевой [83]. Суть метода заключается в том, что полученное прогнозное значение на период $T+1$ будет рассчитываться как сумма самого прогноза и ошибки прогнозирования на предыдущем шаге T или же средней ошибки на нескольких предыдущих шагах прогнозирования (как и на ретропрогнозе).

Параллельное прогнозирование также можно разделить на два типа. Сегодня на практике наиболее часто встречается селективный подход. Он заключается в построении нескольких прогнозных моделей по разным методам прогнозирования. Таким образом формируется база из различных прогнозных моделей по исследуемому временному ряду. При этом построенная модель будет ретропрогнозной. После этого исследователь по нескольким определенным им же критериям выбирает наиболее подходящую модель, которая, по его мнению, будет более качественной и точной. В дальнейшем по выбранной модели проводится непосредственно само прогнозирование будущей динамики исследуемого временного ряда.

Вторым типом параллельного прогнозирования является объединение прогнозов. В этом случае исследователь не делает выбора между несколькими построенными прогнозными моделями, а выстраивает единый взвешанный прогноз, включающий все рассматриваемые прогнозные модели, после чего рассчитывает прогноз динамики исследуемого временного ряда на основе уже объединенной модели прогнозирования. В этом случае частные прогнозы

объединяются с помощью взвешенного среднего. Каждому такому прогнозу соответствует собственный весовой коэффициент, методика объединения прогнозов сводится к методикам построения оптимальных весовых коэффициентов.

Сегодня на практике все чаще можно встретить объединение прогнозов, особенно при исследовании экономических процессов. Этой тематике посвящено множество работ, в частности, работы И. Уоллиса [137], Дж. С. Армстронга [99], А. Тиммермана [134] и Дж. Х. Стока и М. В. Уотсона [131]. основополагающими же данного направления считаются работы Дж. М. Бейтса и К. Грейнджера [100], а также П. Ньюболда и К. Гренджера [126]. Первое же упоминание о том, что среднее арифметическое нескольких частных методов прогнозирования имеет меньший средний квадрат ошибки, чем отдельные частные методы было в работе Г. Барнарда [100] в 1963 г.

Объединение прогнозов – удобный способ решения проблемы выбора конкретного метода прогнозирования, особенно когда исследователь не может отдать предпочтение тому или иному используемому при прогнозировании методу. Кроме того, объединение прогнозов может дополнительно улучшить точность и качество используемых индивидуальных методов прогнозирования [127].

Основная проблема при селективном подходе состоит в выборе модели прогнозирования по ее эффективности. Достаточно часто исследователь не может сделать однозначный выбор между несколькими прогнозными моделями. Это обусловлено тем, что на исследуемый процесс может оказывать влияние различный набор факторов (как внутренних, так и внешних), которые могут быть определены и учтены в одной модели и пропущены в другой. На настоящий момент нет однозначной модели прогнозирования, которая могла бы учесть все факторы, оказывающие влияние на тот или иной исследуемый процесс.

Кроме того, модели прогнозирования различаются между собой по формам связи между переменными, включенными в ту или иную модель прогнозирования. В.А. Половников в своей работе «Анализ и прогнозирование транспортной работы морского флота» предлагает при прогнозировании экономических явлений применять принцип дополнительности, взятый из квантовой физики, а именно: при построении модели прогнозирования, например, с помощью моделей «кривых роста» используется предположение об инерции динамики экономического явления, а при построении с помощью многофакторной модели – предположение об инерции взаимосвязей между показателями. Оба предположения основываются на разных предпосылках, которые при рассмотрении совместно дополняющих друг друга [27].

Как правило, исследователь оставляет для дальнейшего прогнозирования ту модель, которая была наиболее точной по выбранным критериям. Однако на практике в большинстве случаев используемые модели прогнозирования имеют достаточно схожие статистические свойства, в этом случае исследователь полагается только на собственный опыт и знания. Объединение прогнозов позволяет избежать проблемы выбора, а вместе с ней и проблемы ошибки при выборе менее точной модели прогнозирования. В 1969 г. К. Грейнджер установил, что объединение прогнозов использует всю доступную информацию об исследуемом процессе, которая находится в частных методах прогнозирования, включающихся в объединение. Кроме того, объединение прогнозов учитывает и связи между переменными, используемых в частных методах прогнозирования. При этом методика объединения прогнозов не требует дополнительных сложных вычислений и не выстраивает сложную структурную модель прогнозирования с подключением большого числа параметров и переменных.

Еще одно преимущество объединения прогнозов – более гибкая реакция на структурные сдвиги. Индивидуальные методы прогнозирования могут с достаточно большим лагом среагировать на резкие изменения временного ряда.

Объединение прогнозов позволяет учесть всю имеющуюся информацию об исследуемом процессе и быстрее реагировать на изменения. Это тем более важно с точки зрения использования объединения прогнозов при стратегическом планировании и прогнозировании в России в условиях неопределенности будущих процессов и быстро меняющейся конъюнктуры.

Помимо названного, объединение прогнозов позволяет избегать аномальных значений в исследуемом явлении через использование усечения при построении весовых коэффициентов объединенного прогноза. Это так важным при экономическом прогнозировании, когда на тот или иной процесс могут влиять внешние краткосрочные факторы [86].

Недостатком методики объединения прогнозов можно назвать необходимость использования частных методов прогнозирования, которые базируются на максимально разной информации. Чем сильнее различаются модели прогнозирования, которые применяются в объединении, и чем больше различной информации они используют, тем точнее будет их объединение в единый прогноз. Но данный недостаток не влияет в целом на улучшение точности прогнозирования, более того, есть методики, позволяющие определить наилучшее сочетание частных методов прогнозирования [133]. Этот недостаток можно и обойти за счет использования более чем двух частных методов прогнозирования и тем самым повысить точность объединения.

К сожалению, в России в научной и практической работе объединение прогнозов практически не применяется. Имеется ряд исследований, которые направлены на улучшение методики объединения прогнозов [52, 56, 89] или же на исследование практического его применения. В то же время за рубежом объединение прогнозов широко обсуждается и используется в научных исследованиях и при решении большого круга практических задач [102, 125].

ИТОГИ ПЕРВОЙ ГЛАВЫ

Стратегическое планирование является наиболее оптимальным подходом в государственном планировании для России. На сегодняшний день предприняты попытки по внедрению стратегического планирования на государственном уровне, но, к сожалению, этого оказалось недостаточно. Есть ряд проблем, связанных с внедрением планирования в стране, в том числе в подготовке и реализации государственных планов и программ. Действующее законодательство позволяет создать необходимый инструментарий для последовательного составления стратегических планов развития экономики страны, но формальность в реализации необходимых документов и размытость существующих программ не позволяет в полной мере реализовать на практике стратегическое планирование и прогнозирование.

Прогнозирование как неотъемлемая часть стратегического плана также требует дальнейшего развития, в том числе в повышении своей точности. Существующие подходы по оценке качества прогнозирования имеют описательный характер и не дают возможности повысить точность прогнозирования. Объединение прогнозов может стать альтернативным способом в повышении точности прогнозирования.

Отмеченные преимущества объединения прогнозов делают этот метод особенно эффективным для социально-экономического планирования и прогнозирования, поскольку он позволяет учесть специфику проблем, стоящих перед стратегическим планированием.

На сегодняшний день в отечественной литературе очень мало уделяется внимания использованию объединения прогнозов в экономическом прогнозировании, в связи с чем описание существующих методик построения весов, рассмотрение основных проблем при объединении и описание методики для ее последующего использования на практике является актуальной темой для диссертационного исследования.

ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СТАТИСТИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

2.1 Современные методы прогнозирования экономических показателей

В условиях постоянно меняющейся политической и социально-экономической ситуации как в стране, так и в мире, основными методами прогнозирования экономических показателей являются методы, которые используют наиболее свежую информацию об исследуемых процессах, что позволяет снизить отклонение прогнозных значений от фактических. Социально-экономические процессы непрерывно меняются и адаптируются под происходящие изменения. Соответственно и модели прогнозирования, используемые для построения прогнозов экономических показателей, также должны адаптироваться к изменениям описываемых процессов.

В основном при прогнозировании экономических процессов используют адаптивные методы, которые являются удобным и гибким статистическим инструментарием для прогнозирования макроэкономических показателей [90]. Они позволяют без больших затрат времени и средств получать прогнозы, которые будут подстраиваться под изменения процессов прогнозирования. Но адаптивные методы улавливают только общую тенденцию развития процесса и могут иметь низкую точность прогнозирования. Кроме того, эти методы хорошо подходят для дальнейшего объединения полученных результатов в общий прогноз для целей повышения точности прогнозирования.

При адаптивном прогнозировании используется гипотеза о том, что сформировавшаяся тенденция исследуемого экономического явления не изменится и в будущем. Это позволяет предсказывать и учитывать общую тенденцию развития экономического явления при прогнозировании.

Адаптивные методы способны оперативно реагировать на изменения в исследуемом процессе, что дает возможность выстраивать более точные прогнозы по сравнению с другими методами прогнозирования, используемых в экономике.

Целью адаптивных методов прогнозирования является построение саморегулируемых моделей, которые могут учитывать условия, изменяющиеся во времени, правильно использовать информацию, заключающуюся в различных членах временной последовательности, в частности в поздних значениях построенного временного ряда, и использовать тенденцию, заложенную в последних значениях данной временной последовательности. В связи с этим адаптивные модели прогнозирования хорошо подходят для краткосрочного прогнозирования [33, 31, 39].

Насколько быстро адаптационная модель сможет среагировать на изменения в динамике рассматриваемого процесса зависит от параметра адаптации модели. Такой параметр может быть определен эмпирически на основе используемых данных или аналитически рассчитан, быть предложен экспертным путем или же определен методом проб и ошибок на основе расчетных результатов. Параметр адаптации должен быть определен так, чтобы модель могла адекватно отражать тенденцию развития исследуемого процесса и при этом не допускать отклонений от случайных колебаний временного ряда. Что определяет его оптимальность для используемой модели прогнозирования. В качестве основного критерия оптимальности для параметра адаптации чаще всего выбирают минимальную среднеквадратическую ошибку прогноза, т.е. если среднеквадратическая ошибка полученного прогноза минимальна, выбранный параметр адаптации оптимально подходит для выбранной модели прогнозирования и обеспечивает реальное отображение изменений в динамике исследуемого экономического процесса.

Наиболее простой метод адаптивного прогнозирования – метод скользящей средней, параметром адаптации которого является количество прошлых значений исследуемого процесса, используемых для усреднения.

Метод скользящего среднего является хорошей моделью прогнозирования для процессов, динамика которых не подвержена сильным колебаниям. В этом случае скользящее среднее успевает фиксировать возможные изменения в динамике исследуемого временного ряда. В случае же сильных колебаний, данный метод будет искажать результаты как в точках колебания так и в последующих после этого точках, поскольку будет учитывать данные колебания при усреднении, что ухудшает точность полученных прогнозных результатов для временных рядов с колеблющейся динамикой.

Кроме того, параметры моделей сглаживания являются постоянными в течение всего рассматриваемого ретропрогнозного периода, что также не позволяет вовремя фиксировать изменения в динамике ряда, хотя на практике экономические процессы достаточно часто меняют свою тенденцию. Причем такие изменения могут быть достаточно резкими, и модели сглаживания не смогут быстро подстроиться под новую тенденцию процесса. Отставание в учете изменений скажется на дальнейшей точности используемого метода и потребует вмешательства исследователя в модель с целью корректировки параметров. Но такая корректировка уже будет на поздних этапах прогнозирования, что существенно ухудшает точность методов.

В связи с этим на практике достаточно часто используют весьма эффективный метод адаптивного прогнозирования – экспоненциальное сглаживание, предложенное Р. Брауном [37]. Модификации этого метода привели к появлению целого ряда различных адаптивных моделей.

Основным достоинством метода экспоненциального сглаживания является то, что метод взвешивает исходный ряд, описывающий экономический процесс и придает бóльший вес последним значениям. Это дает возможность

построения прогнозной модели не на основе среднего уровня процесса, а на тенденции, сложившейся в последние наблюдения экономического процесса.

Общая модель экспоненциального сглаживания представлена в виде (26):

$$S_t^{[k]}(y) = \alpha S_t^{[k-1]}(y) + (1 - \alpha) S_{t-1}^{[k]}(y), \quad (26)$$

где α – параметр сглаживания ($0 < \alpha < 1$);

k – порядок сглаживания.

Данная форма является рекуррентной и в качестве начального значения S_0 обычно берется первое значение или же среднее значение из нескольких первых значений временного ряда.

Сущность метода экспоненциального сглаживания состоит в том, что временной ряд сглаживается с помощью метода взвешенной скользящей средней, в которой веса подчиняются экспоненциальному закону. Такая средняя может служить для оценки и текущей коррекции математического ожидания процесса. Взвешенная скользящая средняя с экспоненциально распределенными весами характеризует значение процесса на конце интервала сглаживания, являясь средней характеристикой последних уровней временного ряда. Именно это свойство используется при прогнозировании. Исходя из существующей инерции экономических процессов, вследствие чего процесс в прогнозируемом периоде протекает примерно в тех же условиях, что и в анализируемом периоде, такая взвешенная скользящая средняя может быть действенным инструментом для разработки прогнозов [37].

При построении прогнозных моделей с помощью метода экспоненциального сглаживания главной проблемой является выбор оптимального параметра сглаживания α . На основании данного параметра будет происходить адаптация метода к изменению временного ряда, описывающего экономический процесс. Очевидно, что при различных значениях α модель прогнозирования будет давать различные результаты, что

скажется на ее точности. Чем ближе α к единице, тем меньше последних значений временного ряда учитывается при экспоненциальном сглаживании, и наоборот, чем ближе α к нулю, тем в большей степени будут учитываться прошлые значения ряда.

Основное направление в улучшении точности как модели экспоненциального сглаживания, так и в принципе некоторых других адаптационных моделей прогнозирования, является построение контрольного сигнала (индикатора), который оповещал бы исследователя о значительных отклонениях при адаптации модели к изменениям экономического процесса. При построении такого индикатора необходимо учитывать практическое противоречие, с одной стороны, искомый индикатор должен быть достаточно чувствительным к изменениям в тенденции исследуемого процесса, а с другой — он не должен реагировать на случайные колебания, которые отрицательно сказываются на точности прогнозирования. Р. Браун предложил в качестве такого сигнала использовать следящий контрольный сигнал (трекинг-сигнал) [40]. Его значение определяется как отношение сумм ошибок прогнозирования и их сглаженного абсолютного значения (27):

$$TR_t = \frac{\sum_{t=1}^T \varepsilon_t}{|\varepsilon_t|_{\text{сгл}}}, \quad (27)$$

где ε_t - значение ошибки прогноза;

$|\varepsilon_t|_{\text{сгл}}$ – абсолютное значение ошибки прогноза, сглаженное методом экспоненциального сглаживания с параметром γ и вычисляется по следующей формуле (28):

$$|\varepsilon_t|_{\text{сгл}} = \gamma|\varepsilon_t| + (1 - \gamma)|\varepsilon_{t-1}|_{\text{сгл}}. \quad (28)$$

Трекинг-сигнал, являясь мерой неадекватности прогнозной модели, позволяет адаптировать систему прогнозирования к изменениям временного ряда, описывающего исследуемый процесс и в принципе решает проблему выбора параметра сглаживания.

Смысл трекинг-сигнала состоит в постоянной проверке близости взвешенной ошибки прогноза к нулю. Если эта ошибка выйдет за заранее определенные интервалы, то это будет сигналом к тому, чтобы пересмотреть параметр экспоненциального сглаживания α .

У следящего контрольного сигнала Брауна есть два недостатка. Первый недостаток связан с тем, что в случае, когда контрольный сигнал на каком-то этапе вычислений вышел за ранее установленные пределы, он может не вернуться обратно в эти же пределы, даже если рассматриваемый экономический процесс вновь будет развиваться по прежней тенденции. Это требует вмешательства исследователя в прогнозную модель. Вторым недостатком состоит в том, что возможна ситуация, когда контрольный сигнал вышел за пределы, а прогнозная модель начала давать более точные результаты. Из-за этого может сложиться ситуация, при которой контрольный сигнал может устремиться в бесконечность [20]. Исправить указанные недостатки позволили модификации контрольного сигнала Д. Тригга [136]. Вместо суммы ошибок он использует сглаженную ошибку прогнозирования (29, 30):

$$TR_t = \frac{(\varepsilon_t)_{\text{сгл}}}{|\varepsilon_t|_{\text{сгл}}}, \quad (29)$$

$$(\varepsilon_t)_{\text{сгл}} = \gamma\varepsilon_t + (1 - \gamma)(\varepsilon_{t-1})_{\text{сгл}}. \quad (30)$$

Э. Хелвиг показал, что если нет достаточной априорной информации о закономерностях изменения изучаемого экономического процесса, то простая экстраполяция по тренду может привести к существенным ошибкам прогнозирования [116]. Он предложил экстраполяцию по скользящему тренду

(а не по скользящей средней), при этом отдельные точки ломаной линии взвешиваются с помощью гармонических весов.

Сначала проводится расчет некоторых приближенных функций $y_i(t)$, параметры которой рассчитываются методом наименьших квадратов (31):

$$y_i(t) = a_i + b_i t, i = 1, 2, \dots, n - k + 1 \quad (31)$$

где n – длина временного ряда;

k – число точек, по которым проводится экстраполяция исходного временного ряда.

При этом (32):

$$\begin{aligned} &\text{для } i=1, t=1, 2, \dots, k; \\ &\text{для } i=2, t=1, 2, 3, \dots, k+1; \end{aligned} \quad (32)$$

...

$$\text{для } i=n-k+1, t=n-k+1, n-k+2, \dots, n.$$

Эти приближенные функции являются отдельными фазами движения скользящего тренда, который экстраполирует исходный временной ряд.

Далее рассчитываются приросты средних значений функции (33):

$$w_{t+1} = \overline{y_i(t+1)} - \overline{y_i(t)}, \quad (33)$$

причем

$$\overline{y_i(t)} = \frac{1}{g_i} \sum_{i=1}^{g_i} y_i(t), \quad (34)$$

где g_i – число функций $y_i(t)$, в которых $t=i$.

Для подсчета g_i необходимо рассчитать значение каждой функции $y_i(t)$ в точках $t=i+h-1, h=1, 2, \dots, k$.

Затем вычисляется средневзвешенное приростов (35):

$$\bar{w} = \sum_{t=1}^{n-1} c_{t+1}^n w_{t+1}, \quad (35)$$

где c_{t+1}^n – гармонические коэффициенты, удовлетворяющие следующим условиям (36, 37):

$$c_{t+1}^n > 0, \quad (36)$$

$$\sum_{t=1}^{n-1} c_{t+1}^n = 1. \quad (37)$$

Эти гармонические коэффициенты можно вычислить следующим образом (38):

$$c_{t+1}^n = \frac{m_{t+1}}{(n-1)}, \quad (38)$$

Где m_{t+1} – гармонические веса, таблица которых для $t = 1, \dots, 20$, были составлены Хельвигом и рассчитываются как (39):

$$m_{t+1} = m_t + \frac{1}{n-t}, t = 2, 3, \dots, (n-1). \quad (39)$$

Последующее прогнозирование производится согласно (40):

$$y(t+1) = y(t) + w_{t+1}. \quad (40)$$

Метод гармонических весов достаточно редко используется на практике, но его применение доказывает эффективность метода в точности прогнозирования. Данный метод является самокорректирующимся методом на основе последних фактических данных исследуемого процесса.

При прогнозировании адаптивными методами следует учитывать, что прогноз будет получен на основе только временного ряда. В связи с этим для проверки корректности построенной модели прогнозирования необходима проверка автокорреляционной функции временного ряда, полученного на основе используемой модели прогнозирования. Автокорреляционная функция должна уменьшаться с ростом сдвига.

У адаптивных методов прогнозирования есть ряд недостатков, которые связаны со временем выявления изменений в исследуемом процессе. Так, изменения должны быть достаточно продолжительными, чтобы адаптационная модель могла их уловить и при этом сами изменения в построенной модели будут происходить с запаздыванием. Кроме того, адаптационные методы прогнозирования не смогут уловить изменения, происходящие слишком резко, без тенденции.

Дальнейшее повышение точности прогнозирования связывают с использованием класса прогнозных моделей, основанных на одновременном исследовании всех компонентов временного ряда, описывающего исследуемый экономический процесс. В их основе лежит идея Г. Волда построения модели с использованием авторегрессии и скользящего среднего (AutoRegressive Integrated Moving Average, ARMA), объединяющей авторегрессию, скользящее среднее, тренд и сезонные колебания в единое целое [140]. Модель ARMA имеет четкое математико-статистическое обоснование, что позволяет разработать эффективную методику расчетов [5]. До недавнего времени модели авторегрессии-скользящего среднего считались самыми точными моделями прогнозирования. При этом у них есть и ряд недостатков. При всей своей формализации эти модели требуют больше временных затрат и опыта

прогнозирования. Кроме того, для использования моделей ARMA необходимо, чтобы временной ряд, описывающий рассматриваемый процесс, состоял из достаточно большого количества наблюдений, что на практике не всегда можно получить.

Модель ARMA относится к группе адаптивных методов прогнозирования, но ее параметры с течением времени остаются неизменными. Это в конечном счете приводит к тому, что модель быстро устаревает и приходится проводить полный пересчет ее коэффициентов. Затем осуществляется последующая адаптация модели к изменениям экономического процесса. Для повышения точности прогнозирования и адаптации для моделей ARMA используют метод адаптивной фильтрации.

Метод адаптивной фильтрации можно применять и как отдельный адаптивный метод прогнозирования. Однако целесообразнее его использовать в качестве составной части другого метода прогнозирования с целью повышения точности первоначального прогноза. Кроме того, метод адаптивной фильтрации имеет много нерешенных проблем, таких как выбор параметров обучения, определение начальных условий, стационарность исходных данных.

Недостатком ARMA является то, что для ее использования необходимы стационарные временные ряды. Под стационарностью временного ряда понимается ряд, вероятностные свойства которого не будут изменяться во времени. Некоторые нестационарные временные ряды можно привести к стационарным, используя оператор последовательной разности. В таком случае модель ARMA будет называться интегрированным процессом авторегрессии и скользящего среднего, или ARIMA.

Общий вид ARIMA(p,d,q) (41):

$$\Delta^d y_t = \sum_{i=1}^p \varphi_i(\Delta^d y_{t-1}) + \sum_{j=1}^q \theta_j(\Delta^d \varepsilon_{t-j}) + \varepsilon_t \quad (41)$$

где p – порядок авторегрессионной части модели;

q – порядок части скользящего среднего;

d – порядок интегрирования (последовательной разности);

Δ – последовательная разность ($\Delta y_t = y_{t-1} - y_t$);

φ_i – коэффициенты авторегрессионной модели;

θ_j – коэффициенты модели скользящего среднего;

ε_{t-j} – значения остатков j -го периода назад;

ε_t – случайная компонента, описывающая влияние неучтенных переменных.

К моделям типа ARMA также относится и модель SARIMA, используемая в случае, если в исходном временном ряде присутствует сезонность.

Модель ARIMA является более гибкой, чем простая ARMA, и достаточно точным методом краткосрочного прогнозирования. Кроме того, для корректировки модели надо только проверить ее на адекватность. Однако, как уже отмечалось, для моделей типа ARIMA необходимо большое количество исходных данных. В этих моделях также нет простого способа корректировки параметров модели, в большинстве случаев эти параметры устанавливаются или на основе экспертного опыта прогнозиста или же путем сравнения результатов нескольких моделей с различными параметрами по значениям информационных критериев Акаике [97] или Шварца [129]. При сравнении по информационным критериям предпочтение отдается моделям, у которых эти критерии будут меньше, чем у остальных. Кроме того, существенным недостатком рассматриваемых моделей является то, что их нельзя использовать в случае, если во временном ряде исследуемого процесса присутствует гетероскедастичность – непостоянство дисперсии временного ряда.

Кроме моделей с одним уравнением, в прогнозировании используются и модели нескольких уравнений, описывающие не только одностороннюю связь (объясняющая переменная влияет на объясняемую), но и обратную. Система

однородных уравнений (СОУ) описывает взаимосвязь нескольких объясняющих переменных между собой и их связь с другими переменными. Они также используются в экономическом прогнозировании при исследовании нескольких экономических процессов.

СОУ широко используются для расчетов анализа развития системы и в прогнозировании. Такие системы позволяют выстраивать многовариантные прогнозы с оценкой того, как поведет себя та или иная переменная в различных условиях, которые оказывают на нее влияние. Для получения решения по СОУ необходимо оценить ковариационную матрицу ошибок прогнозных значений, что на практике является достаточно сложной задачей [2].

Чтобы избежать подобных проблем с вычислением, в последнее время наиболее часто для прогнозирования экономических процессов используется модель векторной авторегрессии (VAR), впервые предложенную Симсом в 1980 г. [130]. VAR-модель является относительно простым и эффективным способом прогнозирования. Она представляет собой динамическую линейную форму, в которую включены возможные взаимосвязи переменной с другими переменными модели. Такие модели применяются в случае прогнозирования взаимосвязанных временных рядов. Основная идея этого метода прогнозирования – выявить связи каждой переменной в модели с лаговыми значениями других переменных в той же модели. VAR-модели отличаются высокой точностью в прогнозировании и не требуют знания структурных форм модели или о том, какие переменные оказывают влияние на исследуемую переменную. Для определения модели достаточно оценки элементов модели на основе метода наименьших квадратов (МНК), но каждая модель будет оценкой только для одной из исследуемых переменных. В отличие от системы однородных уравнений модели векторной авторегрессии имеют меньшее число параметров и накладывают на них менее строгие ограничения и вообще не предполагают оценок ковариационной матрицы.

Но VAR-модели имеют и свои недостатки. В ряде случаев при построении модели трудно содержательно интерпретировать оценки параметров. При этом очень часто при построении VAR-моделей происходит перепараметризация, при которой необходимо оценивать большое количество параметров, что затрудняет широкое использование моделей на практике. Но тем не менее модели VAR в современных научных исследованиях применяются все чаще.

Адаптивные модели временных рядов в большинстве случаев значительно проще, чем регрессионные модели. Однако, при всей простоте они могут давать более надежные и точные результаты, чем регрессионные модели прогнозирования. Регрессионная модель при истинно меняющихся условиях будет экстраполировать в будущее существующие зависимости и связи, адаптивная же модель будет перманентно приспосабливаться и учитывать эти изменения в будущем.

Хотя адаптивное прогнозирование является оптимальным способом построения прогнозов для изменяющихся со временем экономических процессов, данные методы остаются далеко неточными с точки зрения прогнозов. Они хорошо себя зарекомендовали для построения краткосрочных прогнозов, но их точность падает с увеличением периода прогнозирования. Кроме того, как было замечено ранее в настоящем исследовании, адаптивные методы прогнозирования плохо реагируют на поворотные точки, когда экономический процесс достаточно быстро меняется со временем. В таких случаях адаптивные методы очень долго адаптируются к изменениям и имеют задержку относительно реальных данных.

Кроме привычных адаптивных моделей, в прогнозировании сегодня также активно развивается направление применения методологии искусственных нейронных сетей (Artificial neural networks, ANN) [21]. Практически наблюдается взрыв применения нейронных сетей в различных областях деятельности, в том числе и в прогнозировании [74].

Интерес к нейронным сетям обусловлен двумя факторами: интуитивная понятность и обоснованность методологии, так как нейронные сети основаны на математической интерпретации работы головного мозга человека. Но главной особенностью нейронных сетей является их адаптивность и обучаемость в ходе своей работы. Считается, что применение нейронных сетей не требует особых навыков от исследователя, система сама автоматически воспринимает структуру данных, используемая при прогнозировании [29]. Нейронные сети зарекомендовали себя при определении моделей поведения и выявлении трендов в данных.

Следует отметить, что на практике нейронные сети применяются в основном при прогнозировании в финансовой сфере, которое требует определенных навыков. Но оно уступает по своей простоте математическим методам адаптивного прогнозирования. Для использования методики нейронных сетей в полном объеме и достижения приемлемых результатов необходим опыт в программировании и понимание самой методологии применения нейронных сетей. Сегодня, по сути, нет стандартных методов применения нейронных сетей, каждая задача прогнозирования для данного метода представляет собой задачу «с нуля». Причем сама методология использования нейронных сетей сегодня является динамически изменяющейся, что вызывает постоянное изменение и самих методик, применяемых при прогнозировании на основе нейронных сетей. Все это предопределяет выбор в сторону адаптивных математических методов прогнозирования.

Хотя во многих случаях применение нейронных сетей в прогнозировании и дает хорошие результаты, но такие результаты достигаются не всегда. Часто применение нейронных сетей может привести или к тупиковому результату, или к сложной интерпретации полученных результатов, невозможности понять структуру полученной модели. С точки зрения затрат времени построения и необходимости соответствующих знаний по применению моделей нейронные

сети остаются неэффективным инструментом прогнозирования и требуют дальнейшей разработки и изучения.

Таким образом, в экономическом прогнозировании сегодня используются различные методы: от простого экспоненциального сглаживания до применения искусственных нейронных сетей. Преимущество в основном отдается адаптивным методам прогнозирования как методам, которые достаточно хорошо меняются во времени и могут приспосабливаться к изменениям изучаемых экономических процессов. Но для любого метода прогнозирования важным является вопрос оценки точности прогнозов и возможности ее повышения. Сами методы прогнозирования могут повышать свою точность только на основе пересмотра и корректировки модели прогнозирования, что не всегда удобно и возможно.

Дальнейшее повышение точности прогнозирования связано с двумя подходами – последовательное прогнозирование с применением нескольких методов на разных отрезках одного и того же временного ряда и объединение прогнозов (параллельное прогнозирование) с применением нескольких методов прогнозирования с последующим их объединением в один прогноз. С точки зрения эффективности объединение прогнозов показало, что данная методика может быть одной из самых эффективных способов повышения точности прогнозирования.

2.2 Объединение прогнозов как эффективный способ повышения точности прогнозирования

В ходе экономического прогнозирования перед исследователем постоянно встает вопрос о повышении точности прогноза. При этом необходимое повышение точности должно проходить еще на стадии построения прогноза. Оценки точности прогнозирования и корректировка модели при сравнении прогнозных результатов с реальными данными не

являются методами повышения точности прогнозирования, а как бы подгоняют модель под реальные изменения исследуемого процесса.

Как отмечалось ранее, сегодня существует два пути повышения точности прогнозирования: исследователю необходимо или использовать последовательно несколько методов прогнозирования (разбивая исследуемый процесс на отдельные промежутки времени) или же использовать параллельное прогнозирование отдельными методами с последующим их объединением в общий прогноз – объединение прогнозов.

Первый способ повышения точности прогнозирования связан с большими затратами по времени и требует значительного опыта в последовательном использовании нескольких методов прогнозирования. Объединение же прогнозов в этом сравнении оказывается более эффективным способом повышения точности прогнозирования, так как не требует на это много усилий и времени. Этот подход хорошо себя зарекомендовал на практике, он может использоваться для объединения достаточно простых частных методов прогнозирования. При этом, к сожалению, в России методика объединения прогнозов почти не используется на практике, поскольку не получила должного распространения описание методов объединения прогнозов, а простое усреднение нескольких индивидуальных методов прогнозирования не считается достаточным методом повышения его точности.

При объединении (комбинировании) прогнозов определяются индивидуальные (отдельные) методы прогнозирования по любым выбранным моделям, после чего все полученные прогнозы, по определенным ранее индивидуальным методам прогнозирования, объединяются в единый прогноз. В связи с тем, что разные частные модели прогнозирования используют только часть информации, необходимой при собственном моделировании, логично использовать общий прогноз – средневзвешенное значение частных прогнозных моделей.

Наиболее распространенной формой для записи объединенного прогноза является линейная форма (42):

$$F = \sum_{i=1}^n f_i w_i, \quad (42)$$

где F – объединенный прогноз,

f_i – i -й индивидуальный прогноз,

w_i – весовой коэффициент, с которым i -й индивидуальный прогноз включается в объединенный прогноз.

Кроме линейной, формы для объединения прогнозов также предлагаются и другие формы объединения, но на практике они встречаются довольно редко.

Методика применения объединения прогнозов сталкивается с такими проблемами, как коррелированность частных методов прогнозирования между собой, наличие априорной информации об изменениях в исследуемом процессе, вопрос оптимальной длины временного ряда для прогнозирования, исключение аномальных явлений в частных методах прогнозирования. Правильный подбор метода построения весовых коэффициентов при объединении прогнозов позволяет добиться более точного результата, недостижимого при применении только частных методов прогнозирования.

Определение весовых коэффициентов является основной задачей при построении объединенного прогноза. Данные коэффициенты устанавливают долю и значимость индивидуальных методов прогнозирования, которые войдут в итоговое объединение прогнозов. От того, какие методы построения весовых коэффициентов будут использованы, зависит степень повышения точности прогнозирования [86].

Обычно на сами весовые коэффициенты накладываются два ограничения. Первое ограничение определяет сумму всех коэффициентов в общем прогнозе, равной единице. Это ограничение связано с тем, что общая сумма вкладов всех частных прогнозов не может превышать единицу, а сами весовые

коэффициенты определяются как доля того или иного частного прогноза в объединении. Вторым ограничением является неотрицательность весовых коэффициентов, так как на практике достаточно часто встречаются ситуации, при которых весовые коэффициенты имеют отрицательные значения. Это условие выдвигается по причине того, что доля информации, содержащейся в индивидуальном методе прогнозирования, не может быть отрицательной и вклад индивидуального прогноза в объединение также не может быть отрицательным.

В общем виде форму объединения прогнозов можно представить следующим образом (43):

$$\begin{aligned}
 F &= \sum_{i=1}^n w_i x_i, \\
 \sum_{i=1}^n w_i &= 1, \\
 w_i &> 0, i = 1, \dots, n.
 \end{aligned}
 \tag{43}$$

Существует и третье ограничение, а точнее рекомендация. Некоторые методы объединения прогнозов предполагают наличие постоянного коэффициента в объединении. Однако на практике не было доказано, что использование постоянного коэффициента в объединении прогнозов может принести повышение точности прогнозирования. Поэтому рекомендуется не использовать постоянные коэффициенты при объединении.

Кроме этого существует ряд общих требований для определения весовых коэффициентов в объединенном прогнозе, выполнение которых способствует повышению эффективного использования метода объединения прогнозов для получения более точных прогнозов. Например, в большинстве методов построения весовых коэффициентов более точным индивидуальным прогнозам стараются придать бóльший вес.

В первой и основополагающей статье по объединению прогнозов Дж. Бейтс и К. Грейнджер в 1969 г. сформулировали основные требования, предъявляемые к выбору весовых коэффициентов, которые необходимо учитывать при применении методики объединения прогнозов:

а) с увеличением числа частных прогнозов в объединении их эффективность должна оставаться неизменной, а весовые коэффициенты должны стремиться к оптимальному значению;

б) в случае наличия в объединении частного метода прогнозирования, который имеет тенденцию к постоянному изменению своей точности, весовые коэффициенты должны быстро приспосабливаться к этим изменениям;

в) независимо от изменения точности прогнозных моделей весовые коэффициенты должны незначительно изменяться относительно своих оптимальных значений.

Под оптимальным значением в данных требованиях понимается значение веса, рассчитываемого как (в случае двух индивидуальных прогнозов) по следующей формуле (44):

$$w = \frac{S_2^2 - rS_1S_2}{S_1^2 + S_2^2 - 2rS_1S_2}, \quad (44)$$

где S_i – дисперсия i -го индивидуального прогноза;

r – коэффициент корреляции между ошибками индивидуальных прогнозов.

К сожалению, в этих требованиях не раскрываются понятие «эффективность прогнозов». Скорее всего, под эффективностью понимается их точность.

Приведенные выше требования предъявляются к весовым коэффициентам, которые рассчитываются на основе ретроспективной информации рассматриваемого экономического процесса. При этом достаточно

много методов объединения прогнозов, которые не адаптируют весовые коэффициенты под изменения исследуемого явления. На такие методы данные требования не могут распространяться. Необходимо отметить, что данные требования выдвигались при объединении двух индивидуальных методов прогнозирования, но они могут быть распространены и на объединение более чем двух индивидуальных методов прогнозирования.

Выбор оптимального метода построения весовых коэффициентов не является единственной проблемой при объединении прогнозов. До сих пор нет четкого понимания, какое количество индивидуальных прогнозов допустимо и необходимо включать в общий прогноз. Любой прогноз содержит ошибку прогнозирования. Чем больше частных методов прогнозирования включается в объединении, тем больше накапливается ошибок – «белого шума».

Зачастую при прогнозировании исследователи не объединяют результаты, полученные по трем-пяти индивидуальным методам прогнозирования, а ограничиваются объединением только двух частных методов прогнозирования. По многим практическим исследованиям показано, что объединение прогнозов, полученное даже по двум или трем индивидуальным методам прогнозирования может существенно повысить точность прогнозирования. В работе С. Макридакиса сделана попытка обоснования на практических результатах нецелесообразности объединения более чем пяти прогнозов, полученных разными методами прогнозирования [123].

До сих пор продолжает обсуждаться вопрос об определении метода построения весовых коэффициентов, так как от выбора метода может зависеть уровень точности полученного объединенного прогноза. Большинство методов построения весовых коэффициентов описаны в работах как отечественных [86, 92], так и зарубежных авторов [105].

При применении различных методов объединения прогнозов на практике установлено, что следующие методы обеспечивают высокую точность прогнозирования:

- методы Грейнджера и Раманатхана [113];
- методы Бейтса и Грейнджера [100];

Далее в исследовании на практических примерах будут показаны преимущества данных методов построения весовых коэффициентов для объединения прогнозов относительно индивидуальных методов прогнозирования и будет произведена оценка их точности.

Метод К. Грейнджера и Р. Раманатхана. Наиболее простым и понятным методом построения весовых коэффициентов является метод наименьших квадратов (МНК), а точнее минимизация ошибки при объединении прогнозов. По данному направлению существует ряд работ как в зарубежной, так и в отечественной литературе [88]. Основная цель этих работ – проверка необходимости наложения дополнительных ограничений при использовании МНК.

Первой и наиболее часто цитируемой работой по данному направлению является статья Грейнджера и Раманатхана (1984), которая описывает подробный алгоритм использования МНК при построении весовых коэффициентов при объединении прогнозов [113]. Авторы данной работы представили три метода построения весовых коэффициентов с различными видами ограничений, которые были описаны в настоящем диссертационном исследовании выше. Первый метод не включает каких-либо ограничений на весовые коэффициенты, а использует только саму методику МНК. Вторым методом уже включает ограничение на сумму весов, сумма весовых коэффициентов должна быть равна единице. В третьем методе, кроме ограничения на сумму весов, также присутствует постоянный коэффициент. При этом следует отметить, что все три метода не учитывают ограничение на неотрицательность весовых коэффициентов и допускают веса больше единицы.

По итогу использования данных методов можно получить постоянные весовые коэффициенты, учитывающие среднюю точность использующихся частных методов прогнозирования в прошлом, которые необходимо пересчитывать на каждом этапе построения прогноза.

В общем случае суть всех трех методов в построении регрессионного уравнения, значениями которого будут значения индивидуальных прогнозов. Веса же при них будут определяться из условий минимизации ошибки такого регрессионного уравнения с помощью МНК. Более подробное описание методов Грейнджера и Раманатхана, и особенно о результатах применения их на практике, содержится в следующей работе [78]. Кроме этого, данные методы подробно описаны в обзорной работе [86]. Для дальнейшего анализа предлагаемых методов объединения прогнозов необходимо рассмотреть основные расчеты, используемых в них.

Первый метод (метод А). Обозначим за $F\alpha$ объединенный прогноз, где α – вектор весовых коэффициентов, с которыми индивидуальные прогнозы входят в объединение, а F – матрица значений данных индивидуальных прогнозов. В таком случае ошибку прогноза можно вычислить с помощью следующего уравнения (45):

$$e = x - F\alpha, \quad (45)$$

где x – вектор фактических значений исследуемого процесса.

Необходимо определить вектор весовых коэффициентов α таким образом, чтобы минимизировать сумму квадратов ошибок объединенного прогноза (46):

$$(x - F\alpha)^T (x - F\alpha) \quad (46)$$

После проведения необходимых математических преобразований, Грейнджер и Раманатхан установили, что оптимальный вектор весовых коэффициентов при минимизации можно определить следующим образом (47):

$$\bar{\alpha} = (F^T F)^{-1} F^T x. \quad (47)$$

При минимизации выражения (46) понятно, что нулевое значение для него не будет достигнуто. Однако этот вариант построения весовых коэффициентов позволяет выделить более точные частные прогнозы и задать им большие весовые коэффициенты.

Второй метод (метод В). В этом методе дополнительно вводится ограничение на сумму весовых коэффициентов (48):

$$l^T \beta = 1, \quad (48)$$

где l — единичный вектор-строка,

β — вектор весовых коэффициентов.

Учитывая добавленное ограничение, минимизация ошибки объединенного прогноза будет заключаться в минимизации следующего уравнения (49):

$$\min(x - F\beta)^T (x - F\beta) + 2\lambda_B (l^T \beta - 1), \quad (49)$$

где λ_B — множитель Лагранжа, определяемый как (50):

$$\lambda_B = \frac{l^T \alpha - 1}{l^T (F^T F)^{-1} l}. \quad (50)$$

Отсюда вектор весовых коэффициентов по второму методу объединения определяется по формуле (51):

$$\bar{\beta} = (F^T F)^{-1} F^T x - \lambda_B (F^T F)^{-1}. \quad (51)$$

Третий метод (метод С). Для этого метода в уравнение объединения индивидуальных методов прогнозирования вводится постоянный коэффициент, устанавливающий вклад случайного отклонения прогнозного значения от фактических данных.

В данном методе минимизация проводится для следующего выражения (52):

$$\min(x - \delta_0 l - F\delta)^T (x - \delta_0 l - F\delta), \quad (52)$$

где l – единичный вектор-строка;

δ_0 – постоянный член;

δ – вектор весовых коэффициентов для индивидуальных прогнозов.

Вектор весовых коэффициентов для объединения прогнозов в третьем методе рассчитывается согласно следующему выражению (53):

$$\delta = \alpha - \delta_0 (F^T F)^{-1} F^T l, \quad (53)$$

где α – вектор весовых коэффициентов, полученный по методу А. Постоянный же коэффициент δ_0 рассчитывается как (54):

$$\delta_0 = \frac{l^T e_A}{(n - \theta)}, \quad (54)$$

где e_A – вектор ошибок объединенного прогноза, построенного по методу А, а θ рассчитывается следующим образом (55):

$$\theta = l^T F (F^T F)^{-1} F^T l. \quad (55)$$

Грейнджер и Раманатхан на основе практических расчетов показали, что третий метод объединения прогнозов точнее при сравнении суммарных среднеквадратических ошибок. При этом использование всех трех индивидуальных методов прогнозирования привело к повышению точности прогнозирования по сравнению с точностью, полученной при объединении только двух отдельных индивидуальных методов прогнозирования. Это подтверждает предположение о необходимости объединения более двух индивидуальных методов прогнозирования для повышения точности.

Кроме того, было установлено, что, хотя на весовые коэффициенты для объединения прогнозов по первому методу и не накладывалось ограничение на сумму (сумма коэффициентов должна равняться единице) в итоге сумма весовых коэффициентов все равно стремилась к единице, что подтверждает необходимость данного ограничения для других методов объединения прогнозов.

Описанные выше методы достаточно широко применяются при решении практических задач [119, 42, 124]. Анализ полученных результатов показывает, что достаточно часто весовые коэффициенты в объединенном прогнозе имеют отрицательные значения, что трудно объясняется при интерпретации результатов прогнозирования. Поэтому целесообразно предложить возможные модификации методов К. Грейнджера и Р. Раманатхана с целью исключения возможности получить отрицательные весовые коэффициенты.

Методы Дж. Бейтса и К. Грейнджера. Дж. Бейтс и К. Грейнджер были первыми, кто предложил использовать объединение прогнозов в качестве метода повышения точности прогнозирования [100]. В своей первой работе

авторы предложили использование целого ряда методов построения весовых коэффициентов для объединения прогнозов. Их методы основывались на минимизации дисперсии ошибок прогнозирования. Предложенные еще в 1964 г. методы используются и сегодня, они являются достаточно эффективными методами повышения точности прогнозирования.

В своей работе авторы использовали только два индивидуальных метода прогнозирования. Но при этом они установили, что используемые при объединении подходы можно достаточно просто расширить на более чем два индивидуальных метода прогнозирования, хотя и не привели методике расширения.

Основное отличие методов, которые предложили Дж. Бейтс и К. Грейнджер – их адаптивность: весовые коэффициенты, используя точность индивидуальных методов прогнозирования на последних значениях временного ряда, постоянно пересчитываются относительно возможного изменения в точности.

Эти методы полностью подчиняются всем критериям и правилам, которые были выдвинуты для построения весовых коэффициентов. Они являются положительными, в сумме дают единицу.

Авторы отметили, что хотя равные веса и могут привести к повышению точности объединенного прогноза относительно частных методов прогнозирования, целесообразно более точному прогнозу придавать больший весовой коэффициент, поскольку такой прогноз будет иметь меньшую ошибку прогнозирования, а значит больший вес будет способствовать снижению общей ошибки прогнозирования объединенного прогноза. Основа предлагаемых методов – минимизация дисперсии ошибки объединенного прогноза.

Оптимальный весовой коэффициент w может быть получен через минимизацию дисперсии объединенного прогноза. При расчете дисперсии объединения необходимо учитывать не только частные дисперсии используемых методов прогнозирования, но и смежную дисперсию между

частными методами. Сама дисперсия объединения может быть получена из следующего уравнения (56):

$$\sigma_0^2 = w^2\sigma_1^2 + (1-w)^2\sigma_2^2 + 2\rho w\sigma_1(1-w)\sigma_2, \quad (56)$$

где, w – вес, задаваемый первому прогнозу,

ρ – коэффициент корреляции между ошибками в первом и во втором прогнозах,

σ_1^2 – дисперсия ошибок для первого прогноза,

σ_2^2 – дисперсия ошибок для второго прогноза.

Для получения оптимального весового коэффициента необходимо минимизировать уравнение (56). Взяв дифференциал по w выражения для дисперсии ошибки объединенного прогноза и приравняв его к нулю, получаем, что минимальное значение этой дисперсии будет получаться при следующем значении весового коэффициента w (57):

$$w = \frac{\sigma_2^2 - \rho\sigma_1\sigma_2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\rho\sigma_1\sigma_2}. \quad (57)$$

При таком значении w величина дисперсии ошибки объединенного прогноза не будет превышать меньшую из дисперсий индивидуальных методов прогнозирования.

Проблемой при построении оптимального весового коэффициента является то, что в первой точке прогнозирования нельзя еще определить дисперсию для частных методов прогнозирования основываясь только на прогнозных результатах. Не известен и коэффициент корреляции между прогнозными моделями. В этой связи с этим для определения оптимального весового коэффициента необходимо использовать данные, полученные по

ретропрогнозу. Но такие данные будут иметь дополнительную ошибку по сравнению с самими прогнозными результатами.

Учитывая невозможность на первом этапе прогнозирования построить оптимальный весовой коэффициент, Дж. Бейтс и К. Грейнджер предложили пять методов, основанных на ретропрогнозных данных, для построения весов в объединении. Все методы перерасчитываются на каждом этапе прогнозирования. Данные методы приведены в таблице 3. Более подробное описание методов с раскладкой в расчетах представлено в следующих работах [78, 86, 56].

В большинстве исследований методы Дж. Бейтса и К. Грейнджера используются при объединении только двух индивидуальных прогнозов. Но в настоящем исследовании уже отмечалось, что для повышения точности прогнозирования необходимо объединение более чем двух индивидуальных прогнозов. В связи с этим необходимо уточнение методов Дж. Бейтса и К. Грейнджера для объединения более двух прогнозов.

Описанные выше методы построения весовых коэффициентов объединенного прогноза достаточно широко используются на практике, чем и был вызван интерес к ним в настоящей диссертационной работе.

Но сегодня существует множество других методов построения весовых коэффициентов при объединении прогнозов. Все они основываются на разных подходах в определении весов. Это использование и факторного анализа, и логики нечетких множеств, и баесовской логики.

Рассмотрим кратко наиболее популярные и часто встречающиеся методы построения весов. Ранее мной уже была разработана таблица, представляющая разбор и классификацию методов построения весовых коэффициентов. Данные результаты в настоящей работе представлены в таблице 4 [86], представляющую собой описание преимуществ и недостатков различных методов построения весовых коэффициентов. Информация для построения таблицы бралась на основе данных, представленных авторами работ, при этом

Таблица 3 – Варианты расчета весов методами Дж. Бейтса и К. Грейнджера.

№	Выражения для вычисления	Комментарий
1	$w_T = \frac{\sum_{t=T-v}^{T-1} e_{2,t}^2}{\sum_{t=T-v}^{T-1} e_{1,t}^2 + \sum_{t=T-v}^{T-1} e_{2,t}^2}$	При построении весового коэффициента учитываются v последние абсолютные ошибки частных прогнозов $e_{i,t}$. Изменяя величину v , можно изменять вклад более поздних прогнозных значений в объединении
2	$w_T = \alpha k_{T-1} + (1 - \alpha) \frac{\sum_{t=T-v}^{T-1} e_{2,t}^2}{\sum_{t=T-v}^{T-1} e_{1,t}^2 + \sum_{t=T-v}^{T-1} e_{2,t}^2}$	В этом варианте дополнительно к предыдущему проводится сглаживание весов методом экспоненциального сглаживания для обеспечения стабильности веса w , так как при его небольшом значении веса будут существенно колебаться
3	$w_T = \frac{\sum_{t=T-v}^{T-1} \beta^t e_{2,t}^2}{\sum_{t=T-v}^{T-1} \beta^t e_{1,t}^2 + \sum_{t=T-v}^{T-1} \beta^t e_{2,t}^2}$	Дисперсия ошибок частного прогноза оценивается по всем прогнозным значениям с весом β . В зависимости от значения β можно регулировать вклад более поздних прогнозов в объединение
4	$w_T = \frac{\sum_{t=T-v}^{T-1} \beta^t e_{2,t}^2 - \sum_{t=T-v}^{T-1} \beta^t e_{1,t} e_{2,t}}{\sum_{t=T-v}^{T-1} \beta^t e_{1,t}^2 + \sum_{t=T-v}^{T-1} \beta^t e_{2,t}^2 - 2 \sum_{t=T-v}^{T-1} \beta^t e_{1,t} e_{2,t}}$	В этом варианте дополнительно к предыдущему учитывается корреляция между ошибками частных прогнозов
5	$w_T = \alpha k_{T-1} + (1 - \alpha) \frac{ e_{2,T-1} }{ e_{1,T-1} + e_{2,T-1} }$	Данный вариант повторяет методику второго метода, но отличается от него используемым показателем точности прогноза. Вместо дисперсии ошибки используется модуль абсолютной ошибки прогноза

Источник: составлено автором.

зачастую некоторые аспекты использования того или иного метода построения весовых коэффициентов не определены в данных работах. При практическом сравнении этих методов в работах не всегда приводится обоснование, почему тот или иной метод необходимо использовать при объединении прогнозов. В общем виде в таблице 4 все рассмотренные методы построения весовых коэффициентов сгруппированы по схожим подходам.

Применение различных подходов в определении точности прогнозирования является само по себе преимуществом одного метода над другим, так как разнообразие в подходах дополнительно увеличивает используемую в объединении информацию и связи между переменными, что тем самым еще больше повышает точность прогнозирования.

Дж. Армстронг сформулировал рекомендации, которые должны помочь начинающему исследователю правильно выбирать методологию построения объединенного прогноза. Он предлагает использовать в определении весовых коэффициентов как можно более простые методы [98].

Таблица 4 – Методы объединения прогнозов

Метод	Основные результаты	Литература	Преимущества	Недостатки
Методы на основе среднего арифметического				
Простое и взвешенное среднее	Среднее арифметическое не учитывает аномальные прогнозы и вклад более точных частных методов прогнозирования. На практике установлено, что оптимальнее включать в объединение не более четырех-пяти частных методов прогнозирования	Дж. Байтс и К. Грейнджер [100], С. Макридакис и Р. Уинклер [123], Р. Уинклер и Р. Клемен [139], С. Макридакис и М. Гибон [122]	Не требуют дополнительных сложных расчетов, являются простыми и эффективными способами повышения точности прогнозирования	При использовании только среднего арифметического не учитывается вклад в объединение более точных частных методов прогнозирования. А при использовании простого взвешивания негативное влияние будут оказывать возможные аномальные фактические значения, которые напрямую будут влиять на построение весовых коэффициентов
Усеченное среднее	Усечение ряда хотя бы на 5 – 7% может увеличить точность объединенного прогноза по сравнению со средним арифметическим в 50% случаев	В. Джойс и Р. Винклер [120], П. Гудвин [112], Р. Уинклер и Р. Клемен [139]	Усечение устраняет влияние на объединенный прогноз аномальных значений фактических данных	Усечение не решает проблемы неэффективного использования всей информации об исследуемом процессе

Продолжение таблицы 4.

Метод	Основные результаты	Литература	Преимущества	Недостатки
Методы на основе МНК				
<p>Методы К. Грейнджера и Р. Раманатхана</p>	<p>Использование регрессионного уравнения как основы для объединения. Практическое доказательство необходимости использовать ограничение на сумму весовых коэффициентов. Возможное улучшение точности объединенного прогноза при использовании постоянного коэффициента</p>	<p>К. Грейнджер и Р. Раманатхан [113], Р. Клемен [106], Г. Тренклер и Э. Лиски [135], Э. Б. Ершов [64]</p>	<p>Учет минимизации ошибки прогнозирования при определении весовых коэффициентов. Применение основных ограничений на веса при объединении прогнозов</p>	<p>Нет твердых доказательств необходимости использовать постоянный коэффициент при объединении прогнозов. Нет основного ограничения на положительность весовых коэффициентов</p>

Продолжение таблицы 4.

Метод	Основные результаты	Литература	Преимущества	Недостатки
Минимизация дисперсии ошибок				
<p>Методы Дж. Бейтса и К. Грейнджера</p>	<p>Первая работа по применению объединения прогнозов. Описание основных принципов возможности применения методики. Выдвижение тезиса о необходимости задавать больший вес более точному частному методу прогнозирования</p>	<p>Дж. Бейтс и К. Грейнджер [100], П. Ньюболд и К. Грейнджер [126], С. Макридакис и Р. Уинклер [123], С. Макридакис и М. Гибон [122], А.А. Сурков [80]</p>	<p>Учет всех ограничений на весовые коэффициенты, (сумма весов равна единице, положительность весов) Наиболее точному методу прогнозирования придается больший весовой коэффициент. Использование ретроспективных данных о точности частных методов прогнозирования при построении весовых коэффициентов</p>	<p>Необоснованность использования пятого метода прогнозирования, низкая его точность</p>

Продолжение таблицы 4.

Метод	Основные результаты	Литература	Преимущества	Недостатки
Аддитивная свертка	Сведение нахождения весовых коэффициентов к решению задаче на условный экстремум	Т.Г. Балтрушевич [45]	Учет всех ограничений на весовые коэффициенты, (сумма весов равна единице, положительность весов)	Недостатки методики в работах не указаны
Методы на основе ретроспективы				
Простые методы	Построение весовых коэффициентов на основе использования обратных значений ошибок частных методов прогнозирования с их нормализацией по сумме	А. Андреев [51]	Методы не требуют дополнительных вычислений, простые в использовании	На веса влияют недостатки определения ошибок прогнозирования. Аномальные фактические данные, которые искажают ошибки прогноза также будут искажать и весовые коэффициенты
AFTER (Aggregated Forecast Through Exponential Re-weighting)	В качестве весовых коэффициентов используются значения дисперсии в различных интерпретациях и отношениях	Ю. Янг [142], Х. Зои и Ю. Янг [141]	Учет всех ограничений на весовые коэффициенты, (сумма весов равна единице, положительность весов)	Сильная зависимость от исходных параметров, невозможность простого вычисления, необходимость программного вычисления

Продолжение таблицы 4.

Метод	Основные результаты	Литература	Преимущества	Недостатки
Метод Д. Буна	<p>Использование бета-распределения при построении весов.</p> <p>Пересчет весовых коэффициентов на каждом этапе прогнозирования в зависимости от точности полученных прошлых значений</p>	Д. Бун [103; 104]	<p>Непараметрический простой метод построения весовых коэффициентов, не требует аппаратной реализации</p> <p>Позволяет включать экспертную информацию на стадии построения весовых коэффициентов</p>	<p>Возможность только краткосрочного прогнозирования.</p> <p>Ретроспективные значения имеют сильное влияние на построение весов. В случае, если какой-то один из методов был более точным на отдельном промежутке ретроспективы, включаемом в расчет весов, то данное влияние останется и на будущих значениях весовых коэффициентов</p>
Адаптивный метод	<p>Применение экспоненциального сглаживания при построении весов.</p> <p>Адаптация весов на основе учета последних значений исследуемого временного ряда</p>	Ю.П. Лукашин [20], Т.А. Дуброва [13]	<p>Учет последних изменений в динамике исследуемого процесса и ее влияние на весовые коэффициенты</p>	<p>Возможность только краткосрочного прогнозирования.</p> <p>Отсутствие возможности предсказывать изменения в динамике изучаемого процесса только на основе ретроспективы.</p> <p>Проблемы с определением параметра адаптации</p>

Продолжение таблицы 4.

Метод	Основные результаты	Литература	Преимущества	Недостатки
Четыре метода на основе ретроспективы	Построение весовых коэффициентов на основе, обратно пропорциональной величины ошибки прогнозирования с экспоненциальным сглаживанием	С. Пантазопулус и С. Пэйппис [128]	Простые в использовании методы построения весовых коэффициентов	Недостатки, связанные с использованием экспоненциального сглаживания. Проблемы с определением параметра адаптации
Метод суммарной относительной ошибки	Расчет весов с использованием суммарной и индивидуальных ошибок прогнозирования	А.А. Кузнецов и А.В. Журов [69], А.А. Бойко [55]	Простой в использовании метод, учет основных ограничений для весовых коэффициентов	Недостатки методики не указаны в работах
Методы с применением факторного анализа				
Метод Н.А. Горелика и А.А. Френкеля	Применение факторного анализа при построении весовых коэффициентов	Н.А. Горелик и А.А. Френкель [61], А.А. Френкель [37]	Учет последних изменений в динамике исследуемого процесса и ее влияние на весовые коэффициенты	Недостатки методики в работах не указаны

Продолжение таблицы 4.

Метод	Основные результаты	Литература	Преимущества	Недостатки
Метод попарных предпочтений				
Метод С. Гупта и П. Уилсон	Использование матрицы попарных представлений для определения весовых коэффициентов. В качестве элементов матрицы использовалась информация о точности того или иного частного метода прогнозирования	С. Гупта и П. Уилсон [114; 115], А.А. Сурков [79]	Метод позволяет дифференцировать влияние частных методов прогнозирования на объединение, а также учесть прошлую информацию о точности методов прогнозирования. Имеет возможность привлечения экспертной информации в объединение	Недостатки методики в работах не указаны

Продолжение таблицы 4.

Метод	Основные результаты	Литература	Преимущества	Недостатки
Методы на основе математического программирования				
Метод Я.Е. Бейлинсон и М.А. Мотовой	Сведение задачи построения весовых коэффициентов через минимизацию относительной ошибки частных методов прогнозирования к решению задачи квадратичного программирования	Я.Е. Бейлинсон и М.А. Мотова [53], С.Ф. Остапюк и М.А. Мотова [73]	Простой в использовании метод, учет основных ограничений для весовых коэффициентов	Не является универсальным методом объединения прогнозов, требует подбора частных методов прогнозирования для устранения зависимости в ошибках прогнозирования
Метод минимизации функционала (МАРЕ)	Использование нелинейного программирования для построения весовых коэффициентов объединенного прогноза	А.А. Бойко [55]	Простой в использовании метод, учет основных ограничений для весовых коэффициентов	Недостатки методики в работах не указаны

Источник: составлено автором.

За основу Дж. Армстронг взял самый простой метод – среднее арифметическое нескольких индивидуальных прогнозов. Он отметил, что если исследователь не обладает информацией о том, какой из частных методов прогнозирования является наиболее точным методом, то для повышения точности прогнозирования достаточно использование простого среднего арифметического. Но в случае если у исследователя есть информация о точности того или иного частного метода прогнозирования, то необходимо придавать более точному методу прогнозирования больший вес, что требует создания более сложных методов построения весовых коэффициентов при объединении прогнозов.

Кроме того, в случае, если исследователь не уверен в использовании результатов объединения прогнозов, он может их применить в качестве оценки точности индивидуальных методов прогнозирования, ведь, по сути, весовые коэффициенты в объединенном прогнозе являются вкладом того или иного метода в единый прогноз: и чем выше весовой коэффициент при каком-либо методе прогнозирования, тем точнее является этот метод. И в случае необходимости выбора одного конкретного индивидуального метода прогнозирования, то объединение прогнозов может послужить критерием для такого выбора.

В итоге объединение прогнозов представляет собой реальный инструмент повышения точности прогнозирования. Как отмечалось ранее, оно позволяет использовать всю доступную информацию для формирования единого более точного прогноза по сравнению с отдельными методами прогнозирования.

Несмотря на это, используемые методы объединения прогнозов ограничены той информацией, которая используется в отдельных методах прогнозирования и не могут использовать иную информацию о процессах, которые могут оказывать влияние на исследуемый процесс. В условиях новой цифровой экономики и для целей стратегического планирования это является большим минусом. Поэтому основой дальнейшего развития объединения

прогнозов является привлечение качественной и экспертной информации для целей более детального описания исследуемого процесса.

2.3 Совершенствование методов объединения прогнозов

Описанные ранее методы объединения прогнозов при всей своей эффективности все же имеют свои недостатки, которые достаточно часто встречаются на практике. Так, в большинстве случаев при использовании объединения прогнозов в результате могут получаться отрицательные весовые коэффициенты и коэффициенты больше единицы. Коэффициенты больше единицы встречаются в тех случаях, когда один или несколько индивидуальных методов прогнозирования являются намного точнее, чем другие используемые методы прогнозирования. При объединении такие прогнозы могут быть переоценены на предмет точности прогнозирования и при таких прогнозах будут встречаться весовые коэффициенты больше единицы. А так как на весовые коэффициенты должно накладываться условие на сумму весов, равную единице, то для уравнивания весов больше единицы другим индивидуальным методам прогнозирования будут придаваться отрицательные коэффициенты.

Отрицательные весовые коэффициенты также могут встречаться в случаях, когда прогнозы при объединении начинают сильно отклоняться от фактических данных. В этих случаях отрицательные коэффициенты являются корректировкой для таких отклонений.

С теоретической точки зрения отрицательные весовые коэффициенты, или коэффициенты больше единицы, являются оправданными и могут использоваться и на практике, но в экономической деятельности отрицательные коэффициенты при индивидуальных методах прогнозирования не поддаются объяснению. Кроме того, весовой коэффициент в объединении прогнозов рассматривается как доля информации данного прогноза в общем итоге, его

доля и доля информации, которая может быть использована для общего результата. С этой точки зрения также нельзя рассматривать отрицательные весовые коэффициенты, поскольку отрицательной доли не может существовать.

В связи с этим есть потребность в модификации объединения прогнозов с целью избавления от отрицательности в весах. Следует только заметить, что в случае ухода от отрицательности в коэффициентах может снизиться точность объединения.

Еще одной проблемой при объединении прогнозов является то, что некоторые достаточно часто встречающиеся методы построения весовых коэффициентов при объединении прогнозов не рассматриваются в случае объединения более двух методов прогнозирования. Так, методы Дж. Бейтса и К. Грейнджера хорошо себя зарекомендовали при объединении двух индивидуальных методов прогнозирования. Авторы сами отметили, что методы могут использоваться и при объединении более двух индивидуальных методов прогнозирования, но до сих пор не существует описания методики этого.

Все эти проблемы при объединении прогнозов приводят к тому, что необходимо разработать модификации, которые бы устраняли бы недостатки методов объединения или развивали бы их дальше. В данном исследовании приводится ряд модификаций, которые могут быть использованы для устранения указанных недостатков.

Расширение методов Дж. Бейтса и К. Грейнджера на два и более индивидуальных метода прогнозирования. Первоначально рассмотрим конкретные методы объединения прогнозов и предлагаемое их расширение. Как отмечалось выше, методы, предложенные Дж. Бейтсом и К. Грейнджером, рассматривались для объединения только двух индивидуальных методов прогнозирования. На практике данные методы построения весовых коэффициентов также встречаются достаточно часто, в том числе и для объединения двух и более индивидуальных методов прогнозирования, но методики такого объединения нет. В работе

А.А. Суркова [80] представлены расчеты, расширяющие данные методы объединения прогнозов на большее число индивидуальных прогнозов. Таким образом, методы Дж. Бейтса и К. Грейнджера с их расширением можно использовать для объединения любого числа индивидуальных прогнозов, как и было заявлено ранее. Итоговые расчеты методов представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Объединение n методов по вариантам расчета весов Дж. Бейтса и К. Грейнджера, П. Ньюболта и К. Грейнджера

№	Выражения для вычисления	Оптимальные значения для вычислений
1	$w_{i,T} = \frac{\sum_{t=T-v}^{T-1} \prod_{j=1, j \neq i}^n e_{j,t}^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{t=T-v}^{T-1} \prod_{j=1, j \neq i}^n e_{j,t}^2}, i = 1 \dots n$	$v = 3$
2	$w_{i,T} = \alpha w_{T-1} + (1 - \alpha) \frac{\sum_{t=T-v}^{T-1} \prod_{j=1, j \neq i}^n e_{j,t}^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{t=T-v}^{T-1} \prod_{j=1, j \neq i}^n e_{j,t}^2}, i = 1 \dots n$	$\alpha = 0,5, v = 9$ $w_0 = 0,5$
3	$w_{i,T} = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} (\beta^t \prod_{j=1, j \neq i}^n e_{j,t}^2)}{\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{T-1} (\beta^t \prod_{j=1, j \neq i}^n e_{j,t}^2)}, i = 1 \dots n$	$\beta = 1,5$
4	$w_{i,T} = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} (\beta^t \prod_{j=1, j \neq i}^n e_{j,t}^2) - \sum_{t=1}^{T-1} \beta^t \prod_{j=1}^n e_{j,t}}{\sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{T-1} (\beta^t \prod_{j=1, j \neq i}^n e_{j,t}^2) - n \sum_{t=1}^{T-1} \beta^t \prod_{j=1}^n e_{j,t}}, i = 1 \dots n$	$\beta = 2,5$
5	$w_{i,T} = \alpha w_{T-1} + (1 - \alpha) \frac{\prod_{j=1, j \neq i}^n e_{j,T-1} }{\sum_{i=1}^n e_{i,T-1} }, i = 1 \dots n$	$\alpha = 0,5$ $w_0 = 0,5$

Источник: составлено автором

Анализируя практические результаты, полученные при использовании данных расширенных методов построения весовых коэффициентов при объединении прогнозов, был сделан вывод о том, что наиболее точным из рассматриваемых пяти методов объединения является третий метод. Этот метод для построения весов учитывает всю ретроспективную информацию из частных методов прогнозирования. Что, в свою очередь, позволяет учитывать общую тенденцию изменений временного ряда.

При этом наименее точным оказался пятый метод. Это связано с тем, что при построении весовых коэффициентов при данном методе учитываются только несколько последних ошибок частных прогнозов, причем взятых с модулем, что не дает необходимого улучшения в точности полученного объединенного прогноза. Однако, пятый метод оказался все равно точнее, чем частные методы прогнозирования, включаемые в объединение.

Следовательно, можно сделать вывод что методы Дж. Бейтса и К. Грейнджера, а также их расширение на два и более индивидуального метода прогнозирования – достаточно хорошие способы повысить точность прогнозирования. Такое расширение может с успехом применяться на практике. Предлагаемый подход по определению весов в объединении является более адаптивным методом, пересчитывающий весовые коэффициенты на каждом этапе прогнозирования.

Последовательное объединение прогнозов. Далее рассмотрим несколько универсальных модификаций, которые можно применить для любого метода объединения прогнозов.

Одним из самых простых способов исключения отрицательных коэффициентов при объединении прогнозов является последовательное объединение. Основная идея предлагаемого подхода – итеративное объединение сначала двух индивидуальных прогнозов, потом объединение полученного результата со следующим, третьим индивидуальным прогнозом, и т.д. Схематически процесс можно представить, как это показано на рисунке 1. При этом на каждом следующем шаге, после первого, объединение может происходить не только с индивидуальным методом прогнозирования, но и с их другими объединениями.

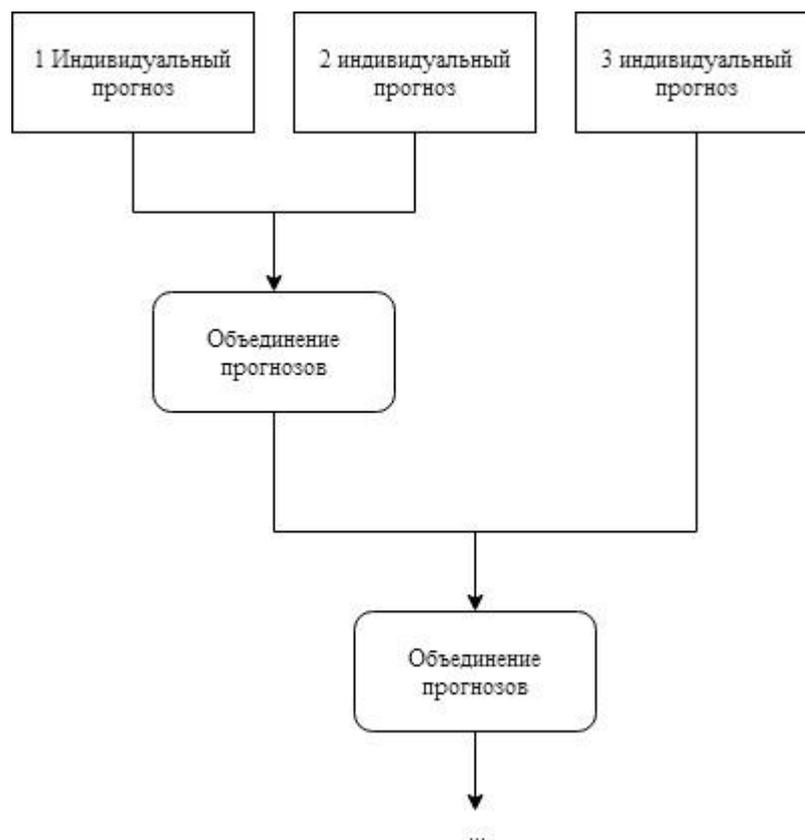


Рисунок 1 – Последовательное объединение прогнозов

Источник: составлено автором

При этом на каждом этапе последовательного объединения осуществляют перебор возможных комбинаций для объединения с целью найти такую комбинацию, при которой отсутствовали бы отрицательные коэффициенты. В случае, если на каком-то из шагов объединения выше первого шага нет комбинаций прогнозов с положительными весами, то вместо объединения с индивидуальным прогнозом (например, 3-й прогноз на рисунке 1) может быть проведено объединение с другим объединением прогнозов, полученным на предыдущем шаге.

Введем обозначения, которые будут использоваться в описании последовательной модификации объединения прогнозов. Обозначим объединение 1-ого и 2-ого индивидуальных прогнозов как $K(1;2)$, аналогичное обозначение будет использовано и для объединения других методов

прогнозирования, в том числе и при объединении двух и более индивидуальных методов прогнозирования – $K(1;2;3)$.

Для описания предлагаемой методики последовательного объединения прогнозов рассмотрим объединение четырех методов прогнозирования. С увеличением числа индивидуальных методов прогнозирования в объединении растет и вероятность появления отрицательных коэффициентов.

На первом этапе предлагаемой модифицированной методики объединения прогнозов осуществляют перебор всех объединений двух индивидуальных методов прогнозирования: $K(1;2)$, $K(1,3)$, $K(1,4)$, $K(2,3)$, $K(2,4)$, $K(3,4)$ – с целью поиска такой пары, при которой все коэффициенты положительны. В первую очередь надо проверять объединение наиболее точного индивидуального метода прогнозирования с другими методами. В случае если имеется несколько пар с положительными коэффициентами, то следует в дальнейшем использовать ту, что дает меньшую среднеквадратическую ошибку.

Предположим, что пара $K(1;2)$ является искомым объединением без отрицательных коэффициентов. Тогда осуществляют второй этап объединения прогнозов, на котором происходят объединения вида: $K(K(1;2);3)$ и $K(K(1;2);4)$, т.е. объединение нашей пары, полученной на первом этапе объединения прогнозов с оставшимися индивидуальными методами. В случае, если одна из таких новых пар окажется подходящей, то уже на третьем этапе объединения прогнозов объединение, полученное на втором этапе, объединяется с оставшимся индивидуальным методом прогнозирования.

Выше на рисунке 1, приведен стандартный пример модифицированного последовательного объединения. Но на практике могут встретиться случаи, когда, например, любые из пар индивидуальных методов прогнозирования оказались неудовлетворительными относительно условий. Тогда все равно следует проверить объединение на втором и третьем этапах, так как на других этапах отрицательные коэффициенты могут уйти.

Кроме того, в случае, если предложенный перебор не дает необходимых результатов, уместно использовать объединение не только с другими индивидуальными методами прогнозирования, но и с другими объединениями. Так, в рассматриваемом примере на третьем этапе прогнозирования можно было использовать следующее объединение: $K(K(1;2);K(3;4))$ если такое объединение является оправданным и позволяет убрать отрицательные коэффициенты из объединения.

В случае, если любая рассмотренная выше комбинация не дает необходимого результата относительно весовых коэффициентов, то нужно рассмотреть объединение результата объединения всех индивидуальных методов прогнозирования с результатами объединения на каждом из шагов последовательного объединения прогнозов или же объединение результатов на разных шагах последовательного объединения прогнозов. Например, можно рассмотреть объединение вида: $K(K(1;2;3);K(3;4))$ – объединение результата объединения трех индивидуальных методов прогнозирования с результатом объединения двух индивидуальных методов прогнозирования.

Предлагаемая методика уже была оценена на практике [91]. По мнению авторов, данная модификация В-метода К. Грейнджера и Р. Раманатхана с использованием последовательного прогнозирования может незначительно снизить его точность, относительно обычного объединения прогнозов, но не слишком существенно. Однако при этом предлагаемая модификация избавляет рассматриваемый метод от отрицательных коэффициентов и является более предпочтительным вариантом для использования в экономической практике.

Но у данной модификации есть свой недостаток – громоздкость вычислений, так как вполне вероятно, что для достижения необходимого объединения придется рассмотреть множество различных комбинаций объединенных прогнозов. И если перебор комбинаций еще возможен при небольшом количестве временных рядов и индивидуальных методов прогнозирования, то количество комбинаций будет геометрически расти при

увеличении числа или временных рядов, или индивидуальных методов прогнозирования.

Модификация методов объединения прогнозов с использованием постоянной константы. Еще одним способом обойти отрицательность весовых коэффициентов является применение линейного программирования при объединении прогнозов с наложением ограничений на неотрицательность весов. В этом случае поиск весовых коэффициентов заключается в решении задачи на оптимизацию уравнения объединения прогнозов. Методы Грейнджера и Раманатхана как раз являются методами поиска оптимального значения весов, при которых была бы минимальная ошибка прогнозирования. Введем кроме ограничения на сумму весовых коэффициентов ограничение на положительность их значений. Тогда задачу поиска весовых коэффициентов методом Грейнджера и Раманатхана (с ограничением на сумму весов) можно представить в следующем виде (58):

$$\begin{aligned} (Y - Fw)(Y - Fw)^T &\rightarrow \min; \\ \sum_{i=1}^n w_i &= 1; \\ w_i &\geq 0, i = 1 \dots n, \end{aligned} \quad (58)$$

где Y – фактическое значение временного ряда;

F – значение объединенного прогноза;

w – значения весовых коэффициентов.

Решить такую задачу можно симплекс-методом для выпуклой нелинейной задачи оптимизации.

К сожалению, при решении задачи (58) оптимальным способом при присутствии отрицательных весовых коэффициентов является тривиальный случай, при котором наиболее точному индивидуальному методу прогнозирования придается вес, равный единице, а всем остальным

индивидуальным прогнозам – вес, равный нулю. В этом случае решение симплекс-метода просто «скатывается» к верхнему допустимому значению для одного из индивидуальных методов прогнозирования (наиболее точному) и из-за ограничения на сумму весов, все остальные веса обнуляются. По этой причине простое добавление дополнительного ограничения в задачу оптимизации не приводит к необходимому результату.

Кроме дополнительного ограничения на весовые коэффициенты можно рассмотреть предложение по использованию постоянной константы для приведения весов к положительному виду. Предлагаемая модификация также может быть использована и при других методах объединения прогнозов.

На первом этапе проводится объединение прогнозов обычным методом объединения прогнозов, без каких-либо ограничений на положительность весов. На втором этапе выделим возможные отрицательные весовые коэффициенты и найдем максимальное по модулю значение: $w_{\max} = \text{Max}(|w_j|)$. После этого ко всем весовым коэффициентам, полученным на первом этапе модифицированного объединения прогнозов, прибавим найденный максимальный модуль с добавлением постоянной константы ε . В качестве ε необходимо использовать положительное число, стремящееся к нулю и выбранное таким образом, что его значение на несколько порядков меньше необходимой точности весовых коэффициентов. Таким образом, модифицированные весовые коэффициенты будут иметь следующий вид (59):

$$w'_i = w_i + w_{\max} + \varepsilon, i = 1 \dots n. \quad (59)$$

Третий этап заключается в преобразовании с приведением суммы коэффициентов к единице. Обозначим за R разницу между суммой модифицированных коэффициентов, полученных на втором этапе и единицей (60):

$$R = (w'_1 + \dots + w'_n) - 1, \quad (60)$$

и определим новые весовые коэффициенты с учетом ограничения на сумму (61, 62):

$$w''_1 = w'_1 - r_1, \dots, w''_n = w'_n - r_n, \quad (61)$$

где

$$r_1 + \dots + r_n = R. \quad (62)$$

Модифицированные весовые коэффициенты с ограничением на сумму весов должны сохранять соотношение между собой. Для этого необходимо выполнение следующего соотношения (63, 64):

$$\frac{w'_i}{w'_1 + \dots + w'_n} = \frac{w''_i}{(w'_1 + \dots + w'_n) - R}, i = 1 \dots n. \quad (63)$$

Так как $(w'_1 + \dots + w'_n) - R = 1$, то

$$\frac{w'_i}{w'_1 + \dots + w'_n} = w'_i - r_i, i = 1 \dots n. \quad (64)$$

Из этого можно вывести значение r_i (65):

$$r_i = \frac{w'_i R}{w'_1 + \dots + w'_n}. \quad (65)$$

Получив значение r_i и подставив его в уравнение (61) можно получить модифицированные коэффициенты, которые будут в сумме давать единицу и при этом сохранят соотношение между собой. Такие весовые коэффициенты будут положительными. Единственным недостатком модификации является определение ε .

Данный подход имеет недостаток: он практически зануляет минимальный весовой коэффициент, что позволяет не учитывать индивидуальный прогноз при данном коэффициенте. Но этого можно избежать, упростив методику. Для этого необходимо рассмотреть отрицательные весовые коэффициенты по модулю. Для этого достаточно прибавить к ним их же двойной модуль (66):

$$\begin{cases} w'_i = w_i, \text{ если } w_i > 0 \\ w'_i = w_i + 2 * |w_i|, \text{ если } w_i < 0 \end{cases} \quad (66)$$

после чего необходимо привести сумму новых весовых коэффициентов к единице, применив обычную стандартизацию вида (67):

$$w''_i = \frac{w'_i}{w'_1 + \dots + w'_n}, i = 1 \dots n. \quad (67)$$

Это избавит весовые коэффициенты от отрицательности и позволит сохранить ограничение на сумму весовых коэффициентов. При этом не будет потери информации от индивидуальных прогнозов.

Применение гребневой регрессии для объединения прогнозов. Рассмотрим несколько предложений по построению весовых коэффициентов с учетом накладываемых на них ограничений.

Кроме дополнительных модификаций для существующих методов объединения прогнозов, можно использовать и уже существующие методики, с целью получить только положительные веса при объединении.

Нетрудно заметить, что структура объединения прогнозов очень похожа на регрессионную модель, в которой весовые коэффициенты являются коэффициентами регрессии:

$$y = w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_j x_j + \dots + w_n x_n. \quad (68)$$

В обоих случаях (как в регрессии, так и в объединении прогнозов) для поиска параметров модели используется минимизация суммы квадратов отклонений точек реального временного ряда от модели. Это обстоятельство позволяет предположить, что подходы регрессионного анализа можно использовать для получения положительных весовых коэффициентов объединенного прогноза.

Основное отличие регрессии от объединения прогнозов заключается в том, что в случае многомерной линейной регрессии факторы, входящие в уравнение, независимы.

В случае же объединения прогнозов роль независимых факторов выполняют значения, полученные в результате прогнозирования временного ряда различными методами. В связи с этим они сильно коррелируют с исходным рядом, а также между собой. Вследствие этого возникает очень сильная мультиколлинеарность между «независимыми» факторами линейной регрессионной модели в случае, если рассматривать объединение прогнозов в качестве регрессионной модели.

В регрессионном анализе существуют давно отработанные методы элиминирования мультиколлинеарности. Один из них – использование для оценки параметров регрессии метода гребневой регрессии (Ridge regression), который был разработан А. Хоэрлом и Р. Кеннардом [118]. Данный метод основан на модификации МНК и позволяет оценивать параметры регрессии в условиях мультиколлинеарности с меньшими среднеквадратическими ошибками [85].

Уравнение оценки параметров для гребневой регрессии выглядит следующим образом (69):

$$B(K) = (X'X + K)^{-1}X'Y, \quad (69)$$

где $B(K)$ – вектор-столбец гребневых коэффициентов;

Y - вектор-столбец зависимой переменной;

X – матрица независимых переменных;

K – неотрицательная определенная диагональная матрица.

Выбор матрицы K определяет и конкретный метод гребневой регрессии. Предлагается использование метода «следа гребневой матрицы», описанный в работе А. Хоэрла и Р. Кеннарда [117] суть которого заключается в том, что берется несколько значений k (обычно не более 10 – 15 значений). Для каждого из них вычисляются оценки стандартизированных коэффициентов регрессии, в том числе и для $k=0$. По полученным значениям k строится график изменения величины коэффициентов в зависимости от значения k , который называется «след гребневой матрицы». Данный подход позволяет найти такие значения, при которых система достигает стабильности, т.е. с увеличением k не происходит изменение знака коэффициентов, и остаточная сумма квадратов меняется несущественно. При $k=0$ оценки соответствуют коэффициентам обычной регрессии, полученным по МНК [77].

При использовании непосредственно коэффициентов гребневой регрессии в качестве весовых коэффициентов объединенного прогноза не всегда можно получить весовые коэффициенты, которые будут в сумме давать единицу, хотя сами коэффициенты будут положительными. По этой причине правильно использовать не коэффициенты гребневой регрессии, а δ -коэффициенты, которые определяют долю независимых переменных в регрессионном уравнении. Это хорошо согласуется с определением весовых коэффициентов как доли индивидуальных прогнозов в объединенном прогнозе. При этом δ -коэффициенты всегда положительны и в сумме дают единицу.

Более подробно о методике и практических результатах можно найти в работе [88].

2.4 Применение объединения прогнозов с использованием экспертной информации

Выше было показано, что объединение прогнозов является хорошим вариантом увеличения точности и его использование для социально-экономического прогнозирования необходимо. Но у объединения прогнозов также есть свои недостатки. Часть из которых была рассмотрена выше и относится к интерпретации информации и к ее использованию при объединении. Но это не единственные проблемы объединения прогнозов. Кроме того, есть проблема прогнозирования при большом влиянии внешних факторов на исследуемый процесс.

Существующие методы построения весовых коэффициентов при объединении прогнозов основываются только на информации о предыдущей точности отдельных методов прогнозирования. В условиях постоянного изменения динамики экономических процессов под влиянием внешних факторов для предвиденья будущего положения уже недостаточно только пост-информации, в таких условиях эффективность применения обычных статистических методов прогнозирования снижается. Для повышения точности прогнозирования необходимо предвиденье и будущих событий, которые могут повлиять на изучаемый процесс. Таким предвиденьем может выступать экспертная информация, которая позволила бы корректировать полученный прогноз в зависимости от оценок поведения изучаемого процесса в будущем при определенных условиях. Более того, следует учитывать, что сегодня, в эпоху цифровой экономики и цифровизации общества, экономические процессы как никогда зависят от большого количества социальных, политических, экологических и других факторов, на них оказывает влияние большой объем различной информации [71]. Соответственно, в экономическом прогнозировании необходимо уделять большое внимание применению экспертной информации для повышения его точности.

Для объединения прогнозов можно использовать как экспертные методы прогнозирования или методы определения обобщенного интегрального показателя, которые будут выступать в качестве отдельных методов построения весовых коэффициентов при объединении прогнозов, так и экспертные оценки, которые выступят в качестве вспомогательных методов при объединении прогнозов. Кроме того, экспертная информация, выраженная в оценке значения рассматриваемого процесса, может использоваться в объединении как один из элементов объединенного прогноза. Но для этого необходимы прошлые оценки процесса. Сегодня существует ряд работ, в которых исследовано использование экспертной информации при объединении прогнозов [111, 121].

К настоящему времени, уже существуют методы, в которых используется экспертная информация и которые достаточно часто применяются на практике. Эти методы используются в основном в качестве алгоритмов по построению весовых коэффициентов в интегральном показателе [32, 34]. Рассмотрим некоторые из них в качестве вариантов использования при объединении прогнозов, так как и в объединении прогнозов, и в построении интегрированного показателя применяются одни и те же подходы и ограничения.

Наиболее простыми методами определения весовых коэффициентов при построении интегрального показателя являются *методы ранжирования и методы приписывания баллов*. Эти же методы можно использовать и при определении весовых коэффициентов объединенного прогноза.

Каждый индивидуальный прогноз ранжируется или же ему приписывается определенный балл. Ранжирование и разбалловка может проводиться разными способами: как на основе экспертных оценок, так и по отношению к точности прогнозирования в прошлом. Более точному по оценке экспертов прогнозу приписывается больший балл.

Следует учесть, что эти методы не являются достаточно точными и вообще могут не привести к повышению точности прогнозирования

относительно частных прогнозов. Методы ранжирования и приписывания баллов только поверхностно оценивают индивидуальные прогнозы, веса в таком случае не пропорционально распределяются относительно самих прогнозов. Поэтому происходит перекоп в сторону менее точных методов прогнозирования. Веса при таком определении будут приблизительными и субъективными.

Отдельно следует отметить методы, основанные на формулах Фишберна. В этом случае ранжирование осуществляется не исследователем, а на основе статистических характеристик, что повышает точность прогнозирования по сравнению с другими методами ранжирования и разбалловки. Эти формулы основываются на том же подходе в приписывании баллов, но в данном случае субъективность и отклонение в сторону менее точных методов прогнозирования сглаживается.

Первая формула Фишберна (70):

$$w_i = \frac{2(m - i + 1)}{m(m + 1)}, i = 1 \dots m, \quad (70)$$

где m – число отдельных методов прогнозирования;

i – ранг отдельного метода прогнозирования.

Вторая формула Фишберна (71):

$$w_i = \frac{2^{m-i}}{2^m - 1}. \quad (71)$$

Третья формула Фишберна (72):

$$w_i = a_i + \frac{1 - \sum_{i=1}^m a_i}{\sum_{i=1}^m (b_i - a_i)} (b_i - a_i), \quad (72)$$

где $a_i \leq w_i \leq b_i$ – интервалы возможных значений для весовых коэффициентов, предложенных на основании экспертной оценки. В этом случае, кроме ранжирования, необходима и экспертная информация относительно интервалов возможных значений исследуемого временного ряда.

Приведенные формулы позволяют более точному методу прогнозирования придавать больший вес как наиболее важному методу. Но построение весовых коэффициентов по формулам Фишберна также не дает необходимого повышения точности прогнозирования, поскольку даже первому по рангу методу прогнозирования будет придаваться недооцененный вес, что и скажется на точности, т.е. более точный индивидуальный прогноз получит вес, который будет меньше чем тот, который мог быть рассчитан на основе обычных методов объединения прогнозов. Кроме того, при ранжировании в случае, если прогнозы имеют достаточно близкие значения, им будут придаваться веса, которые значительно отличаются между собой.

К методам с использованием экспертной информации относится и *метод попарных предпочтений*. Этот метод является достаточно известным и часто используется на практике [86].

Гупта и Уилсон описали матрицу попарных предпочтений как инструмент для нахождения оптимальных весовых коэффициентов для объединенного прогноза [115].

Суть метода заключается в следующем. Предположим, что «истинные» веса задаются вектором $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$, где α_i ($i=1, \dots, n$) – теоретически лучший вес, присвоенный i -му частному показателю. Тогда вероятность того, что частный показатель i «предпочтительнее» (дисперсия меньше) частного показателя j , должна вычисляться по формуле α_i/α_j . Матрица «попарных предпочтений» среди частных показателей может быть построена следующим образом: $O = (o_{ij})_{n \times n}$, где $o_{ij} = \frac{\alpha_i}{\alpha_j}$. Таким образом, матрица O имеет вид (73):

$$O = \begin{pmatrix} \frac{\alpha_1}{\alpha_1} & \dots & \frac{\alpha_1}{\alpha_n} \\ \frac{\alpha_1}{\alpha_1} & \ddots & \frac{\alpha_n}{\alpha_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\alpha_n}{\alpha_1} & \dots & \frac{\alpha_n}{\alpha_n} \\ \frac{\alpha_1}{\alpha_1} & \dots & \frac{\alpha_n}{\alpha_n} \end{pmatrix}. \quad (73)$$

Каждая запись o_{ij} может быть интерпретирована как вероятность предпочтения частного показателя i показателю j . Заметим, что каждый элемент матрицы положителен и что $o_{ij} = \frac{1}{o_{ji}}$, а диагональные элементы равны единице. Следовательно, $O\alpha = n\alpha$. Зная матрицу O , вектор весов α обеспечивается в соответствии с решением $(O - nE)\alpha = 0$, где E – единичная матрица. Так как матрица O имеет единичный ранг и ее след равен n , то лишь одно из собственных значений не равно нулю, и оно равняется n . Таким образом, данная матрица «попарных предпочтений» совместима и ее всегда можно решить относительно α .

Конечно, матрица O должна быть сначала оценена. Преимуществом данного метода является то, что оценка матрицы может быть проведена различными способами в зависимости от целей исследования. Например, она может быть оценена экспертом. Или по минимальному отклонению от средней. Это может быть выполнено следующим образом:

Пусть число b_{ij} – число случаев, когда частный показатель i «лучше» показателя j (в данном случае имеет меньшее абсолютное отклонение от своего среднего значения), а b_{ji} – соответственно, когда частный показатель j предпочтительнее показателя i . Тогда оценка элемента матрицы O : $o_{ij} = \frac{b_{ij}}{b_{ji}}$.

Зная матрицу «попарных предпочтений» \tilde{O} , находим ее собственный вектор, соответствующий максимальному положительному собственному значению. Нормализуя собственный вектор, получаем оценку искомого вектора весовых коэффициентов $\tilde{\alpha}$.

Метод попарных предпочтений обладает некоторыми несомненными достоинствами по сравнению с другими методами. Во-первых, он значительно упрощает процедуру обработки информации, нахождение весов не требует оценки большого количества данных. Во-вторых, метод попарных предпочтений позволяет дифференцировать влияние частных прогнозов на объединенный. Следует отметить и адаптивность метода, т.е. возможность корректировки весовых коэффициентов по мере поступления новой информации. Наконец, метод позволяет легко включать экспертную информацию.

При использовании метода попарных предпочтений можно выделить следующие основные этапы реализации методики:

1. Подготовительный этап. Этот этап заключается в расчете частных методов прогнозирования и определении ретропрогноза исследуемого экономического процесса.

2. Этап расчета значений матрицы попарных предпочтений. На этом этапе осуществляется подсчет числа случаев, когда та или иная модель прогнозирования была более точной при оценке полученного по ней ретропрогноза.

3. Этап определения матрицы попарных предпочтений. На основе полученных данных на втором этапе определяют матрицу попарных предпочтений. Элемент каждой такой матрицы ij является отношением числа случаев, когда i -й прогноз был точнее, чем j -й.

4. Этап нахождения собственных значений и собственных векторов матрицы попарных предпочтений.

5. Этап определения максимального собственного значения матрицы и соответствующего ему собственного вектора.

6. Нормализация собственного вектора по сумме его значений.

7. Объединение прогнозов. Заключительный этап, на котором происходит объединение результатов частных моделей прогнозирования. В качестве

весовых коэффициентов при объединении используются нормализованные значения собственного вектора, полученные на шестом этапе.

Более подробно о применении метода попарных предпочтений можно найти в работе [79].

Схожим с методом попарных предпочтений является метод анализа иерархий по алгоритму Саати [30]. Данный метод, по существу, отличается от метода попарных предпочтений определением матрицы. Но данный метод будет уступать по точности методу попарных предпочтений в силу субъективности определения матрицы.

Еще одним подходом к использованию экспертной информации при объединении прогнозов можно назвать *использование в объединении уже скорректированных прогнозных результатов экспертами*. В этом случае, как отмечают Ван Дайк и Филипп Френсис, весовые коэффициенты для объединения двух частных прогнозов будут иметь следующий вид [107] (74):

$$w_1 = \frac{\sigma_2^2 + v_2^2 - 2z_2 - \sigma_{12} - v_{12}}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2\sigma_{12} + v_1^2 - 2z_1 + v_2^2 - 2z_2 - 2v_{12}}; \quad (74)$$

$$w_2 = 1 - w_1,$$

где σ_i – ковариация i -го прогноза;

σ_{12} – ковариация между двумя прогнозами;

v_i – ковариация корректировки прогноза экспертом;

z_i – ковариация между ошибками прогноза и ошибкой корректировки прогноза экспертом.

Описанные выше методы определения весовых коэффициентов используют оценки экспертов в своих вычислениях. К сожалению, эти методы являются достаточно субъективными и в значительной степени зависят от компетентности экспертов. Но в качестве информации, влияющей на

изучаемый процесс, можно рассматривать не только оценки экспертов о прогнозируемом процессе, но и информацию о других процессах. Так, зная уровень взаимосвязи между двумя процессами, можно определить корректирующий коэффициент для объединенного прогноза рассматриваемого процесса. В случае если два процесса подвержены одной и той же динамике, то оценивая один из процессов можно получить и оценку для другого процесса. Но для этого необходимо, чтобы временные ряды, описывающие изучаемые процессы, были коинтегрированы между собой.

Под коинтеграцией временных рядов принято понимать ситуацию, при которой ряды имеют схожий тренд и ненамного удаляются друг от друга в течение времени. Более математическое определение коинтеграции выглядит следующим образом: если некоторая линейная комбинация двух временных рядов имеет порядок интегрирования, меньший, чем порядок интегрирования каждого из рядов, то говорят, что временные ряды коинтегрированы [108]. Саму коинтеграцию между временными рядами можно определить при помощи теста Йохансена, который реализован во многих пакетах статистических программ. Таким образом, если для объединения прогнозов нескольких временных рядов будет подобран показатель со схожими изменениями во времени, то его изменения можно будет учесть при прогнозировании исходного временного ряда.

Методика прогнозирования с использованием информации от коинтегрированных временных рядов достаточно простая. На первом этапе определяют временной ряд, который будет использоваться для последующего прогнозирования. Такой ряд должен быть коинтегрированным к объединению прогнозов, используемому в исследовании, и должен иметь достаточно доступной информации о прогнозируемой динамике изменений.

В последующем между объединением прогнозов и коинтегрированному к нему временному рядом определяется корректирующий коэффициент, устанавливающий зависимость между ними. Такой коэффициент в дальнейшем

сможет скорректировать динамику объединения прогнозов на основе доступной информации. В этом случае форма объединенного прогноза будет иметь следующий вид (75):

$$F = \gamma \left(\sum_{i=1}^n w_i x_i \right), \quad (75)$$

где γ – корректирующий коэффициент.

Кроме описанных выше методов, существуют и другие способы привлечь экспертную информацию в объединенный прогноз. Более подробно рассмотренные выше методы и методы, которые не были рассмотрены, но могут так же применяться для объединения прогнозов представлены в таблице 6, где описаны все преимущества и недостатки методов построения интегрального показателя, которые можно использовать для построения весовых коэффициентов при объединении прогнозов.

Таблица 6 - Методы объединения прогнозов с использованием экспертной информации

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
<p>Метод ранжирования и метод приписывания баллов</p>	<p>Наиболее простые методы с использованием ранжирования отдельных прогнозов по их точности</p>	<p>Не требуют дополнительной информации об исследуемом процессе. Более точные индивидуальные прогнозы получают больший вес</p>	<p>Не приводят к повышению точности прогнозирования. Весовые коэффициенты рассчитываются на основании выданной оценки, без учета информации о том или ином отдельном методе прогнозирования. Близким по значению прогнозам соответствуют веса с большим отличием по значению</p>
<p>Формулы Фишберна</p>	<p>Более корректное распределение оценок индивидуальным методам прогнозирования относительно методов ранжирования и приписывания баллов</p>	<p>Так же являются простыми методами использования экспертной информации при объединении прогнозов</p>	<p>Так же имеют низкий прирост по точности относительно простого усреднения индивидуальных прогнозов. Имеют те же недостатки что и методы приписывания баллов и ранжирования</p>

Продолжение таблицы 6.

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
<p>Метод попарных предпочтений</p>	<p>Каждый из индивидуальных прогнозов оценивается предпочтением относительно других прогнозов. На основании всех оценок выстраивается матрица предпочтений, каждый элемент которой является предпочтительным весом для конкретного индивидуального прогноза. Кроме экспертных оценок для оценки матрицы предпочтений можно использовать и информацию о точности того или иного отдельного метода прогнозирования</p>	<p>Метод предполагает различную оценку матрицы предпочтений, что делает его универсальным методом с использованием экспертной информации. Является программируемым методом и приводит к повышению точности прогнозирования относительно отдельных методов. Метод не требует большого количества информации об изучаемом процессе. Достаточно гибкий метод, корректирующий свои результаты относительно новой полученной информации. Хорошо приспособлен для использования экспертной информации</p>	<p>Имеет меньшую точность относительно других методов объединения прогнозов</p>

Продолжение таблицы 6.

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
Использование экспертной информации для определения граничных интервалов [60]	Привлечение экспертов для определения максимальных и минимальных значений для объединенного прогноза. После чего задача объединения сводится к решению задачи линейного программирования с ограничениями	Отсутствие необходимости в большом количестве экспертной информации	Необходима экспертная информация о граничных интервалах изучаемого процесса в будущем
Корректировка частных прогнозов экспертами перед их объединением	Предлагается привлечение экспертов на стадии получения и корректировки частных прогнозов. Основе оценки дисперсий как частных прогнозов, так и скорректированных экспертов вырабатываются весовые коэффициенты объединенного прогноза	Дополнительное повышение точности прогнозирования с использованием информации, предоставленной экспертами	Необходимость привлечения реальных экспертов в той области, в которой производится прогнозирование

Продолжение таблицы 6.

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
<p>Метод рандомизированных сводных показателей [38]</p>	<p>На основе всей доступной информации об изучаемом процессе (нечисловой, неполной и неточной), вычисляются оценки весов в общем сводном показателе, через случайный выбор возможной вариации весовых коэффициентов. В качестве показателей при весовых коэффициентах выступают вероятности того что реальные данные будут равны данному показателю</p>	<p>Достаточно эффективный метод корректировки объединенного прогноза с использованием нескольких видов экспертной информации. Не требует знания числовой, точной и полной информации об изучаемом процессе</p>	<p>Необходимо использование нескольких видов экспертной информации. Сам метод требует программной реализации и не может быть применен без необходимых знаний о методологии. Сложность расчетов</p>
<p>Применение коинтегрируемых временных рядов</p>	<p>Вычисление корректирующего коэффициенты для объединения прогнозов с использованием другого коинтегрируемого временного ряда</p>	<p>Быстрая адаптация корректирующего коэффициента к внешним изменениям. Уточнение объединенного прогноза относительно внешних факторов</p>	<p>Низкая точность прогнозирования. Корректирующий коэффициент может зависеть от факторов, которые не будут оказывать влияние на исследуемый процесс</p>

Источник: составлено автором.

2.5 Методика повышения точности прогнозирования на основе объединения прогнозов

Необходимость использования объединения прогнозов для повышения точности экономического прогнозирования требует разработки методики применения объединения прогнозов, в частности, для использования объединения для целей стратегического планирования.

В ходе рассмотрения различных методов объединения прогнозов и их применения на практике были разработаны компоненты такой методики. Можно выделить шесть основных пунктов применения объединения прогнозов.

1. Определение числа частных методов прогнозирования. Первым этапом при объединении прогнозов является определение максимального числа частных методов прогнозирования, которые будут использоваться при объединении. Для объединения прогнозов нередко используют только два частных метода прогнозирования. Но на практике было установлено [123], что наибольшее повышение точности прогнозирования будет достигаться при объединении не более пяти частных методов прогнозирования. Последующее увеличение числа частных прогнозов не только не приведет к повышению точности объединенного прогноза, но может и ухудшить ее.

2. Выбор частных методов прогнозирования. Частные методы прогнозирования, результаты которых будут использоваться при объединении прогнозов, также играют важную роль. Для максимального повышения точности прогнозирования при объединении прогнозов, необходимо чтобы объединение основывалось на как можно большем массиве информации об изучаемом процессе. Это достигается посредством применения разносторонних методов прогнозирования. При этом точность используемых методов прогнозирования не играет решающей роли, поскольку даже самый неточный метод прогнозирования может включать часть информации о процессе, которая также может положительно повлиять на точность прогнозирования при

объединении. В качестве оптимального выбора частных методов прогнозирования можно использовать следующие рассмотренные выше методы:

- метод гармонических весов (MGV);
- метод экспоненциального сглаживания (MEKS);
- метод экспоненциального сглаживания с трекинг-сигналом (MAEKS);
- модель Бокса-Дженкинса (ARIMA).

Эти методы достаточно часто применяются для прогнозирования многих экономических показателей, они используют в своем построении различную информацию об исследуемом процессе.

После определения индивидуальных прогнозов по частным моделям прогнозирования необходимо определить весовые коэффициенты, с которыми данные прогнозы будут входить в объединение. Для этого необходимо определиться с формой и методом объединения.

3. Выбор формы объединения прогнозов. Чрезвычайно важной проблемой при объединении прогнозов является выбор формы, при которой индивидуальные прогнозы будут объединяться в единый прогноз. Как было отмечено ранее в данной главе исследования, наиболее часто на практике используется линейная форма объединения прогнозов, хотя она и не является единственной (76):

$$F = \sum_{i=1}^n f_i w_i, \quad (76)$$

где F – объединенный прогноз;

f_i – i -й частный прогноз;

w_i – весовой коэффициент, с которым i -й частный прогноз включается в объединенный прогноз.

4. Выбор метода объединения прогнозов. Как было отмечено выше, на сегодняшний день существует множество методов для объединения прогнозов. Все они прежде всего касаются определения весовых коэффициентов, с которыми индивидуальные прогнозы будут включаться в объединенный прогноз. От удачного выбора того или иного метода объединения прогнозов будет зависеть и повышение точности прогнозирования. Но не все методы объединения прогнозов могут привести к повышению точности прогнозирования. Кроме того, необходимо учитывать ограничения, которые накладываются на весовые коэффициенты. Некоторые методы не учитывают эти ограничения, что также может сказаться на точности прогнозирования.

Основными ограничениями, которые должны учитываться при объединении прогнозов, являются:

1) положительность весовых коэффициентов с которыми частные прогнозы включаются в объединение;

2) сумма весовых коэффициентов должна равняться единице.

Иногда в качестве дополнительного условия также при линейной форме объединения рассматривают использование постоянного коэффициента. Но необходимость его использования на сегодняшний момент не доказана.

Таким образом, общую форму объединения прогноза можно определить, так (77):

$$\begin{aligned}
 F &= \sum_{i=1}^n w_i x_i; \\
 \sum_{i=1}^n w_i &= 1; \\
 w_i &> 0, i = 1, \dots, n.
 \end{aligned}
 \tag{77}$$

Следует отметить, что при объединении прогнозов не обязательно использовать сложные методы нахождения весовых коэффициентов. Если простое усреднение может дать необходимую для исследователя прибавку в точности прогнозирования, то достаточно остановиться именно на данном методе объединения прогнозов. Из этого следует, что при построении весовых коэффициентов и объединении прогнозов нет универсального подхода. В то же время существуют методы, которые в большинстве случаев гарантированно могут повысить точность прогнозирования. Поэтому на практике необходимо в первую очередь использовать именно эти методы при объединении. Но может случиться, что примененные методы не принесли необходимого повышения точности прогнозирования. В этом случае следует попробовать другие подходы.

В случае, если при объединении прогнозов все индивидуальные прогнозы примерно одинаковы по точности, то прежде всего следует использовать простое усреднение индивидуальных прогнозов. Если полученной точности недостаточно или же если есть хотя бы один индивидуальный прогноз, который является наиболее точным по сравнению с остальными используемыми прогнозами, то необходимо применение более сложных методов объединения прогнозов.

При практическом использовании методов объединения прогнозов и их сравнения с частными методами прогнозирования и между собой было установлено, что наиболее точным методом объединения прогнозов в большинстве случаев является, второй метод (В-метод) Грейнджера и Раманатхана, рассчитываемый по следующим формулам (78, 79):

$$\bar{\beta} = (F^T F)^{-1} F^T x - \lambda_B (F^T F)^{-1}; \quad (78)$$

$$\lambda_B = \frac{l^T \alpha - 1}{l^T (F^T F)^{-1} l}. \quad (79)$$

Но данный метод не удовлетворяет первому условию, накладываемому на весовые коэффициенты объединения. Часто на практике более точному частному методу прогнозирования данный метод придает весовой коэффициент, который больше единицы. Это приводит к тому что другой или другие частные прогнозы входят в объединение с отрицательными весами. При использовании данного метода объединения прогнозов это необходимо учитывать и в случае необходимости использовать модификации данного метода объединения прогнозов, которые исправляют отрицательность весов.

После выбора метода объединения прогнозов необходимо провести само объединение прогнозов. В зависимости от выбранного метода может потребоваться расчет ретропрогноза – аппроксимации исследуемого временного ряда методом объединения, после чего определяются весовые коэффициенты, которые будут использоваться при построении прогноза на будущий временной период. Следует отметить, что для объединения прогнозов на сегодняшний день нет методики построения доверительных интервалов.

5. Добавление экспертной информации. В настоящее время уже недостаточно использовать только статистическую информацию об исследуемом процессе. Нередко при прогнозировании необходимо использовать как отмечалось выше и экспертную информацию, которая также может привести к повышению точности прогнозирования. Объединение прогнозов хорошо подходит в качестве метода, который может учитывать экспертную информацию при прогнозировании. Такая информация может быть использована в объединении в качестве:

1) *частных методов прогнозирования.* В таком случае при объединении прогнозов используются экспертные методы прогнозирования как вместе со статистическими методами прогнозирования, так и без них. Решение об использовании данных методов необходимо принимать еще на стадии определения частных методов прогнозирования;

2) *ограничителей*. Экспертная информация может использоваться для определения ограничений, которые накладываются как на частные методы прогнозирования, так и на объединение в целом;

3) *корректировки объединения*. Это может быть, как постоянный коэффициент, включенный в объединение прогнозов, так и коэффициент, который будет корректировать результат объединения.

6. Оценка точности прогнозирования. После построения объединенного прогноза необходимо провести оценку качества и точности полученного результата. Точность прогнозирования оценивается на основе ретропрогноза.

Объединение прогнозов не может ухудшить точность прогнозирования по сравнению с используемыми в объединении индивидуальными методами. Но если при объединении прогнозов использовались не совсем точные частные методы прогнозирования, то результат будет аналогичным. В таком случае после объединения прогнозов необходимо оценивать точность полученного объединения. Если точность объединения является недостаточной, то необходимо использовать другие методы построения весовых коэффициентов при объединении прогнозов.

На сегодняшний день нет однозначной оценки точности полученного результата. Существует несколько методов, оценивающих точность и качество используемого метода прогнозирования. Эти методы также могут быть применимы и при оценке точности объединения прогнозов.

Наиболее часто используемыми являются следующие методы оценки точности прогнозирования, которые рекомендуется применять и при оценке объединения прогнозов:

- *среднеквадратическая ошибка* (80):

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_t)^2}{n}}; \quad (80)$$

- *среднее абсолютное отклонение (81):*

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \tilde{y}_t|}{n}; \quad (81)$$

- *среднее относительное отклонение, % (82):*

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \tilde{y}_t|}{y_i} * 100\%. \quad (82)$$

Рассмотренный алгоритм является универсальным подходом в использовании объединения прогнозов при необходимости повышения точности прогнозирования. Но его эффективность необходимо оценить на практике. Результаты оценки будут описаны в третьей главе настоящего диссертационного исследования.

ИТОГИ ВТОРОЙ ГЛАВЫ

На сегодняшний день в экономике существует множество методов прогнозирования, которые являются достаточно эффективными на практике. В связи с этим большая роль отводится совершенствованию данных методов, повышения их точности, в том числе и за счет использования различной доступной информации для прогнозирования. Объединение прогнозов как наиболее развитое направление совершенствования точности прогнозирования также сталкивается с проблемами своего совершенствования. При этом объединение прогнозов является методом повышения точности прогнозирования, на основе оценки различной доступной информации для исследователя.

Поэтому необходимо дальнейшее развитие методов объединения прогнозов с целью исправления недостатков, связанных с объединением. Таким

развитием может считаться как предложение новых методов объединения прогнозов, которые бы устраняли все недостатки, так и привлечение дополнительной экспертной информации как отдельного ресурса при повышении точности прогнозирования.

В период бурно развивающейся цифровой и информационной экономики особенно важно использование в стратегическом прогнозировании и планировании различных источников информации. Такой экспертной информацией при объединении прогнозов может служить информация как о точности того или иного метода прогнозирования, так и о смежных процессах, которые могут повлиять на прогнозируемый показатель. Это направление заслуживает дальнейшего развития.

В заключение предпринята попытка описания методики применения объединения прогнозов при повышении точности прогнозирования, которая включает основные этапы прогнозирования и использования методов объединения прогнозов.

ГЛАВА 3 ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОВЫШЕНИЕ ИХ ТОЧНОСТИ

3.1 Прогнозирование показателей динамики развития отдельных отраслей экономики России для целей стратегического планирования

Анализ предлагаемых модифицированных методик построения объединенных прогнозов будет проводиться на основе выбранных двенадцати временных рядов, характеризующих развитие различных производственных видов деятельности в целом в экономике России, в том числе и в промышленности.

Выбранные временные ряды описывают широкий спектр производства в различных областях деятельности, большая часть которых является основными показателями развития промышленности в стране. Такое количество временных рядов в какой-то мере сможет дать ответ об универсальности предлагаемой методики и о возможности использования объединения прогнозов в различных областях экономической деятельности.

Для исследования были выбраны следующие временные ряды промышленного производства в России в натуральном выражении:

- производства электроэнергии, млрд кВт ч;
- добычи угля, млн т.;
- добычи нефти, млн т.;
- добычи газа, млрд куб. м.;
- производства стали, млн т.;
- производства грузовых автомобилей, тыс. шт.;
- производства целлюлозы, тыс. т.;
- производства цемента, тыс. т.;
- производства проката готового, млн т.;

- производства чугуна, млн т.;
- производства бензина, млн т.;
- производства легковых автомобилей, тыс. шт.

Данные временные ряды охватывают динамику развития производства с 1955 по 2018 г., за исключением производства бензина, чей временной промежуток ограничен 1960 – 2018 гг. При этом с 1955 по 1991 г. данные взяты по РСФСР, а с 1991 по 2018 г. – по Российской Федерации.

Все временные ряды были собраны Институтом экономики РАН (Центр макроэкономического анализа и прогнозирования) на основе данных Росстата.

На заключительном этапе при анализе предлагаемых методов объединения прогнозов будет представлен прогноз исследуемых временных рядов на 2019 – 2023 гг. Выбранные временные ряды промышленного производства будут сравнены с прогнозами Министерства экономического развития РФ (МЭР) на данный промежуток времени.

Так как целью исследования было совершенствование методов прогнозирования, то первоначальным этапом анализа методов объединения прогнозов стало построение прогнозных моделей индивидуальных методов прогнозирования. Для этих целей было выбрано четыре метода прогнозирования:

- метод гармонических весов (MGV);
- модель Бокса-Дженкинса (ARIMA);
- простое экспоненциальное сглаживание (MEKS);
- экспоненциальное сглаживание с использованием трекинг-сигнала (MAEKS).

Рассматриваемые методы прогнозирования являются адаптивными методами и были ранее описаны в исследовании. Данные методы достаточно часто применяются для прогнозирования многих экономических показателей.

Количество вышеупомянутых методов прогнозирования было выбрано при условии, что для объединения прогнозов достаточно использовать до пяти

отдельных методов прогнозирования. Дальнейшее же привлечение методов в объединенный прогноз не будет приводить к повышению точности прогнозирования и может даже ухудшить точность объединенного прогноза из-за накапливаемой ошибки [123].

Для прогнозирования временных рядов по индивидуальным методам использовались программы, разработанные в ТВЦ Госкомстата РСФСР и Центре макроэкономического анализа и прогнозирования Института экономики РАН. Результаты, полученные при использовании индивидуальных методов прогнозирования, представлены в приложении к диссертационному исследованию (Приложение А).

Оценка точности прогнозирования для всех используемых методов (как для индивидуальных, так и для объединенных) проводилась на основе трех различных подходов: среднее квадратическое отклонение, среднее абсолютное отклонение и среднее относительное отклонение.

Отдельно необходимо отметить следующее: в силу того, что при построении прогнозной модели по методу ARIMA первые значения исследуемого ряда выпадают, объединение прогнозов в дальнейшем по конкретным временным рядам проводилось не на интервале 1955 – 2018 гг., а на том интервале, на котором была построена прогнозная модель методом ARIMA

1. Метод гармонических весов (MGV). Метод гармонических весов впервые был предложен польским статистиком З. Хелвингом [116]. В нашей стране он начал использоваться для прогнозирования временных рядов А.А. Френкелем. Так как в настоящем исследовании используется более десятка временных рядов, то построение индивидуальных моделей прогнозирования рассматривалось на примере одного из анализируемых временных рядов. Для остальных рядов приведены только промежуточные расчеты и окончательные результаты прогнозирования (Приложение №В). Подробное описание метода гармонических весов давалось во второй главе

данного диссертационного исследования. Кроме того, его описание изложено в книге по прогнозированию промышленного производства А.А. Френкеля [37].

Проиллюстрируем построение индивидуальной модели прогнозирования методом гармонических весов на примере временного ряда производства электроэнергии (млрд кВтч). В качестве периода сглаживания временных рядов был выбран k равным 5 (по значению промежутка) на который делается прогноз.

Первоначально необходимо проверить выполнение предпосылки на убывающую автокорреляцию временного ряда, чтобы убедиться в эффективности использования метода гармонических весов. Такая проверка должна снять вопрос о точности использованного метода прогнозирования. Проверим предположение об убывающей автокорреляционной функции временного ряда на десять сдвигов. Значения автокорреляционной функции представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Автокорреляционная функция для временного ряда производства электроэнергии в период 1950 – 2018 гг., млрд кВтч

Сдвиг	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значение	1,000	0,953	0,902	0,847	0,789	0,730	0,669	0,607	0,547	0,488	0,433

Источник: составлено автором

Из таблицы 7 видно, что автокорреляционная функция убывает с увеличением числа сдвигов, что подтверждает предпосылку об эффективности использования метода гармонических весов для данного временного ряда.

Следующим этапом построения индивидуальной модели прогнозирования на основании MGV является расчет приближенных функций движения скользящего тренда, коэффициенты которого рассчитываются по МНК. Результаты движения скользящего тренда для производства электроэнергии представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Значения приближенных функций движения скользящего тренда для производства электроэнергии в 1950 – 2018 гг., млрд кВт ч.

№ функции	Уравнение	Момент времени
1	$y_1(t) = 97,980 + 15,520t$	$t=1,2,3,4,5$
2	$y_2(t) = 91,080 + 17,420t$	$t=2,3,4,5,6$
3	$y_3(t) = 79,690 + 19,870t$	$t=3,4,5,6,7$
4	$y_4(t) = 67,840 + 22,120t$	$t=4,5,6,7,8$
5	$y_5(t) = 53,230 + 24,390t$	$t=5,6,7,8,9$
6	$y_6(t) = 33,100 + 27,000t$	$t=6,7,8,9,10$
7	$y_7(t) = 23,270 + 28,110t$	$t=7,8,9,10,11$
8	$y_8(t) = 28,620 + 27,490t$	$t=8,9,10,11,12$
9	$y_9(t) = 42,540 + 26,110t$	$t=9,10,11,12,13$
10	$y_{10}(t) = 43,260 + 26,160t$	$t=10,11,12,13,14$
...		
50	$y_{50}(t) = -458,480 + 27,800t$	$t=50,51,52,53,54$
51	$y_{51}(t) = 367,610 + 11,900t$	$t=51,52,53,54,55$
52	$y_{52}(t) = 693,859 + 5,980t$	$t=52,53,54,55,56$
53	$y_{53}(t) = 638,010 + 7,070t$	$t=53,54,55,56,57$
54	$y_{54}(t) = 429,120 + 10,850t$	$t=54,55,56,57,58$
55	$y_{55}(t) = 208,821 + 14,560t$	$t=55,56,57,58,59$
56	$y_{56}(t) = 855,641 + 3,380t$	$t=56,57,58,59,60$
57	$y_{57}(t) = 950,840 + 1,800t$	$t=57,58,59,60,61$
58	$y_{58}(t) = 708,880 + 5,920t$	$t=58,59,60,61,62$
59	$y_{59}(t) = 379,000 + 11,320t$	$t=59,60,61,62,63$
60	$y_{60}(t) = 249,240 + 13,420t$	$t=60,61,62,63,64$

Источник: составлено автором

На основе полученных уравнений были найдены значения скользящего тренда и соответствующие приросты средних значений трендов по формуле (33).

В точке $t=1$ можно найти только одно значение скользящего тренда $y_1(t) = 97,980 + 15,520 = 113,500$. А $\overline{y_1(t)} = 113,500$.

В точке $t=2$ можно найти уже два значения скользящего тренда и соответствующее среднее значение:

$$y_1(t) = 97,980 + 15,520 \cdot 2 = 129,020$$

$$y_2(t) = 91,080 + 17,420 \cdot 2 = 125,920$$

$$\overline{y_2(t)} = 127,470.$$

В точке $t=3$ соответственно можно найти три значения скользящего среднего и т.д. Расчеты средних значений скользящего среднего для $t=1...60$, приросты средних значений w и гармонические коэффициенты c представлены в таблице 9. При этом, гармонические веса c получены через деление гармонических коэффициентов на 65.

Таблица 9 - Характеристики временных рядов для расчета модели прогнозирования методом гармонических весов

№ прогнозного периода	y	$\overline{y(t)}$	w	c
1	2	3	4	5
1	115,9	113,5	-	-
2	129,1	127,47	13,97	0,00025
3	140,5	142,393	14,923	0,00051
4	158,3	159,077	16,684	0,00077
5	178,9	177,284	18,206	0,00103
6	197	197,948	20,664	0,0013
7	220,5	221,512	23,564	0,00158
8	248,1	247,788	26,276	0,00185
9	275,3	275,75	27,962	0,00214
10	304,6	303,918	28,168	0,00243
...				
54	1040,1	1020,812	10,652	0,02856
55	990,5	1021,354	0,542	0,03015
56	1037,8	1033,498	12,144	0,03191
57	1051,2	1045,81	12,312	0,0339
58	1064	1054,176	8,366	0,03616
59	1050,2	1057	2,824	0,03881
60	1055,2	1058,8	1,8	0,04198
61	1064,6	1067,005	8,205	0,04595
62	1086,4	1079,347	12,342	0,05124
63	1091,2	1093,43	14,083	0,05918
64	1109	1108,12	14,69	0,07505

Источник: составлено автором

Для проверки правильности вида модели использовалась проверка на случайность отклонений тренда от фактических данных. Для этого проверялась

гипотеза о том, что отклонения тренда скользящего среднего являются стационарными в широком смысле случайными процессами. Проверка отклонений на стационарность показала, что значения автокорреляционной функции остатков меньше значения верхней границы χ^2 -критерия с четырьмя степенями свободы при 5%-ном уровне значимости (значение χ^2 -критерия равно 9,488).

Для прогнозирования необходимо вычислить средний прирост, который рассчитывается по формуле (35). Средний прирост для временного ряда производства электроэнергии равняется 10,687.

Прогнозные результаты для рассматриваемого временного ряда по методу гармонических весов и доверительные интервалы, рассчитанные по формуле (40) для 95%-ного уровня значимости представлены в таблице 10, из которой видно что, ошибка прогноза не превышает 1,5%.

Таблица 10 – Прогнозные результаты и доверительные интервалы для производства электроэнергии по методу гармонических весов, млрд кВт ч.

Год	\bar{w}	Прогноз	Ошибка прогноза		Доверительные интервалы	
			абсолютная	в %	Нижняя граница	Верхняя граница
2019	10,687	1118,807	5,768	0,52	1113,039	1124,575
2020	10,687	1129,494	10,317	0,91	1119,177	1139,811
2021	10,687	1140,181	14,255	1,25	1125,926	1154,436
2022	10,687	1150,868	17,787	1,55	1133,081	1168,655
2023	10,687	1161,555	21,014	1,81	1140,542	1182,569

Источник: составлено автором

Точность прогнозирования, проверяемая по трем признакам, среднее квадратическое отклонение, среднее абсолютное отклонение и среднее относительное отклонение, которые представлены в таблице 11.

Таблица 11 - Оценка точности прогнозирования методом гармонических весов для производства электроэнергии за период с 1955 по 2018 гг., млрд кВт ч.

Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
6,735	4,334	0,582

Источник: составлено автором

2. Метод экспоненциального сглаживания (MEKS)

Описание данного метода прогнозирования также представлено во второй главе настоящего исследования. Рассмотрим пример использования MEKS на том же временном ряду производства электроэнергии. При прогнозировании использовался период сглаживания $k=5$ по тем же причинам, по которым данный период определялся и для построения модели методом MGV.

Первоначально было определено, что временной ряд производства электроэнергии лучше всего описывается квадратичной моделью. Для этого был проанализирован порядок разностного оператора по критерию, основанному на вычислении среднеквадратического отклонения разностных рядов. В случае, если порядок разностного оператора равняется нулю, в качестве трендовой модели прогнозирования используется постоянная модель. Если порядок равен единице, используется линейный тренд, если равен двум – квадратичный тренд и т.д. Данный порядок разностного оператора также будет использоваться для определения параметра d при прогнозировании методом ARIMA(p,d,q).

Из ниже представленных данных (таблица 12) видно, что наименьшим значением критерия для производства электроэнергии является значение при разностном операторе, равном двум.

Таблица 12 – Выбор разностного оператора

Порядок разностного оператора	Значение критерия
0	314,667
1	25,315
2	22,975
3	39,784
4	74,640
5	143,543

Источник: составлено автором

Тренд для аппроксимируемого ряда описывается следующей моделью (83):

$$y_t = 4,385 + 38,023t - \frac{1}{2} * 0,352t^2. \quad (83)$$

Начальная величина α при $k=5$ рассчитывается по формуле (84):

$$\alpha = \frac{2}{k + 1} \quad (84)$$

и равняется 0,333.

По формулам (26) были также рассчитаны начальные условия для S : $S_0^{[1]}(y) = -72,539$; $S_0^{[2]}(y) = -150,166$; $S_0^{[3]}(y) = -228,450$. Далее по формулам (27) были рассчитаны экспоненциальные средние – $S_I^{[1]}$, $S_I^{[2]}$, $S_I^{[3]}$. Далее расчеты экспоненциальных средних итеративно повторяются. Расчетные результаты построения временного ряда методом экспоненциального сглаживания представлены в таблице 13.

Как и в случае с использованием метода MVG, для MEKS проводилась проверка на стационарность отклонений фактических значений от расчетных. Проверка показала, что значения автокорреляционной функции остатков меньше значения верхней границы χ^2 -критерия с четырьмя степенями свободы при 5%-ном уровне значимости (значение χ^2 -критерия равно 9,488). Остатки построенной модели экспоненциального сглаживания являются случайными.

Таблица 13 – Последовательное построение модели прогнозирования методом MEKS

№ прогнозного периода	Экспоненциальное среднее			Оценка коэффициентов модели прогнозирования			Фактические значения временного ряда	Расчетные значения
	первого порядка	второго порядка	третьего порядка	первый	второй	третий		
1	-9,726	-103,353	-186,782	94,098	58,286	2,550	115,9	-
2	36,549	-56,719	-143,427	136,377	54,014	1,640	129,1	153,659
3	71,199	-14,079	-100,311	155,525	41,567	-0,238	140,5	191,210
4	100,233	24,025	-58,866	169,759	30,586	-1,671	158,3	196,973
5	126,455	58,168	-19,855	185,007	23,191	-2,434	178,9	199,510
6	149,970	88,769	16,353	199,957	17,985	-2,804	197,0	206,980
7	173,480	117,006	49,904	219,327	16,281	-2,657	220,5	216,540
8	198,353	144,122	81,310	244,005	17,463	-2,145	248,1	234,279
9	224,002	170,749	111,123	270,884	19,458	-1,593	275,3	260,396
10	250,868	197,455	139,900	300,139	22,047	-1,035	304,6	289,546
...								
55	991,902	966,052	939,0008	1016,550	11,574	-0,300	990,5	1078,421
56	1007,201	979,768	952,59	1034,889	14,003	0,064	1037,8	1027,974
57	1021,867	993,801	966,3271	1050,525	14,699	0,1480	1051,2	1048,923
58	1035,912	1007,838	980,1641	1064,385	14,486	0,099	1064,0	1065,298
59	1040,674	1018,783	993,0372	1058,710	6,608	-0,964	1050,2	1078,921
60	1045,516	1027,694	1004,589	1058,055	2,967	-1,321	1055,2	1064,836
61	1051,877	1035,755	1014,978	1063,344	2,824	-1,164	1064,6	1060,362
62	1063,385	1044,965	1024,974	1080,233	7,442	-0,393	1086,4	1065,586
63	1072,656	1054,196	1034,714	1090,097	8,083	-0,255	1091,2	1087,478
64	1084,771	1064,387	1044,605	1105,756	10,869	0,150	1109,0	1098,052

Источник: составлено автором

По последним для ретропрогноза экспоненциальным средним и коэффициентам модели были построены прогнозные значения временного ряда производства электроэнергии. Результаты прогнозирования и доверительные интервалы при 95%-ном уровне значимости представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Прогнозные результаты и доверительные интервалы для производства электроэнергии по методу экспоненциального сглаживания, млрд кВт ч.

Год	Прогноз	Ошибка прогноза		Доверительные интервалы	
		абсолютная	в %	Нижняя граница	Верхняя граница
2019	1116,700	31,410	2,81	1053,971	1179,429
2020	1127,794	35,813	3,18	1056,293	1199,295
2021	1139,038	42,141	3,70	1054,927	1223,150
2022	1150,433	49,663	4,32	1051,333	1249,533
2023	1161,979	57,917	4,98	1046,440	1277,518

Источник: составлено автором

Из таблицы 14 видно, что ошибка прогноза по методу экспоненциального сглаживания незначительно превышает 5%. Для оценки точности прогнозирования также использовались три параметра оценки ретропрогноза: среднее квадратическое отклонение, среднее абсолютное отклонение и среднее относительное отклонение, которые представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Оценка точности прогнозирования методом экспоненциального сглаживания для производства электроэнергии за период с 1955 по 2018 гг., млрд кВт ч.

Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
29,080	19,761	3,717

Источник: составлено автором

Результаты прогнозирования методом MEKS уже показывают, что используемый метод уступает по точности методу гармонических весов. В

связи с этим будет уместно использовать модифицированный метод экспоненциального сглаживания с трекинг-сигналом (МАЕКС).

3. Метод экспоненциального сглаживания с трекинг-сигналом (МАЕКС). Для построения модели прогнозирования с использованием метода экспоненциального сглаживания с трекинг-сигналом необходимо определить начальные условия для α и γ . Начальное значение α рассчитывается по формуле (84). При этом, параметр k был выбран равным 5, значит начальное значение $\alpha=0,33$.

Прогнозная модель для производства электроэнергии остается квадратичной. В качестве начального значения γ было выбрано значение 0,01 с шагом изменения также 0,01. Расчеты производились для 95%-ной вероятности. Начальные условия для параметров сглаживания: $S_0^{[1]}(y) = -72,540$; $S_0^{[2]}(y) = -150,166$; $S_0^{[3]}(y) = -228,496$.

По формуле (27) определялось значение трекинг сигнала для следующего уровня наблюдения и его значение сравнивалось с пороговыми значениями, равными $\pm 0,01$. В случае, если трекинг-сигнал не выходил за пороговые значения, то по рекуррентной формуле (26) находились следующие значения: $S_I^{[1]}$, $S_I^{[2]}$, $S_I^{[3]}$, и по ним определялись экспоненциальные средние для вычисления прогноза. В случае же если трекинг-сигнал выходил за пороговые значения, то значение α увеличивалось на 0,05 и уже по новому значению α осуществлялся расчет новых S .

При расчетах параметр α изменялся дважды. Первое изменение с 0,33 на 0,38 произошло на 39-м значении временного ряда ($\gamma = - 0,1201$), второе изменение с 0,38 на 0,43 – уже на 40-м значении ($\gamma = - 0,1342$), данное изменение оказалось окончательным. Таким образом для временного ряда производства электроэнергии оптимальным значением параметра α является 0,43.

Расчетные результаты построения модели прогнозирования с применением метода экспоненциального сглаживания с трекинг-сигналом представлены в таблице 16.

Проверка отклонений на стационарность также показала, что значения остатков построенной модели экспоненциального сглаживания являются случайными.

Результаты прогнозирования методом экспоненциального сглаживания с трекинг-сигналом и доверительные интервалы при 95%-ном уровне значимости представлены в таблице 17, а оценка точности прогнозирования на основе оценки ретропрогноза показана в таблице 18.

Таблица 17 – Прогнозные результаты и доверительные интервалы для производства электроэнергии по методу МАЕКС, млрд кВт ч.

Год	Прогноз	Ошибка прогноза		Доверительные интервалы	
		абсолютная	%	Нижняя граница	Верхняя граница
2019	1121,755	38,269	3,41	1045,328	1198,182
2020	1136,711	45,882	4,04	1045,106	1228,315
2021	1152,559	56,3285	4,89	1040,128	1264,989
2022	1169,298	68,3209	5,84	1032,969	1305,628
2023	1186,93	81,1769	6,84	1024,99	1348,871

Источник: составлено автором

Таблица 18 – Оценка точности прогнозирования методом МАЕКС для производства электроэнергии за период с 1955 по 2018 гг., млрд кВт ч.

Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
28,675	19,707	3,659

Источник: составлено автором

Таблица 16 – Последовательное построение модели прогнозирования методом МАЕКС

№ прогнозного периода	Экспоненциальное среднее			Оценка коэффициентов модели прогнозирования			Фактические значения временного ряда	Расчетные значения
	первого порядка	второго порядка	третьего порядка	первый	второй	третий		
1	-9,726	-103,353	-186,782	94,098	58,286	2,550	115,9	-
2	36,549	-56,719	-143,428	136,377	54,014	1,640	129,1	153,659
3	71,199	-14,080	-100,312	155,525	41,567	-0,238	140,5	191,2103
4	100,233	24,025	-58,866	169,759	30,586	-1,671	158,3	196,9734
5	126,455	58,168	-19,855	185,007	23,191	-2,434	178,9	199,5099
6	149,970	88,769	16,353	199,957	17,985	-2,804	197,0	206,9805
7	173,480	117,006	49,904	219,327	16,281	-2,657	220,5	216,5399
8	198,353	144,122	81,310	244,005	17,463	-2,145	248,1	234,2791
9	224,002	170,749	111,123	270,884	19,458	-1,593	275,3	260,3956
10	250,868	197,455	139,900	300,139	22,047	-1,035	304,6	289,5456
...								
55	1000,194	987,026	966,105	1005,611	-4,053	-4,533	990,5	1073,545
56	1016,490	999,794	980,703	1030,793	8,407	-1,399	1037,8	999,2919
57	1031,531	1013,547	994,935	1048,889	12,611	-0,366	1051,2	1038,500
58	1045,601	1027,437	1009,019	1063,512	13,429	-0,148	1064,0	1061,317
59	1047,594	1036,172	1020,785	1055,052	1,513	-2,318	1050,2	1076,867
60	1050,890	1042,549	1030,216	1055,238	-0,896	-2,335	1055,2	1055,407
61	1056,831	1048,738	1038,243	1062,521	1,811	-1,405	1064,6	1053,174
62	1069,644	1057,797	1046,716	1082,257	10,454	0,448	1086,4	1063,63
63	1078,985	1066,979	1055,497	1091,516	10,136	0,307	1091,2	1092,935
64	1091,992	1077,818	1065,169	1107,691	13,618	0,892	1109,0	1101,805

Источник: составлено автором

Как видно по оценке точности прогнозных моделей, построенных по методам MEKS и MAEKS, вторая модель немного, но точнее, первой. Использование трекинг-сигнала смогло повысить точность прогнозирования. К сожалению, для временного ряда добычи нефти такого улучшения в точности не произошло.

4. Объединенная модель Бокса-Дженкинса: авторегрессии и скользящего среднего (ARIMA). Этот метод является одним из наиболее распространенных методов экономического прогнозирования. Однако он требует достаточного количества значений временного ряда. Модель прогнозирования ARIMA строилась с использованием пакета прикладных программ EViews 6.

Первоначально необходимо определить порядок авторегрессии (p), скользящего среднего (q) и разностного оператора (d). Порядок разностного оператора определялся так же, как и порядок регрессионной модели для использования при прогнозировании методами MEKS и MAEKS. Для производства электроэнергии порядок интегрирования равен двум. Порядок скользящего среднего устанавливался по максимальному по модулю значению автокорреляционной функции временного ряда, а порядок авторегрессии – по максимальному значению по модулю частной автокорреляционной функции для порядка интегрирования. Функции определялись для расчетных разностных операторов.

Автокорреляционная функция для значений производства электроэнергии при второй разности (порядок интегрирования) представлена в таблице 19, из которой видно, что максимальное по модулю значение автокорреляционной функции временного ряда является значение при первом сдвиге, а значит наша модель ARIMA будет иметь первый порядок для экспоненциального сглаживания.

Таблица 19 – Автокорреляционная функция для временного ряда производства электроэнергии вторых разностей, млрд кВт ч.

Сдвиг	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значение	1,000	-0,477	0,228	-0,256	0,253	-0,101	-0,032	-0,095	0,055	-0,094	0,011

Источник: составлено автором

Частная автокорреляционная функция временного ряда производства электроэнергии представлена в таблице 20. Функция строилась для временного ряда с лагом 2 (по порядку разностного оператора), в таблице представлены первые десять сдвигов временного ряда.

Таблица 20 – Частная автокорреляционная функция для временного ряда производства электроэнергии, млрд кВт ч.

Сдвиг	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значение	1,000	-0,477	0,000	-0,190	0,081	0,091	-0,114	-0,151	-0,074	-0,161	-0,116

Источник: составлено автором

Максимальное значение по модулю частной автокорреляционной функции временного ряда достигается при сдвиге равным единице. Это подтверждается и проверкой на стационарность тестом Дики–Фуллера, результаты которого для исходного временного ряда представлены на рисунке 2.

```

Null Hypothesis: X1 has a unit root
Exogenous: Constant
Lag Length: 2 (Automatic based on SIC, MAXLAG=10)

```

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.956813	0.3048
Test critical values:		
1% level	-3.542097	
5% level	-2.910019	
10% level	-2.592645	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

```

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(X1)
Method: Least Squares
Date: 04/14/19 Time: 17:58
Sample (adjusted): 1958 2018
Included observations: 61 after adjustments

```

Рисунок 2 - Тест Дики–Фуллера для производства электроэнергии

Источник: составлено автором

P -значение для исходного временного ряда равно 0,305, что намного больше 5%-ного уровня значимости. Это означает, что исходный ряд нестационарный. При первом порядке интегрирования ряд остается нестационарным, p -значение по тесту равняется 0,128. При втором порядке интегрирования ряд приходит к стационарному виду, p -значение равняется нулю.

Таким образом, для производства электроэнергии будет использоваться модель авторегрессии и скользящего среднего Бокса–Дженкинса вида ARIMA(1,2,1). Результаты прогнозирования с использованием модели ARIMA(1,2,1) для производства электроэнергии представлены на рисунке 3.

Dependent Variable: D(X1,2)
 Method: Least Squares
 Date: 04/13/19 Time: 16:13
 Sample (adjusted): 1958 2018
 Included observations: 61 after adjustments
 Convergence achieved after 18 iterations
 MA Backcast: 1957

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.027194	1.824674	0.014903	0.9882
AR(1)	-0.512504	0.236699	-2.165211	0.0345
MA(1)	0.042654	0.274514	0.155381	0.8771

R-squared	0.229106	Mean dependent var	0.104918
Adjusted R-squared	0.202523	S.D. dependent var	23.16462
S.E. of regression	20.68637	Akaike info criterion	8.944757
Sum squared resid	24819.70	Schwarz criterion	9.048570
Log likelihood	-269.8151	Hannan-Quinn criter.	8.985442
F-statistic	8.618645	Durbin-Watson stat	2.006701
Prob(F-statistic)	0.000528		

Inverted AR Roots	-.51
Inverted MA Roots	-.04

Рисунок 3 - Модель прогнозирования ARIMA(1,2,1) производства электроэнергии и ее статистические характеристики, млрд кВт ч.
 Источник: составлено автором

По результатам построения модели прогнозирования можно сделать вывод, что, хотя постоянный коэффициент C и коэффициент при скользящем среднем и являются статистически незначимыми при 5%-ном уровне значимости, модель в целом значима и является адекватной (по F -критерию Фишера). Таким образом, данной моделью можно пользоваться для прогнозирования. Результаты прогнозирования моделью ARIMA представлены

в таблице 21. Ошибка прогноза для модели ARIMA не превысила 4%. Оценки точности прогнозирования представлена в таблице 22.

Таблица 21 – Прогнозные результаты и доверительные интервалы для производства электроэнергии по методу ARIMA, млрд кВт ч.

Год	Прогноз	Ошибка прогноза		Доверительные интервалы	
		абсолютная	в %	Нижняя граница	Верхняя граница
2019	1120,380	40,446	3,610	1088,924	1133,076
2020	1135,092	46,221	4,072	1084,978	1146,621
2021	1148,137	63,228	5,507	1079,125	1153,382
2022	1162,078	67,087	5,773	1071,645	1169,155
2023	1175,600	79,612	6,772	1062,726	1177,674

Источник: составлено автором

Таблица 22 – Оценка точности прогнозирования методом ARIMA для производства электроэнергии за период с 1955 по 2018 гг., млрд кВт ч.

Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
20,171	13,437	1,672

Источник: составлено автором

Выше приведен пример расчета индивидуальных методов прогнозирования для производства электроэнергии. Расчеты для других временных рядов производились на основе тех же принципов, что и для временного ряда производства электроэнергии.

Анализ построения индивидуальных методов прогнозирования показал, что метод гармонических весов является наиболее точным методом прогнозирования и при объединении прогнозов именно этому методу будут придаваться большие весовые коэффициенты. Следующим по точности индивидуальным методом прогнозирования является ARIMA, на точность данного метода сказывается малая выборка временного ряда. Метод

экспоненциального сглаживания с использованием трекинг-сигнала является немного точнее, чем обычный метод экспоненциального сглаживания.

Теперь рассмотрим объединение прогнозов для построенных индивидуальных прогнозных моделей.

3.2 Повышение точности прогнозирования путем использования объединения прогнозов

Сначала рассмотрим применение обычных методов объединения прогнозов без каких-либо модификаций. Далее будут рассмотрены модифицированные методы объединения прогнозов, которые предлагаются автором работы для улучшения точности прогнозирования и устранения возможных проблем в объединении. Такими проблемами, как уже отмечалось, являются в первую очередь отрицательные весовые коэффициенты. В дополнение к математическим методам объединения прогнозов также будут рассмотрены некоторые экспертные методы. В заключение будет проведен сравнительный анализ всех используемых методов объединения прогнозов с целью установления наиболее приемлемого по точности и качеству метода, который и ляжет в основу предлагаемой методики повышения точности прогнозирования.

В качестве рассматриваемых методов объединения прогнозов были выбраны следующие методы:

1) статистические методы объединения прогнозов, которые уже используются на практике:

- методы объединения прогнозов Бейтса и Грейнджера;
- методы объединения прогнозов Грейнджера и Раманатхана;

2) модификации для объединения прогнозов:

- последовательное объединение прогнозов;

- модифицированный второй метод Грейнджера и Раманатхана с использованием константы и без нее;
 - применение гребневой регрессии для объединения прогнозов;
- 3) методы с использованием экспертной информации:
- методы с использованием формул Фишберна;
 - метод попарных предпочтений;
 - метод использования коинтеграционного временного ряда.

1. Методы объединения прогнозов Бейтса и Грейнджера. Для объединения прогнозов методами Бейтса и Грейнджера использовалась их расширенная версия для двух и более частных методов прогнозирования. Это связано с тем, что в диссертационной работе рассматривается четыре отдельных метода. Объединение прогнозов так же, как и для прогнозирования частными методами, рассматривалось для производства электроэнергии млрд кВт ч., но временные ряды для построения прогнозной модели использовались во временной период с 1958 г. для соизмеримости точности прогнозирования, так как практически во всех методах объединения прогнозов на значение весовых коэффициентов объединения влияет точность той или иной индивидуальной модели прогнозирования.

Методы объединения прогнозов Бейтса и Грейнджера можно считать адаптивными методами, так как весовые коэффициенты при объединении изменяются на каждом шаге построения прогноза относительно точности каждого отдельного метода прогнозирования. В данном случае прогнозирование необходимо проводить только на один шаг вперед с последующем пересчетом весовых коэффициентов.

При этом первый шаг объединения прогнозов и построения весов осуществляется на основе нескольких первых индивидуальных методов прогнозирования. Для первого, третьего и четвертого методов объединения прогнозов Бейтса и Грейнджера необходимы первые три индивидуальных

прогнозов (оптимальное значение). Во втором же методе на первом шаге объединения используется девять первых индивидуальных прогнозов. В пятом методе объединения прогнозов используется информация о точности только на предыдущем шаге прогнозирования. Кроме того, для построения весов при объединении применялись и другие рекомендованные оптимальные значения в вычислениях. В качестве параметра сглаживания во втором и пятом методах использовалось $\alpha=0,5$, а начальное значение веса как 0,25 (простое усреднение). В третьем методе объединения прогнозов использовалось $\beta=1,5$, а в четвертом – $\beta=2,5$.

Таким образом, при построении весовых коэффициентов методами Бейтса и Грейнджера для производства электроэнергии были получены результаты, описанные в таблице 23. Веса представлены при прогнозировании показателя на 2019 г. На 2020–2023 использовались те же весовые коэффициенты.

Таблица 23 – Весовые коэффициенты для индивидуальных прогнозов производства электроэнергии, построенные по методам Бейтса и Грейнджера, млрд кВт ч.

Метод	MGV	MEKS	MAEKS	ARIMA
1	0,683	0,080	0,065	0,171
2	0,692	0,085	0,095	0,128
3	0,692	0,085	0,095	0,128
4	0,697	0,083	0,091	0,129
5	0,370	0,194	0,325	0,111

Источник: составлено автором

При анализе полученных весовых коэффициентов можно отметить, что веса практически одинаковые при всех методах объединения, кроме пятого. Как отмечалось ранее в работе [78], у пятого метода объединения прогнозов Бейтса и Грейнджера точность ниже, чем у остальных методов. Это как раз и связано с тем, что пятый метод объединения использует недостаточно информации о методах прогнозирования. Так как в методах присутствует оптимизация,

весовые коэффициенты при объединении прогнозов методами Грейнджера и Раманатхана всегда будут в сумме давать единицу и всегда будут положительными. Прогнозы на 2019–2021 гг. представлены в таблице 24. К сожалению, на данный момент для объединенного прогноза нет методики расчета доверительных интервалов. По этой причине результаты прогнозирования представлены только на основе прогнозных результатов.

Оценка точности методов объединения прогнозов Бейтса и Грейнджера при прогнозировании производства электроэнергии представлена в таблице 25. Для второго метода объединения прогнозов Бейтса и Грейнджера период для оценки точности прогнозирования брался с 1961 г., в силу методики построения весовых коэффициентов объединения.

Таблица 24 - Прогнозные результаты и доверительные интервалы для производства электроэнергии при объединении прогнозов методами Бейта и Грейнджера, млрд кВт ч.

Год				
2019	2020	2021	2022	2023
1-й метод				
1119,101	1130,788	1142,261	1153,957	1165,653
2-й метод				
1119,110	1130,754	1142,281	1154,021	1165,805
3-й метод				
1119,108584	1130,7494	1142,2741	1154,0108	1165,79132
4-й метод				
1119,102309	1130,73035	1142,23674	1153,95233	1165,707594
5-й метод				
1119,531	1132,13	1144,864	1158,015	1171,44

Источник: составлено автором

Таблица 25 – Оценка точности объединения прогнозов методами Бейтса и Грейнджера для производства электроэнергии за период с 1955 по 2018 гг. млрд кВт ч.

Метод	Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
1	9,328	5,794	0,703
2	8,422	5,812	0,666
3	10,045	6,425	0,923
4	10,045	6,319	0,932
5	13,468	8,602	1,058

Источник: составлено автором

Как и предполагалось, пятый метод объединения прогнозов Бейтса и Грейнджера имеет наименьшую точность относительно других методов. Для первых четырех методов средняя относительная ошибка прогноза не превышала 1,0%, для пятого метода ошибка превысила 1,0%.

2. Методы объединения прогнозов Грейнджера и Раманатхана.

Следующей серией методов объединения прогнозов являются методы Грейнджера и Раманатхана.

В отличие от методов Бейтса и Грейнджера данные методы используют постоянные весовые коэффициенты, рассчитанные на основе всей ретроспективы временного ряда. При построении весов, второй и третий метод корректируют коэффициенты, полученные по первому методу. В третьем методе в модели объединенного прогноза также используется постоянный коэффициент.

Каких-либо особых условий при построении весов по методам Грейнджера и Раманатхана не требуется. Результаты весовых коэффициентов представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Весовые коэффициенты для индивидуальных прогнозов производства электроэнергии, построенные по методам Грейнджера и Раманатхана, млрд кВт ч.

Метод	MGV	MEKS	MAEKS	ARIMA
1	1,051	-0,056	0,041	-0,034
2	1,050	-0,057	0,040	-0,033
3	1,055	-0,060	0,044	-0,038

Источник: составлено автором

Для третьего метода постоянный коэффициент равен -0,921.

Как и в случае с весовыми коэффициентами, рассчитанными по методу Бейтса и Грейнджера, можно заметить, что веса по всем трем методам почти одинаковые. При этом во всех трех случаях сумма весов равняется единице, хотя в первом методе такого ограничения не имеется.

Кроме того, видно, что у метода гармонических весов весовой коэффициент больше единицы, что приводит к отрицательным весовым коэффициентам у метода экспоненциального сглаживания и у модели Бокса–Дженкинса.

Прогнозные значения, полученные при объединении прогнозов методами Грейнджера и Раманатхана для производства электроэнергии в 2018 – 2020 гг., представлены в таблице 27. Как видно из таблицы 28, ошибка прогноза для методов Грейнджера и Раманатхана не превышает 1,5%. Это является наилучшим результатом по точности среди всех рассмотренных как отдельных методов, так и методов объединения прогнозов.

Следует отметить, что, как отмечается в других работах [92, 106], постоянный коэффициент в третьем методе объединения прогнозов Грейнджера и Раманатхана действительно незначительно, но ухудшает точность прогнозирования.

Таблица 27 – Прогнозные результаты и доверительные интервалы для производства электроэнергии при объединении прогнозов методами Грейнджера и Раманатхана, млрд кВт ч.

Год	2019	2020	2021	2022	2023
Прогноз	1-й метод				
	1119,180	1129,883	1140,672	1151,458	1162,286
	2-й метод				
	1118,994	1129,696	1140,482	1151,266	1162,091
	3-й метод				
	1119,438	1130,152	1140,959	1151,764	1162,614

Источник: составлено автором

Таблица 28 – Оценка точности объединения прогнозов методами Грейнджера и Раманатхана для производства электроэнергии за период с 1955 по 2018 гг., млрд кВт ч.

Метод	Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
1	6,806	4,447	0,531
2	6,799	4,443	0,530
3	6,808	4,455	0,532

Источник: составлено автором

Методы Грейнджера и Раманатхана построения весовых коэффициентов при объединении прогнозов на практике показали, что являются точнее относительно методов Бейтса и Грейнджера, а также других методов прогнозирования как частных, так и объединенных. Но, из той же практики видно, что они дают отрицательные весовые коэффициенты. Поэтому необходимы модификации, которые избавили бы объединение от таких коэффициентов. Далее рассмотрим на практических примерах предлагаемые модификации методов объединения прогнозов, которые могут быть как отдельными предложениями, так и доработками рассмотренных методов.

3. Последовательное объединение прогнозов, исключаящее отрицательные весовые коэффициенты. Наиболее интуитивно понятным способом избавиться от отрицательных коэффициентов в объединении прогнозов является последовательное объединение прогнозов. Общий алгоритм такого объединения был представлен во второй главе диссертационного исследования. Рассмотрим подробнее его применение на примере производства электроэнергии и четырех частных методов прогнозирования. В качестве исходного метода объединения прогнозов будем использовать второй метод Грейнджера и Раманатхана.

На первом этапе были рассмотрены все попарные объединения частных методов прогнозирования. Результаты первого этапа последовательного применения объединения прогнозов приведены в таблице 29, из которой видно, что положительные коэффициенты получились только при объединении МАЕКС и МЕКС, в остальных случаях более точный метод прогнозирования имел вес больше единицы.

Таблица 29 – Первый этап последовательного прогнозирования производства электроэнергии за период с 1955 по 2018 гг. млрд кВт ч.

Метод прогнозирования	К(1;2)	К(1;3)	К(1;4)	К(2;3)	К(2;4)	К(3;4)
1 – MGV	1,035	1,030	1,057	-	-	-
2 – MEKS	-0,035	-	-	0,446	-0,028	-
3 – MAEKS	-	-0,030	-	0,554	-	-0,025
4 - ARIMA	-	-	-0,057	-	1,028	1,025

Источник: составлено автором

На втором этапе проводилась проверка объединений групп из трех частных методов прогнозирования, но ни одно из объединений трех методов

прогнозирования не привело в результате к положительным весовым коэффициентам.

После этого были проверены объединения прогнозов, полученные на первом этапе последовательного объединения, которое проводилось только с парой К(2;3), так как в этом объединении не было отрицательных весовых коэффициентов. Результаты объединения представлены в таблице 30.

Таблица 30 – Второй этап последовательного прогнозирования производства электроэнергии за период с 1951 по 2017 гг., млрд кВт ч.

Комбинация	К(1;2)	К(1;3)	К(1;4)	К(3;4)	К(2;4)	К(2;3)
К(К(2;3);К(1;2))	0,999	-	-	-	-	0,001
К(К(2;3);К(1;3))	-	1,003	-	-	-	-0,003
К(К(2;3);К(1;4))	-	-	0,931	-	-	0,069
К(К(2;3);К(3;4))	-	-	-	0,943	-	0,057
К(К(2;3);К(2;4))	-	-	-	-	0,707	0,293

Источник: составлено автором

Из таблицы 30 видно, что практически все вариации на втором этапе последовательного объединения прогнозов привели к положительным весовым коэффициента. Дальнейшая комбинация прогнозов уже не требуется. В данном случае оптимальным объединением будет последовательное объединение вида К(К(2;3);К(1;4)). При такой комбинации учитываются сразу все четыре используемых индивидуальных метода прогнозирования без их дублирования в комбинации. Другие же пары привели бы к двойному использованию того или иного индивидуального метода прогнозирования в объединении, что дало бы большее увеличение ошибки прогнозирования. Следует также отметить, что данная комбинация определена через комбинацию пары менее точных методов прогнозирования и пары более точных методов прогнозирования.

К сожалению, технически сложно проверить все существующие варианты последовательного объединения имеющихся частных методов прогнозирования. Найденная нами структура может быть не единственной, в том числе и менее точной из всех возможных вариантов попарного объединения с положительными весами. Кроме того, надо отметить, что вес объединения менее точных прогнозов достаточно маленький.

Оценим полученный прогноз и его точность. Результаты прогнозирования представлены в таблице 31, точность прогнозирования – в таблице 32.

Таблица 31 – Прогнозные результаты и доверительные интервалы для производства электроэнергии при последовательном объединении прогнозов, млрд кВт ч.

Год	2019	2020	2021	2022	2023
Прогноз	1118,770774	1129,4182	1140,1934	1150,959	1161,787

Источник: составлено автором

Таблица 32 – Оценка точности последовательного объединения прогнозов для производства электроэнергии за период с 1951 по 2017 гг., млрд кВт ч.

Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
6,941	4,492	0,554

Источник: составлено автором

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод что используемое последовательное прогнозирование подобрало достаточно оптимальное объединение. Точность прогнозирования оказалась выше чем у частных методов прогнозирования.

4. Модификация методов объединения прогнозов с использованием постоянной константы. Еще одним простым методом избавиться от

отрицательности весов является их представление в положительном виде. Рассмотрим оба предлагаемых подхода, позволяющих сделать отрицательные весовые коэффициенты положительными.

Для расчета новых весовых коэффициентов с использованием постоянной константы было взято значение $\varepsilon=0,001$. В качестве исходных весовых коэффициентов использовались значения весов, полученные по второму методу Грейнджера и Раманатхана. Данный метод был наиболее точным из методов объединения прогнозов и имеет отрицательные весовые коэффициенты. Расчет весов проводился так же, как и раньше, для прогнозирования производства электроэнергии. Поскольку за основу взят один из методов Грейнджера и Раманатхана, весовые коэффициенты в объединенном прогнозе будут постоянными.

После расчётов по формулам (59) – (65) получаем новые значения весовых коэффициентов, представленные в таблице 33, в которой приведены полученные весовые коэффициенты с помощью постоянной константы и упрощенный вариант, без ее использования.

Таблица 33 – Модифицированные весовые коэффициенты для прогнозирования производства электроэнергии, млрд кВт ч.

Метод	MGV	MEKS	MAEKS	ARIMA
Без использования ε	0,889	0,048	0,034	0,029
С использованием ε	0,899	0,0008	0,080	0,020

Источник: составлено автором

Обе предлагаемые модификации сохраняют пропорции весов относительно друг друга и используют информацию от всех используемых методов прогнозирования в объединении. При этом при использовании константы вес при MEKS практически равен нулю. Это связано с тем, что при данном индивидуальном методе прогнозирования в объединении был

наименьший вес (отрицательный). Прогнозные результаты приведены в таблице 34.

Таблица 34 – Прогнозные результаты для производства электроэнергии модифицированными методами, млрд кВт ч.

Год	2019	2020	2021	2022	2023
Прогноз	Без использования ε				
	1120,217	1134,616	1147,565	1161,34	1174,775
	С использованием ε				
	1120,111	1134,534	1147,489	1161,278	1174,722

Источник: составлено автором

На основе предложенных методов построения весовых коэффициентов была произведена оценка их точности – таблица 35.

Таблица 35 – Оценка точности объединения прогнозов модифицированными методами для производства электроэнергии за период с 1955 по 2018 гг., млрд кВт ч.

Метод	Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
Без использования ε	19,490	13,186	1,592
С использованием ε	20,352	13,810	1,654

Источник: составлено автором

Точность модификаций хуже, чем у исходного метода объединения прогнозов или у индивидуальных методов прогнозирования. Но при этом данные модификации могут стать альтернативным вариантом для объединения прогнозов в случае, если необходимо использовать только положительные весовые коэффициенты при объединении.

5. Применение гребневой регрессии для объединения прогнозов.

Следующим вариантом избавления от отрицательности весовых коэффициентов может быть использование гребневой регрессии. Коэффициенты гребневой регрессии сами по себе могут в сумме не давать единицу. По этой причине в качестве весовых коэффициентов уместнее использовать Δ -коэффициенты.

Регрессия строится с учетом того, что в качестве зависимой переменной выступает объединенный прогноз, а в качестве независимых переменных – частные методы прогнозирования. В этом случае между независимыми переменными наблюдалась мультиколлинеарность. Ее уровень можно определить, используя метод Феррара и Глобера [109]. В данном методе используется определенное значение критерия χ^2 , которое сравнивается с табличными данными. В случае производства электроэнергии расчетное значение критерия χ^2 равняется 1075,551. Табличное значение показателя – 87,108, т.е. гипотеза о наличии мультиколлинеарности не отвергается.

Для производства электроэнергии была построена следующая обычная регрессионная модель (85):

$$F = -0,331 + 1,047x_1 - 0,042x_2 + 0,021x_3 - 0,025x_4. \quad (85)$$

В качестве x_1 взят индивидуальный прогноз, полученный по методу MGV, x_2 – по методу MEKS, x_3 – по методу MAEKS, x_4 – по методу ARIMA. Из уравнения видно, что при такой форме объединения прогнозов остаются отрицательные весовые коэффициенты, и что весовые коэффициенты распределены не пропорционально точности прогнозирования отдельных методов. Проверка на значимость коэффициентов регрессии в данном случае не проводилась, так как целью расчетов является использование всех четырех индивидуальных прогнозов.

Расчетная регрессионная модель является адекватной, так как значение F -критерия Фишера равно 8232714,721 при табличном значении 5,82 (для 5%-ного уровня значимости). Коэффициент множественной детерминации

равен 0,999, что говорит о высокой тесноте связи индивидуальных прогнозов с объединенным прогнозом. При этом определитель корреляционной матрицы $|R|=0,209E-07$, который практически не отличается от нуля. Следовательно, оценки коэффициентов регрессии, полученные МНК, будут завышенными и неустойчивыми. В этом случае уместно использование модели гребневой регрессии.

Для получения гребневых оценок были рассчитаны десять регрессий для различных k . При этом $k=0$ соответствует случаю оценки коэффициентов регрессии с помощью простого МНК (коэффициенты при обычной регрессионной модели (85)). В таблице 36 приведены результаты расчетов оценок β -коэффициентов гребневой регрессии для временного ряда производства электроэнергии, а на рисунке 4 – динамика оценок гребневой регрессии для различных значений k .

На графике по горизонтали отложены значения k , а по вертикали значения β -коэффициентов. Каждая кривая показывает изменения значений коэффициентов регрессии в зависимости от величины k , где по горизонтали отложены значения k , а по вертикале – значения β -коэффициентов. Каждая кривая показывает изменения значений коэффициентов регрессии в зависимости от значений k .

Следует отметить, что при x_2 (прогнозы, полученные методом MEKS) и x_4 (прогнозы, полученные методом ARIMA) и $k=0$ мы получали отрицательные весовые коэффициенты. Уже при $k=0,01$ происходит изменение отрицательных знаков на положительные. Кроме того, сумма дисперсий β -коэффициентов уменьшилась с 0,1,099 при $k=0$ до 0,327 при $k=0,01$. При дальнейшем увеличении k коэффициенты при переменных меняются не значительно, как и дисперсия, и коэффициент множественной детерминации.

Таблица 36 - Матрица гребневых оценок β -коэффициентов для производства электроэнергии, млрд кВт ч.

Переменные	Значение k										
	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	1
MGV	1,0471	0,4814	0,3876	0,3472	0,3245	0,3098	0,2995	0,2918	0,2857	0,2808	0,270
MEKS	-0,0434	0,1434	0,1834	0,2009	0,2105	0,2165	0,2205	0,2232	0,2252	0,2267	0,220
MAEKS	0,0211	0,1249	0,1731	0,1938	0,2051	0,2121	0,2168	0,2201	0,2225	0,2242	0,223
ARIMA	-0,025	0,2471	0,2502	0,2499	0,2491	0,2484	0,2476	0,2469	0,2461	0,2454	0,251
Сумма квадратов β-коэффициентов	1,099	0,329	0,2764	0,2609	0,2538	0,2495	0,2466	0,2443	0,2424	0,2407	0,2396
Сумма дисперсий β-коэффициентов	0,0047	0,0001	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Остаточная дисперсия	0	0,0017	0,0024	0,0028	0,003	0,0032	0,0034	0,0035	0,0036	0,0038	0,0039
Коэффициент множественной детерминации	1	0,9918	0,9866	0,9816	0,9767	0,9719	0,9671	0,9623	0,9576	0,9529	0,9522

Источник: составлено автором

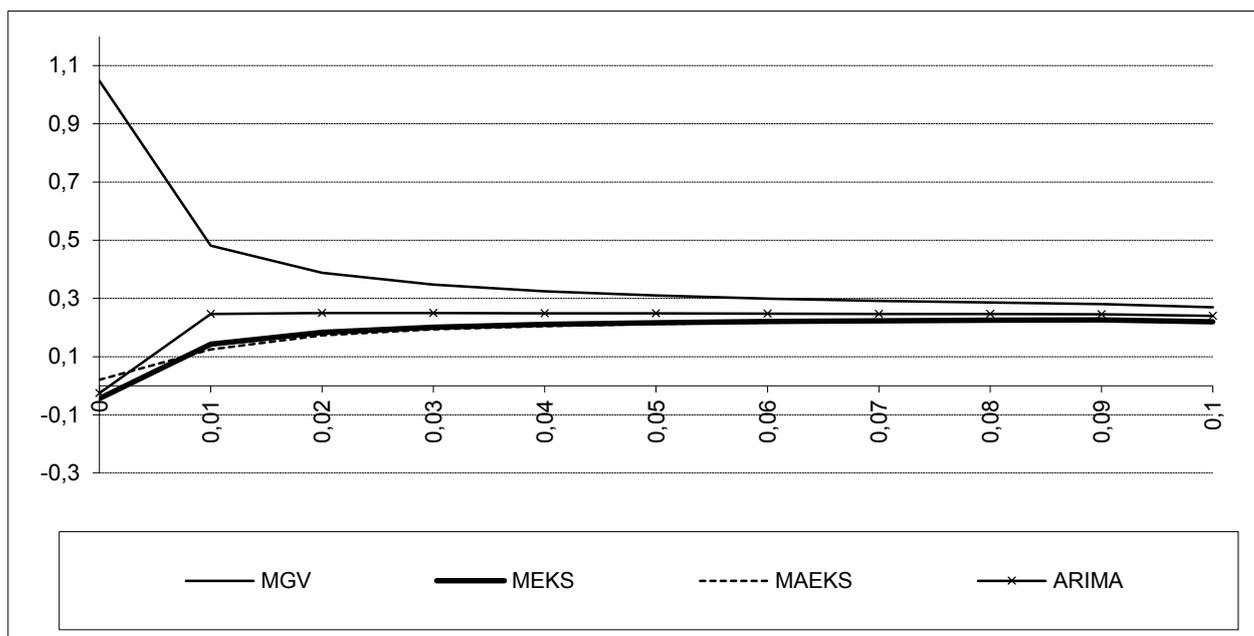


Рисунок 4 - Гребневые линии оценок коэффициентов регрессии

Источник: составлено автором

Графически это видно еще лучше: после резкого падения на значении 0,01 величины β -коэффициентов сближаются и практически становятся равными. Таким образом, для построения гребневой регрессии производства электроэнергии будет использоваться значение $k=0,01$.

В соответствии с расчетным значением k было получено следующее уравнение гребневой регрессии (86):

$$F = 10,398 + 0,481x_1 + 0,140x_2 + 0,122x_3 + 0,244x_4. \quad (86)$$

Сумма весовых коэффициентов гребневой регрессии составила 0,987, что не равняется единице. По этой причине такое уравнение нельзя использовать в качестве объединения прогнозов. Вызывает сомнение и использование постоянного коэффициента в объединении прогнозов, который присутствует в регрессионном уравнении. Следовательно, в качестве весовых коэффициентов необходимо использовать Δ -коэффициенты, которые определяются следующим образом (87):

$$\Delta = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^n D_i}, \quad (87)$$

где D_i – i -е слагаемое коэффициента множественной детерминации.

Δ -коэффициент характеризует долю независимых переменных в регрессионном уравнении. Это полностью совпадает с определением весовых коэффициентов как доли индивидуальных прогнозов в объединенном прогнозе. В практических задачах при корректном анализе Δ -коэффициенты всегда положительные.

На основе проведенного анализа и расчета Δ -коэффициентов гребневой регрессии было определено уравнение для объединения прогнозов следующего вида:

$$F = 0,484x_1 + 0,143 + 0,125x_3 + 0,248x_4. \quad (88)$$

Как видно из уравнения, при использовании Δ -коэффициентов пропадает и непропорциональность весовых коэффициентов в зависимости от точности частных методов прогнозирования.

Прогнозные результаты, полученные с использованием гребневой регрессии, представлены в таблице 37.

Таблица 37 - Прогнозные результаты для производства электроэнергии при использовании гребневой регрессии, млрд кВт ч.

Год	2019	2020	2021	2022	2023
Прогноз	1123,740	1136,059	1148,099	1160,493	1172,917

Источник: составлено автором

Ошибки прогнозирования при использовании гребневой регрессии в объединении прогнозов показаны в таблице 38.

Таким образом, были представлены расчеты и прогнозы по предлагаемым методам объединения прогнозов. В этой части исследования были сделаны попытки устранения отрицательности весовых коэффициентов с минимальной потерей точности при объединении прогнозов.

Таблица 38 - Оценка точности объединения прогнозов для производства электроэнергии за период с 1951 по 2017 гг. с использованием гребневой регрессии, млрд кВт ч.

Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
14,087	9,182	1,243

Источник: составлено автором

Другим подходом при объединении прогнозов является применение экспертной информации, что может повысить точность прогнозирования в условиях часто меняющейся динамики изучаемого процесса.

3.3 Применение экспертной информации для объединения прогнозов

Для объединения прогнозов с использованием экспертной информации было выбрано три метода:

- формулы Фишберна;
- метод попарных предпочтений;
- метод с использованием коэнтегрированного временного ряда.

1. Формулы Фишберна. Преимуществом данных формул является простота их расчетов. При этом третья формула Фишберна, которая включает граничные условия для весовых коэффициентов, предлагаемые на основе оценки, фактически избавляют этот подход от субъективности расстановки весовых коэффициентов.

Расчеты, проведенные по формулам (70) – (72) для определения весовых коэффициентов представлены в таблице 39.

Таблица 39 – Определение весовых коэффициентов с использованием формул Фишберна для объединенного прогноза производства электроэнергии, млрд кВт ч.

Частный метод	1-я формула Фишберна	2-я формула Фишберна	3-я формула Фишберна
MGV	0,4	0,533	0,821
MEKS	0,1	0,067	0,029
MAEKS	0,2	0,133	0,029
ARIMA	0,3	0,267	0,121

Источник: составлено автором

Следует отметить, что в качестве ранжирования в первой и во второй формуле Фишберна использовалась точность прогнозирования, т.е. метод гармонических весов как наиболее точный метод имел ранг i , равный единице, метод простого экспоненциального сглаживания как менее точный метод – имел ранг i , равный четырем.

Таким образом, можно сделать вывод, что первая формула Фишберна проводит ранжирование весов относительно ранга того или иного метода. Видно, что наиболее точный метод прогнозирования получил достаточно низкий весовой коэффициент, а методы, имеющие относительно приближенные результаты по точности (в нашем случае это MEKS и MAEKS) получают веса, которые могут значительно отличаться друг от друга по значению. Вторая формула Фишберна частично устраняет указанные проблемы.

Более подходящей для объединения прогнозов можно считать третью формулу Фишберна. В этом случае используются оценки граничных интервалов для весовых коэффициентов и, следовательно, индивидуальные прогнозы не будут недооцененными. Для расчетов весовых коэффициентов производства электроэнергии использовались оценки граничных условий для весов, представленные в таблице 40.

Таблица 40 – Граничные условия для весовых коэффициентов объединенного прогноза, полученного по третьей формуле Фишберна для производства электроэнергии, млрд кВт ч.

Частный метод	Граничные условия		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b-a</i>
MGV	0,8	0,9	0,1
MEKS	0,01	0,1	0,09
MAEKS	0,01	0,1	0,09
ARIMA	0,1	0,2	0,1

Источник: составлено автором

Третья формула Фишберна лучше подходит для объединения прогнозов с использованием экспертной информации, причем эта экспертная информация закладывается не в самом прогнозе, а в определении весовых коэффициентов, и позволяет более гибко изменять прогноз относительно внешних изменений.

Прогнозы и точность прогнозирования по формулам Фишберна представлены в таблице 41 и таблице 42 соответственно.

Таблица 41 – Прогнозные результаты для производства электроэнергии при объединении прогнозов с использованием формул Фишберна, млрд кВт ч.

Год	2019	2020	2021	2022	2023
Прогноз	1-я формула Фишберна				
	1119,152	1131,555	1143,577	1155,987	1168,391
	2-я формула Фишберна				
	1119,142	1131,241	1142,975	1155,028	1167,049
	3-я формула Фишберна				
	1119,022	1130,331	1141,469	1152,746	1164,002

Источник: составлено автором

Таблица 42 – Оценка точности объединения прогнозов с использованием формул Фишберна для производства электроэнергии за период с 1955 по 2018 гг., млрд кВт ч.

Формула Фишберна	Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
1	15,030	10,216	1,369
2	12,385	8,331	1,084
3	8,110	5,304	0,652

Источник: составлено автором

2. Метод попарных предпочтений. Реализация метода попарных предпочтений начинается с оценки матрицы попарных предпочтений. Такую оценку можно проводить различными способами, начиная от чисто экспертных оценок и заканчивая сравнением значений со средним по прогнозам. Наиболее подходящим же способом оценки матрицы попарных предпочтений можно считать оценку на основе точности частных методов прогнозирования. Иными словами, в качестве b_{ij} следует брать количество случаев, когда i -я модель прогнозирования была точнее, чем сравниваемая с ней другая модель прогнозирования. Такую точность прогнозирования можно оценить на основе сравнения прогнозного значения с фактическим и чем меньше такое отклонение, тем точнее будет модель.

Все четыре частные модели прогнозирования сравнивались между собой по точности. На основе полученных сравнений была построена матрица попарных сравнений. Так, при прогнозировании производства электроэнергии было установлено, что MGV был точнее, чем MEKS, в 52 случаев из 61 (используется временной ряд в период с 1958 по 2018 г.), в 51 случае, чем MAEKS, и в 54 случаях, чем ARIMA. В итоге, была получена следующая матрица, каждый элемент которой есть отношение количества случаев, когда первая сравниваемая модель прогнозирования была лучше, чем вторая, к

количеству случаев, когда вторая сравниваемая модель прогнозирования была лучше, чем первая (89):

$$O = \begin{pmatrix} 1 & 5,78 & 5,10 & 7,71 \\ 0,17 & 1 & 0,24 & 0,69 \\ 0,20 & 4,08 & 1 & 0,65 \\ 0,13 & 1,44 & 1,54 & 1 \end{pmatrix}. \quad (89)$$

Вторым этапом является нахождение собственного вектора и собственных значений. В качестве ненормированных весовых коэффициентов будут выступать значения собственного вектора при максимальном положительном собственном значении. В нашем случае максимальным положительным собственным значением для данной матрицы стало значение, равное 4,313. Собственное значение является достаточно близким к порядку матрицы попарных сравнений. Собственный вектор – (5,141; 0,558; 1,195; 1). При нормировке по сумме значений собственного вектора получены следующие весовые коэффициенты для объединения прогнозов: $w_i = (0,651; 0,070; 0,151; 0,127)$.

Используя расчетные значения весовых коэффициентов для объединения прогнозов, были получены результаты прогнозирования, представленные в таблице 43.

Таблица 43 – Прогнозные результаты и доверительные интервалы для производства электроэнергии при объединении прогнозов методом попарных предпочтений, млрд кВт ч.

Год	2019	2020	2021	2022	2023
Прогноз	1119,304	1131,175	1142,982	1155,047	1167,205

Источник: составлено автором

Оценка точности прогнозирования с использованием метода попарных предпочтений представлена в таблице 44.

Таблица 44 – Оценка точности объединения прогнозов с использованием метода попарных предпочтений для производства электроэнергии за период с 1955 по 2018 гг., млрд кВт ч.

Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
11,027	7,334	1,006

Источник: составлено автором

Метод попарных предпочтений можно считать гибким и оптимальным вариантом использования экспертной информации для объединения прогнозов, но он не всегда может привести к повышению точности прогнозирования. Данный метод чувствителен к определению матрицы, неверная интерпретация которой приводит к увеличению ошибки прогнозирования.

3. Объединение прогнозов с использованием коинтеграционного временного ряда. В качестве дополнительного временного ряда, который позволит построить корректирующий коэффициент для прогноза производства электроэнергии использовались значения ВВП России.

Следует сделать оговорку, что в данном случае будут использоваться значения временного ряда в период с 1989 по 2019 г. Кроме того, для построения корректирующего коэффициента при объединении необходимо использовать значения не самого временного ряда, а динамики изменения. По этой причине были построены дополнительные временные ряды по динамике изменений, которые и использовались при определении корректирующего коэффициента.

Понятно, что производство электроэнергии входит в расчетные значения ВВП. Поэтому данные временные ряды связаны. Следовательно, прогнозные значения по ВВП можно использовать в качестве корректирующих значений для производства электроэнергии.

Для начала необходимо проверить используемые временные ряды на коинтеграцию. Этот процесс состоит из нескольких этапов.

1. Проверка порядка интеграции используемых временных рядов динамики изменений производства электроэнергии и ВВП России.

Порядок будет определяться на основании расширенного теста Дики–Фуллера, результаты которого приведены на рисунке 5.

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on EL		
Null Hypothesis: EL has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=6)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.085354	0.0397
Test critical values:	1% level	-3.699871
	5% level	-2.976263
	10% level	-2.627420
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Рисунок 5 - Тест Дики-Фуллера для производства электроэнергии

Источник: составлено автором

При проверке временного ряда электроэнергии, можно сделать вывод о том, что используемый ряд динамики изменения производства электроэнергии является нестационарным временным рядом, значение t -статистики больше, чем критические значения. Это же справедливо и в отношении динамики изменения ВВП России - рисунок 6.

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on VVP		
Null Hypothesis: VVP has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=6)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.386528	0.0190
Test critical values:	1% level	-2.653401
	5% level	-1.953858
	10% level	-1.609571
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Рисунок 6 - Тест Дики–Фуллера для изменения ВВП России

Источник: составлено автором

При дальнейшей проверке было установлено, что временные ряды динамики производства электроэнергии и ВВП России являются стационарными при взятии первой разности – рисунок 7 и рисунок 8.

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on D(EL)		
Null Hypothesis: D(EL) has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=6)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-8.227007	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.711457	
5% level	-2.981038	
10% level	-2.629906	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Рисунок 7 - Тест Дики–Фуллера для динамики производства электроэнергии (первая разность)

Источник: составлено автором

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on D(VVP)		
Null Hypothesis: D(VVP) has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=6)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-7.083971	0.0000
Test critical values:		
1% level	-2.656915	
5% level	-1.954414	
10% level	-1.609329	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Рисунок 8 - Тест Дики–Фуллера для динамики изменения ВВП России (первая разность)

Источник: составлено автором

2. Проверка на причинно-следственную связь.

Такая проверка проводится на основе теста Грейнджера на причинность. Результаты проверки представлены на рисунке 9.

Pairwise Granger Causality Tests

Date: 10/16/18 Time: 15:49

Sample: 1990 2017

Lags: 2

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
EL does not Granger Cause VVP	26	0.15869	0.8543
VVP does not Granger Cause EL		0.90909	0.4182

Рисунок 9 - Тест Грейнджера на причинность

Источник: составлено автором

Тест на причинность по Грейнджеру показывает, что динамика изменения производства электроэнергии не является причиной для изменений динамики ВВП России, и наоборот. Значения P -статистик больше 5%. Условия для определения коинтеграции временных рядов выполняются. По этой причине можно перейти к следующему этапу.

3. Построение коинтеграционного уравнения.

В качестве коинтеграционного уравнения строится обычное уравнение регрессии, характеризующее линейную зависимость двух временных рядов. При исследовании динамики производства электроэнергии и ВВП России было получено следующее регрессионное уравнение (90):

$$El = -0,0018 + 0,426 * VVP, \quad (90)$$

где El – значения временного ряда производства электроэнергии;

VVP – динамика ВВП России.

Статистические характеристики полученного регрессионного уравнения представлены на рисунке 10.

Из статистических характеристик полученного уравнения регрессии видно, что, хотя постоянным коэффициентом можно пренебречь, полученное уравнение в целом значимое и достаточно адекватное (по F -критерию Фишера). Значение коэффициента детерминации равно 78,4%, что является также достаточно высоким показателем.

Dependent Variable: EL
 Method: Least Squares
 Date: 10/16/18 Time: 15:52
 Sample: 1990 2017
 Included observations: 28
 EL=C(1)+C(2)*WVP

	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	-0.002111	0.002800	-0.753814	0.4577
C(2)	0.420032	0.043182	9.727088	0.0000
R-squared	0.784440	Mean dependent var		0.000964
Adjusted R-squared	0.776150	S.D. dependent var		0.031119
S.E. of regression	0.014723	Akaike info criterion		-5.530010
Sum squared resid	0.005636	Schwarz criterion		-5.434852
Log likelihood	79.42014	Hannan-Quinn criter.		-5.500919
F-statistic	94.61624	Durbin-Watson stat		1.992333
Prob(F-statistic)	0.000000			

Рисунок 10 - Регрессионное уравнение зависимости производства электроэнергии и ВВП России

Источник: составлено автором

При проверке остатков коинтеграционного уравнения на стационарность было определено, что данные остатки являются стационарными, рисунок 11, что в целом говорит о том, что ряды динамики производства электроэнергии и ВВП России являются коинтегрированными временными рядами. В принципе, об этом же говорит и тест Йохансена на определение коинтеграции, представленный на рисунке 12.

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on OST		
Null Hypothesis: OST has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=6)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.449101	0.0000
Test critical values:		
1% level	-2.653401	
5% level	-1.953858	
10% level	-1.609571	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Рисунок 11 - Тест Дики–Фуллера для остатков коинтеграционного уравнения зависимости производства электроэнергии и ВВП России

Источник: составлено автором

Johansen Cointegration Test Summary					
Date: 10/16/18 Time: 15:55					
Sample: 1990 2017					
Included observations: 26					
Series: EL VVP					
Lags interval: 1 to 1					
Selected (0.05 level*) Number of Cointegrating Relations by Model					
Data Trend:	None	None	Linear	Linear	Quadratic
Test Type	No Intercept No Trend	Intercept No Trend	Intercept No Trend	Intercept Trend	Intercept Trend
Trace	1	0	0	0	1
Max-Eig	0	0	0	0	0
*Critical values based on MacKinnon-Haug-Michelis (1999)					
Information Criteria by Rank and Model					
Data Trend:	None	None	Linear	Linear	Quadratic
Rank or No. of CEs	No Intercept No Trend	Intercept No Trend	Intercept No Trend	Intercept Trend	Intercept Trend
Log Likelihood by Rank (rows) and Model (columns)					
0	108.9531	108.9531	108.9989	108.9989	109.3774
1	113.9674	114.7049	114.7440	116.8779	117.0665
2	115.6300	116.4878	116.4878	118.7520	118.7520
Akaike Information Criteria by Rank (rows) and Model (columns)					
0	-8.073313	-8.073313	-7.922989	-7.922989	-7.798259
1	-8.151340*	-8.131147	-8.057232	-8.144451	-8.082040
2	-7.971541	-7.883677	-7.883677	-7.904002	-7.904002
Schwarz Criteria by Rank (rows) and Model (columns)					
0	-7.879760*	-7.879760*	-7.632659	-7.632659	-7.411153
1	-7.764233	-7.695653	-7.573349	-7.612179	-7.501380
2	-7.390881	-7.206240	-7.206240	-7.129789	-7.129789

Рисунок 12 - Тест Йохансена на определение коинтеграции

Источник: составлено автором

После того, как было установлено, что используемые временные ряды являются коинтегрированными, можно приступить к следующему шагу: непосредственно к объединению прогнозов и коррекции полученных результатов.

В предлагаемом варианте использования других временных рядов в качестве экспертной информации и корректировки на их основе исходных данных как корректирующего коэффициента, указанного в формуле (90), можно использовать и непосредственно прогнозную динамику коинтегрированного временного ряда (если это возможно), и коэффициент, можно получить на основе используемой динамики. В нашем случае, нельзя напрямую использовать динамику изменения ВВП России, но можно построить корректирующий коэффициент на основе коинтеграционного уравнения.

Таким образом, корректирующий коэффициент рассчитываем по формуле (91):

$$k_i = -0,0018 + 0,426 * d_i, i = 1 \dots m, \quad (91)$$

где d_i – значения временного ряда динамики ВВП России;

m – число наблюдений.

Т.е. корректирующий коэффициент будет постоянно пересчитываться в зависимости от изменения динамики вспомогательного ряда.

4. Проверка остатков коинтеграционного уравнения на стационарность.

Последним этапом является проверка остатков полученного ранее коинтеграционного уравнения на стационарность. Результаты проверки представлены на рисунке 13.

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on OST		
Null Hypothesis: OST has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=6)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.349899	0.0002
Test critical values:		
1% level	-3.699871	
5% level	-2.976263	
10% level	-2.627420	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		

Рисунок 13 - Тест Дики-Фуллера для коинтеграционного уравнения

Источник: составлено автором

Тест Дики–Фуллера на стационарность показывает, что остатки коинтеграционного уравнения являются стационарными. Таким образом, была получена линейная комбинация двух временных рядов, причем эта комбинация имеет стационарные остатки, что означает наличие коинтеграции между рассматриваемыми временными рядами динамики.

При проверке предлагаемого подхода воспользуемся результатами ретропрогноза, полученными по второму методу Грейнджера и Раманатхана. Оценивались данные на временном промежутке от 1989 по 2018 г. Сначала была перерассчитана прогнозная динамика производства электроэнергии относительно динамики ВВП по коинтеграционному уравнению (91). В качестве прогнозных значений для ВВП России брались данные Всемирного банка, опубликованные в июле 2019 г. [41]. Далее исходный прогнозный ряд производства электроэнергии перерасчитывался относительно полученного ряда динамики производства. В результате были получены прогнозные результаты на 2019 – 2023 гг., которые представлены в таблице 44, а оценка точности приведена в таблице 45.

Таблица 44 - Прогнозные результаты для производства электроэнергии млрд кВт ч. полученные при помощи коинтеграционного уравнения

Год	2019	2020	2021	2022	2023
Прогноз	1112,222	1125,542	1136,307	1147,156	1158,002

Источник: составлено автором

Таблица 45 - Оценка точности объединения прогнозов для производства электроэнергии полученные при помощи коинтеграционного уравнения, млрд кВт ч.

Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
9,357	6,887	0,711

Источник: составлено автором

Как можно заметить результат, данный прогноз не является достаточно точным по сравнению с исходным прогнозным временным рядом, полученным по второму методу Грейнджера и Раманатхана, хотя лучше, чем некоторые другие используемые выше методы.

Большим недостатком метода с корректирующим коэффициентом является подбор коинтегрированного временного ряда. К сожалению, это не всегда удастся сделать.

В результате сделанных расчётов были получены прогнозные модели по рассматриваемым временным рядам производства отдельных промышленных товаров. Все прогнозные результаты представлены в приложении А. Оценка точности прогнозов приведена в приложении Б. Полученные весовые коэффициенты при объединении прогнозов по всем используемым в диссертационном исследовании методам представлены в приложении В. Далее необходимо провести детальный анализ полученных результатов по точности прогнозирования и провести сравнение прогнозных значений с официальными прогнозами Правительства РФ.

3.4 Исследование качества моделей прогнозирования экономических показателей и оценка эффективности применения объединения прогнозов

Опыт прогнозирования социально-экономических показателей с применением различных методов прогнозирования приводит к необходимости сравнения полученных моделей. Важным этапом выбора прогнозной модели является оценка точности и надежности прогноза, цель которой – выявление лучшей с точки зрения прогноза модели.

Выше были представлены как наиболее часто встречаемые методы экономического прогнозирования, так и методы объединения прогнозов, которые призваны повысить точность экономического прогнозирования. На основе полученных прогнозных результатов по всем методам были

представлены первичные оценки точности прогнозирования. Теперь же следует объединить все предлагаемые подходы в прогнозировании и провести их сравнение между собой с целью выявления наиболее оптимального подхода к повышению качества прогнозных результатов.

В качестве параметров оценки точности прогнозирования использовались следующие показатели: среднеквадратическое отклонение, среднее абсолютное отклонение и среднее относительное отклонение в %. Точность прогнозирования оценивается на основе аппроксимации фактического временного ряда прогнозным. Эти показатели были выбраны ввиду их адекватной интерпретации точности прогнозирования, а также независимости от размерности исследуемого временного ряда. Другие предлагаемые подходы к оценке точности прогнозирования по тем или иным причинам не подходят для оценивания. Значения предлагаемых характеристик по используемым моделям прогнозирования представлены в таблице 47. Данные оценки приводятся для прогнозирования производства электроэнергии.

Проведем анализ полученных результатов. Наиболее качественной моделью с точки зрения точности прогнозирования по всем трем выбранным показателям оказалась модель, построенная при объединении прогнозов вторым методом Грейнджера и Раманатхана. У данной модели наименьшие среднеквадратическое (6,799), среднее абсолютное отклонение (4,443) и среднее относительное отклонение (0,529%). Объединение прогнозов при использовании третьего метода Грейнджера и Раманатхана по своим результатам оказалась достаточно близкой ко второму методу (среднеквадратическое отклонение – 6,806, среднее абсолютное отклонение – 4,447, среднее относительное отклонение – 0,530%).

Таблица 47 – Качество использующихся моделей прогнозирования для производства электроэнергии, млрд кВт ч.

Модель прогнозирования	Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
1	2	3	4
MGV	7,735	5,334	0,582
MEKS	29,080	19,761	3,717
MAEKS	28,675	19,707	3,659
ARIMA	20,171	13,437	1,672
1-й метод Бейтса и Грейнджера	9,328	5,891	0,703
2-й метод Бейтса и Грейнджера	8,442	5,812	0,666
3-й метод Бейтса и Грейнджера	10,045	6,425	0,932
4-й метод Бейтса и Грейнджера	10,045	6,425	0,932
5-й метод Бейтса и Грейнджера	13,468	8,602	1,058
1-й метод Грейнджера и Раманатхана	6,808	4,455	0,531
2-й метод Грейнджера и Раманатхана	6,799	4,443	0,529
3-й метод Грейнджера и Раманатхана	6,806	4,447	0,530
Последовательное объединение	6,941	4,492	0,554
Объединение без ϵ	19,490	13,186	1,592
Объединение с ϵ	20,352	13,810	1,654
Объединение с гребневой регрессией	14,087	9,182	1,234
1-я формула Фишберна	15,030	10,216	1,369
2-я формула Фишберна	12,385	8,331	1,084
3-я формула Фишберна	8,110	5,304	0,652
Метод попарных предпочтений	11,027	7,334	1,006
Коинтеграция	9,337	6,887	0,711

Источник: составлено автором

Модель, построенная по первому методу Грейнджера и Раманатхана также достаточно близка по точности к модели, построенной по второму и третьему методу, но немного уступает в оценке (среднеквадратическое отклонение – 6,808, среднее абсолютное отклонение – 4,455, среднее относительное отклонение – 0,531%). Этот факт может говорить о необходимости наложения ограничения по сумме на весовые коэффициенты при объединении прогнозов, хотя сумма весовых коэффициентов во втором методе Грейнджера и Раманатхана была достаточно близкой к единице. Кроме того, постоянный коэффициент в объединении может не привести к повышению точности объединенного прогноза.

Подобные же результаты наблюдаются и по другим временным рядам, хотя в некоторых случаях по тому или иному показателю точности модель объединения прогнозов, построенная по второму методу Грейнджера и Раманатхана немного может уступать третьему методу. Например, при прогнозировании производства угля модель, построенная по второму методу Грейнджера и Раманатхана, немного уступила модели, построенной по третьему методу по среднеквадратическому отклонению (4,315 – второй метод и 4,251 – третий метод) и по среднему относительному отклонению (0,941% – второй метод и 0,939% – третий метод). Схожая ситуация и у производства легковых автомобилей (среднеквадратическое отклонение по второму методу – 84,096, по третьему методу – 82,714, среднее относительное отклонение по второму методу – 4,191%, по третьему методу – 4,067%). Следует отметить, что по всем трем методам Грейнджера и Раманатхана разница по точности незначительна.

Методы Грейнджера и Раманатхана уступили по точности в части среднего относительного отклонения в процентах методам Бейтса и Грейнджера в случае построения модели прогнозирования для добычи естественного газа. Для этого временного ряда наиболее точной по данному показателю точности оказалась модель объединенного прогноза, построенная

по третьему методу Бейтса и Грейнджера (среднее относительное отклонение – 1,385% против 2,220% у третьего метода Грейнджера и Раманатхана). При этом по среднеквадратическому и среднему абсолютному отклонению методы Бейтса и Грейнджера уступили методам Грейнджера и Раманатхана.

Следующей по точности моделью прогнозирования стала модель по предлагаемому последовательному объединению прогнозов (среднеквадратическое отклонение – 6,941, среднее абсолютное отклонение – 4,492, среднее относительное отклонение – 0,554%). Предлагаемая методика исключила отрицательные весовые коэффициенты, что сказалось на точности объединения, но сама точность осталась выше, чем у частных моделей прогнозирования. Но учитывая общую сложность предлагаемого алгоритма в части выстраивания последовательности объединения и множества вариаций для него, данный метод не всегда сможет дать необходимую точность прогнозирования.

Метод последовательного прогнозирования для всех рассматриваемых рядов уступал по точности только более точным методам объединения прогнозов (в случае добычи естественного газа – методам Бейтса и Грейнджера, в остальных случаях – методам Грейнджера и Раманатхана).

Достаточно хорошие результаты показало и объединение прогнозов по третьей формуле Фишберна. Здесь большое значение имеет определение интервалов для весовых коэффициентов, более точное их определение может улучшить точность прогнозирования. Высокая точность данного метода наблюдается практически по всем рассмотренным временным рядам.

В целом объединения прогнозов, построенные по методам Грейнджера и Раманатхана, Бейтса и Грейнджера, последовательного объединения и использования третьей формулы Фишберна показали высокий уровень точности прогнозирования по сравнению с индивидуальными методами, хотя метод гармонических весов оказался не только самым точным индивидуальным

методом прогнозирования, но и в принципе одним из самых точных методов среди всех рассмотренных, включая и методы объединения прогнозов.

Модификация на основе применения гребневой регрессии и другие предлагаемые модификации привели почти по всем рассматриваемым временным рядам к ухудшению точности прогнозирования относительно исходного метода объединения прогнозов (второй метод Грейнджера и Раманатхана), что предполагалось при их предложении. Потеря в точности объясняется непосредственно модификациями, которые применялись для методов объединения прогнозов. С этой точки зрения в дальнейшем следует делать выбор между использованием модификаций с целью избавления от невозможности обоснования отрицательности весовых коэффициентов и повышением точности прогнозирования. Но в отдельных случаях метод с использованием гребневой регрессии так же смог привести к повышению точности прогнозирования. Например, в случае производства стали данный метод был точнее, чем частные методы прогнозирования, уступая только методам Грейнджера и Раманатхана (среднеквадратическое отклонение – 1,733, среднее абсолютное отклонение – 1,059, среднее относительное отклонение – 1,767%). Такая же ситуация у производства целлюлозы (среднеквадратическое отклонение – 194,404, среднее абсолютное отклонение – 109,906, среднее относительное отклонение – 2,180%) и у производства легковых автомобилей (среднеквадратическое отклонение – 101,751, среднее абсолютное отклонение – 50,952, среднее относительное отклонение – 6,106%).

Метод на основе коинтеграционного уравнения и метод попарных сравнений также не привели к повышению точности прогнозирования относительно других методов объединения прогнозов.

Худшими среди моделей объединенных прогнозов по совокупности рассматриваемых оценок точности прогнозирования оказались модели, построенные по модификациям с использованием постоянной константы и без

нее. Их точности ниже относительно других методов объединения прогнозов по всем рассматриваемым временным рядам.

При этом следует отметить, что все рассмотренные методы объединения прогнозов не привели к ухудшению результатов относительно частных методов прогнозирования, все рассмотренные методы объединения прогнозов оказались лучше большинства частных методов прогнозирования, уступая по точности только методу гармонических весов.

Наименее точными моделями прогнозирования оказались индивидуальные модели, построенные с помощью методов MEKS и MAEKS.

Далее был проведен анализ полученных прогнозных результатов и оценка прогнозируемой динамики по отдельным продуктам промышленного производства России.

3.5. Анализ и сравнение прогнозных результатов. Прогноз динамики по отдельным продуктам промышленного производства России

При дальнейшем анализе результатов прогнозирования были рассмотрены наиболее точные модели прогнозирования – модели объединения прогнозов, построенные по второму и третьему методу Грейнджера и Раманатхана, и модель, построенная при последовательном объединении прогнозов. Для сравнения полученных результатов дополнительно была рассмотрена частная модель прогнозирования, построенная по методу гармонических весов.

Электроэнергия. На рисунке 14 представлены фактические значения производства электроэнергии, а также значения по полученным прогнозным моделям (ретропрогноз и прогноз, полученные по рассматриваемым моделям), в период с 2000 по 2023 г.

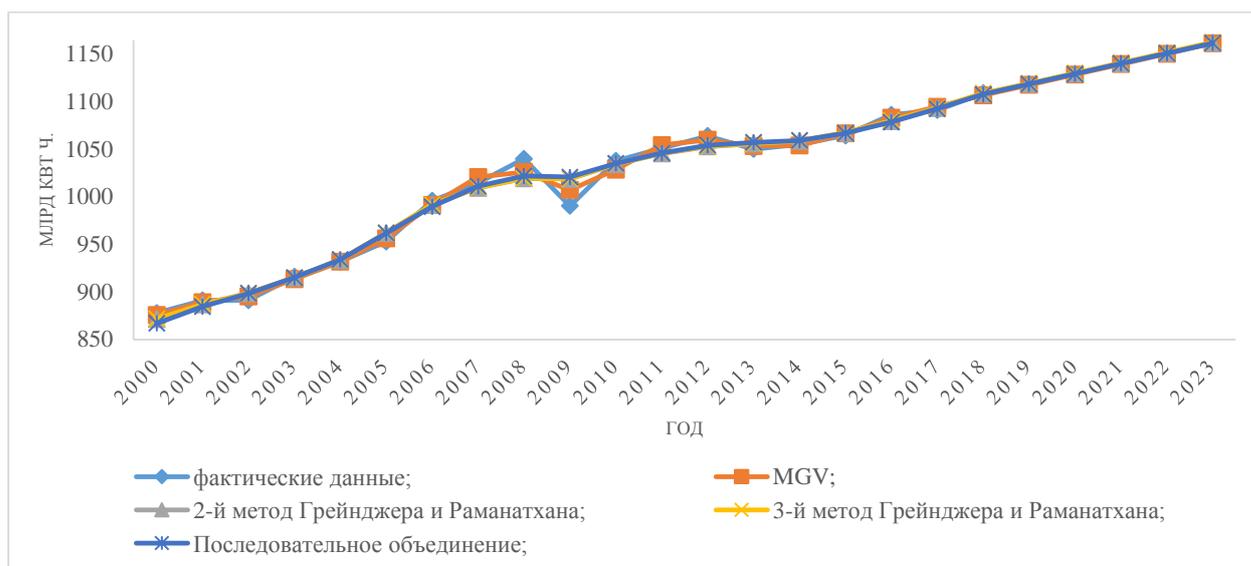


Рисунок 14 - Производство электроэнергии (фактические данные и прогноз), млрд кВт ч.

Источник: составлено автором

По производству электроэнергии по данным ретропрогноза можно сделать вывод, что рассматриваемые модели прогнозирования достаточно четко описывают динамику производства. Расхождения в данных являются незначительными. Значительное отклонение наблюдается только при резком изменении траектории динамики изучаемого процесса, связанного с кризисными событиями 2008 г. В целом, результаты прогноза показывают стабильное увеличение производства, которое составит порядка 1161 млрд кВт ч. к 2023 г.

Проведем дополнительное сравнение с прогнозами, публикуемыми МЭР. Эти прогнозы представлены в «Прогнозе социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2024 года» [43], который был опубликован в 2018 г. и является наиболее актуальным прогнозом как по отдельным продуктам промышленного производства России, так и по отдельным отраслям промышленности.

Поскольку МЭР дает прогнозы в виде динамики в процентах, то в таблице 47 приведена динамика по прогнозам производства электроэнергии

полученная, по описанным выше моделям прогнозирования. Отдельно были выделены модели объединения прогнозов, построенные по второму и третьему методу Грейнджера и Раманатхана и с использованием последовательного объединения, а также модель, построенная по методу гармонических весов. В названной выше таблице также приведена прогнозируемая МЭР динамика производства электроэнергии в 2018–2021 гг., и прогноз динамики по всем рассматриваемым в диссертационной работе временным рядам отдельных товаров промышленного производства.

Таблица 47 – Прогнозируемый прирост производства электроэнергии в 2018–2023 гг., %

Модель прогнозирования	Год					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
MGV	1,10	0,99	0,98	0,97	0,96	0,96
2-й метод Грейнджера и Раманатхана	0,99	0,94	0,96	0,95	0,95	0,94
3-й метод Грейнджера и Раманатхана	0,98	0,94	0,96	0,96	0,95	0,94
Последовательное объединение	0,97	0,99	0,95	0,95	0,94	0,94
Прогноз МЭР	0,50	0,90	0,70	1,00	0,90	1,00

Как можно отметить, прогнозируемая динамика производства электроэнергии по объединенным прогнозам, достаточно близка по своим значениям ко всем рассмотренным прогнозным методам. Он довольно существенно отличается от прогноза МЭР на 2020 г. В 2018, 2019 и 2021 гг. динамика по прогнозным моделям близка динамике прогноза МЭР. Модель же, построенная по методу MGV, дает результаты, которые выше, чем у остальных моделей, но ближе к прогнозам МЭР.

Добыча угля. Для добычи угля ситуация схожа с производством электроэнергии. На рисунке 15 представлена прогнозируемая динамика добычи угля в млн т.

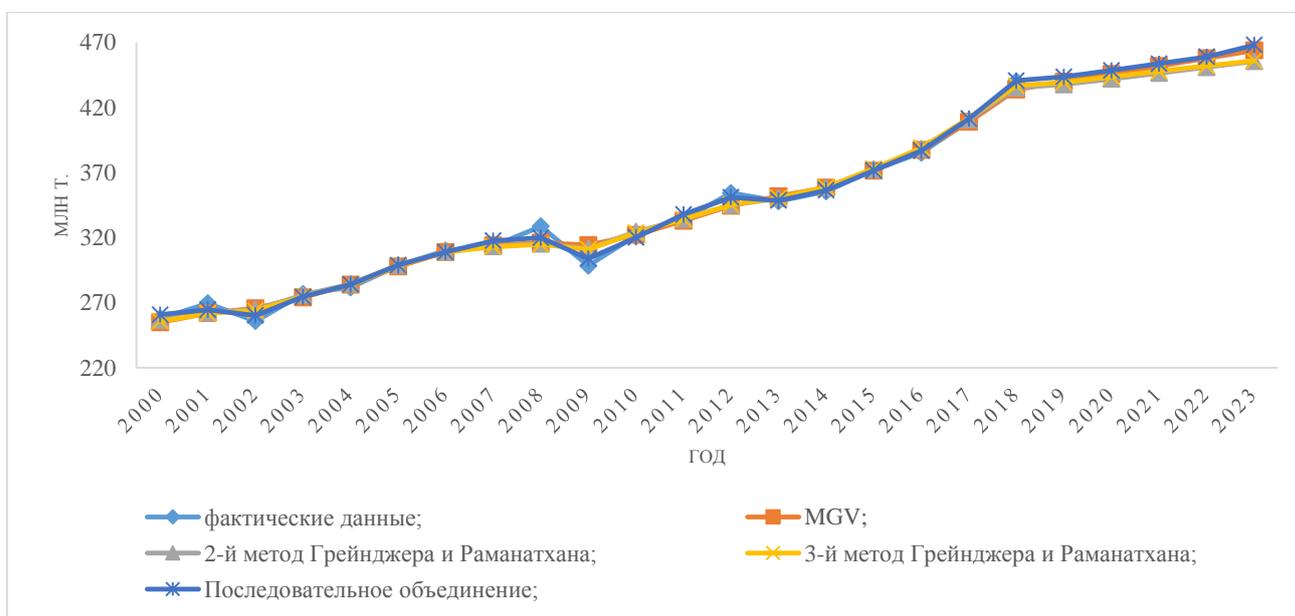


Рисунок 15 - Добыча угля (фактические данные и прогноз), млн т.

Источник: составлено автором

После достаточно быстрого увеличения добычи с 2019 г. по прогнозным данным добыча угля будет замедляться, что в целом продолжает общую динамику за последние несколько десятилетий. Как и для производства электроэнергии, существенные отклонения прогнозных значений наблюдались в 2008 и 2009 гг. В таблице 48 также приводится сравнение полученных прогнозных результатов с прогнозами, опубликованными МЭР.

Прогнозы МЭР, как и полученные прогнозные результаты, показывают дальнейшее снижение динамики добычи угля, хотя, по их прогнозам, снижение предполагается больше, чем было получено при нашем прогнозировании. Существенные различия в результатах наблюдаются в 2019 и 2020 гг., так как, по нашим прогнозам, динамика будет стабильной, а по прогнозам МЭР она будет иметь в этот период скачкообразный характер.

Таблица 48 - Прогнозируемый прирост добычи угля в 2018–2023 гг., %

Модель прогнозирования	Год					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
MGV	3,09	1,39	1,37	1,35	1,33	1,31
2-й метод Грейнджера и Раманатхана	3,99	0,58	0,98	1,00	1,01	1,01
3-й метод Грейнджера и Раманатхана	4,09	0,58	0,97	0,95	0,93	0,91
Последовательное объединение	7,13	0,66	1,11	1,14	1,17	1,98
Прогноз МЭР	3,50	2,40	0,50	0,70	0,70	1,10

Источник: составлено автором, МЭР

Добыча нефти. На рисунке 16 представлена прогнозируемая динамика добычи нефти в млн т.

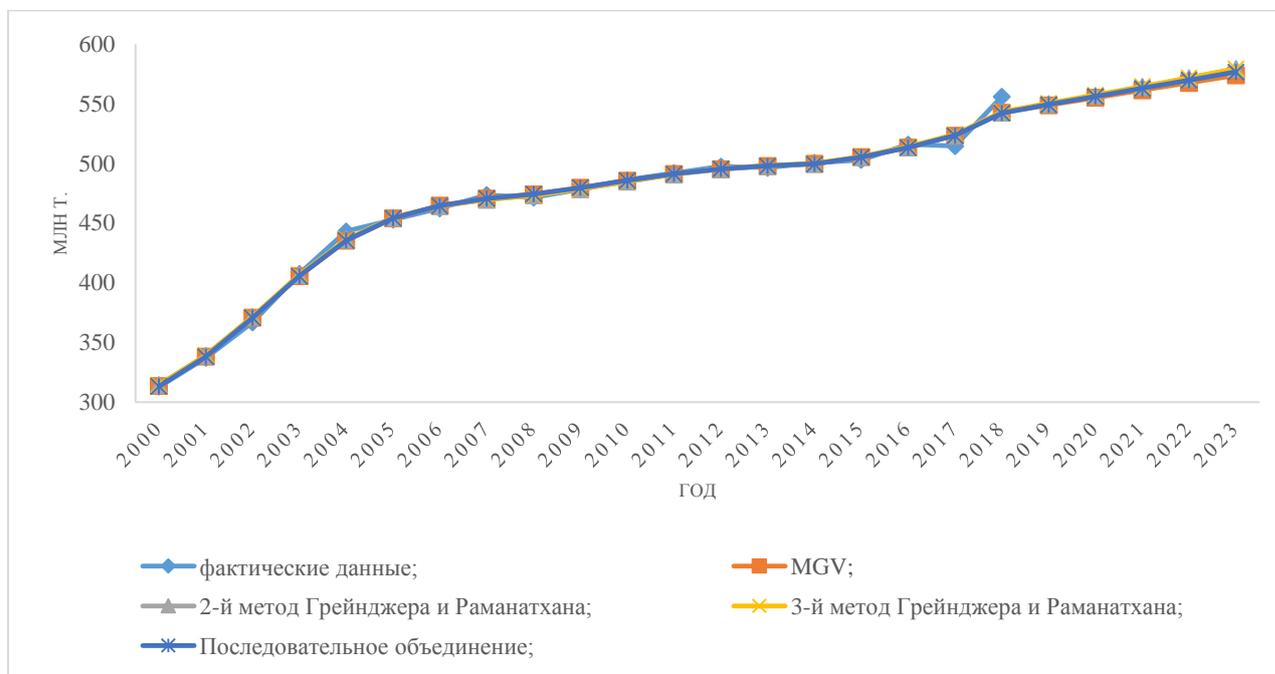


Рисунок 16 - Добыча нефти (фактические данные и прогноз), млн т.

Источник: составлено автором

По нашим прогнозам, объемы добычи нефти будут постоянно возрастать. Данная тенденция наблюдается с 2004 г., фактические же данные показывают сильный скачок в добыче в 2017–2018 гг., но предположительно фактическая динамика добычи будет соответствовать прогнозным данным.

В таблице 49 представлено сравнение полученных результатов с прогнозами МЭР.

Таблица 49 – Прогнозируемый прирост добычи нефти в 2018-2023 гг., в %

Модель прогнозирования	Год					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
MGV	3,67	1,15	1,14	1,13	1,12	1,10
2-й метод Грейнджера и Раманатхана	3,60	1,35	1,29	1,30	1,32	1,34
3-й метод Грейнджера и Раманатхана	3,65	1,28	1,27	1,28	1,30	1,32
Последовательное объединение	3,59	1,32	1,23	1,23	1,21	1,19
Прогноз МЭР	0,50	1,50	0,90	0	-0,40	-0,40

Источник: составлено автором, МЭР

Сравнивая результаты, можно отметить, что прогнозы, полученные по модели MVG, показывают замедление в динамике прироста добычи, в то время как остальные сравниваемые модели прогнозируют незначительное, но ее увеличение. Прогноз же МЭР предполагает значительное снижение объемов добычи и ее отрицательную динамику, что сильно расходится с нашими прогнозами.

Добыча газа. Достаточно интересные результаты были получены при прогнозировании добычи газа в млрд куб. м., которые представлены на рисунке 17.

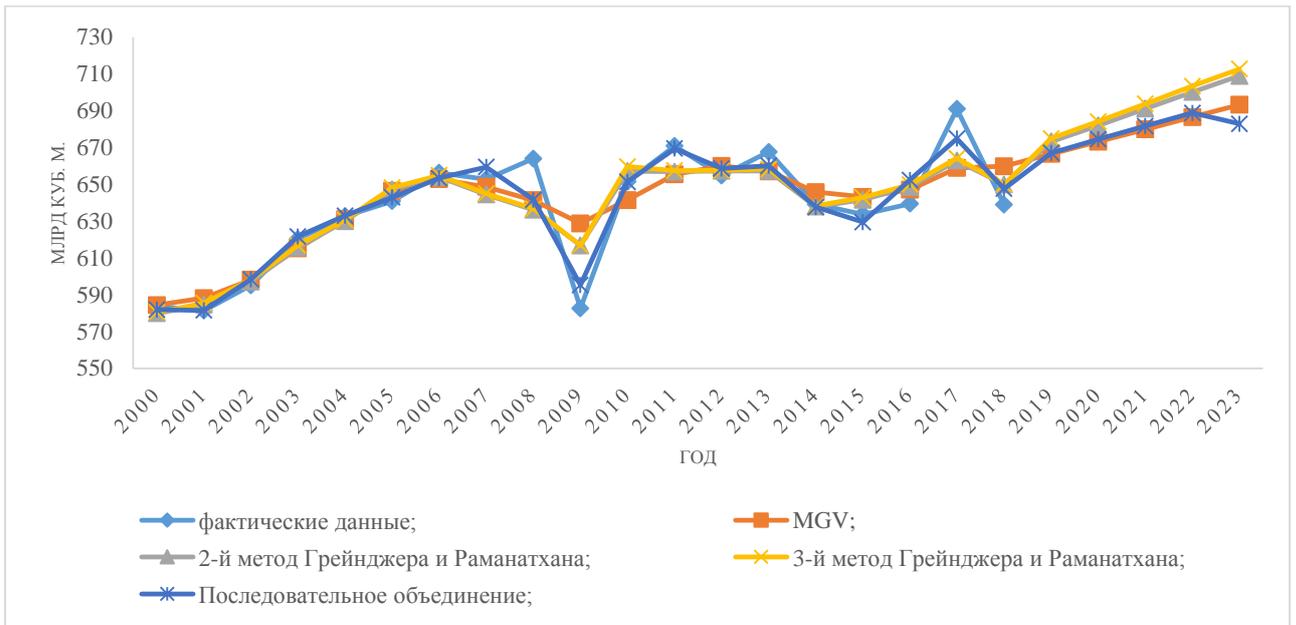


Рисунок 17 - Добыча газа (фактические данные и прогноз), млрд куб. м.

Источник: составлено автором

С 2006 г. фактическая динамика добычи газа имеет тенденцию резкого изменения в сторону как увеличения, так и уменьшения. Прогнозные же результаты достаточно точно повторяют такие скачки, хотя в пиковые моменты «сглаживают» динамику добычи. Как и ранее, прогнозируемая динамика добычи газа имеет линейную тенденцию, предполагается довольно существенный рост по сравнению с прошлыми значениями.

В таблице 50 приводится сравнение полученных прогнозных результатов с прогнозами МЭР.

Прогнозные результаты добычи газа показывают первоначальный резкий прирост с его замедлением в будущем. Прогнозы же МЭР свидетельствуют о продолжившейся скачкообразной динамике.

Производство стали, по полученным прогнозам, в отличие от прошлых рассмотренных временных рядов будет иметь тенденцию к снижению – рисунок 18.

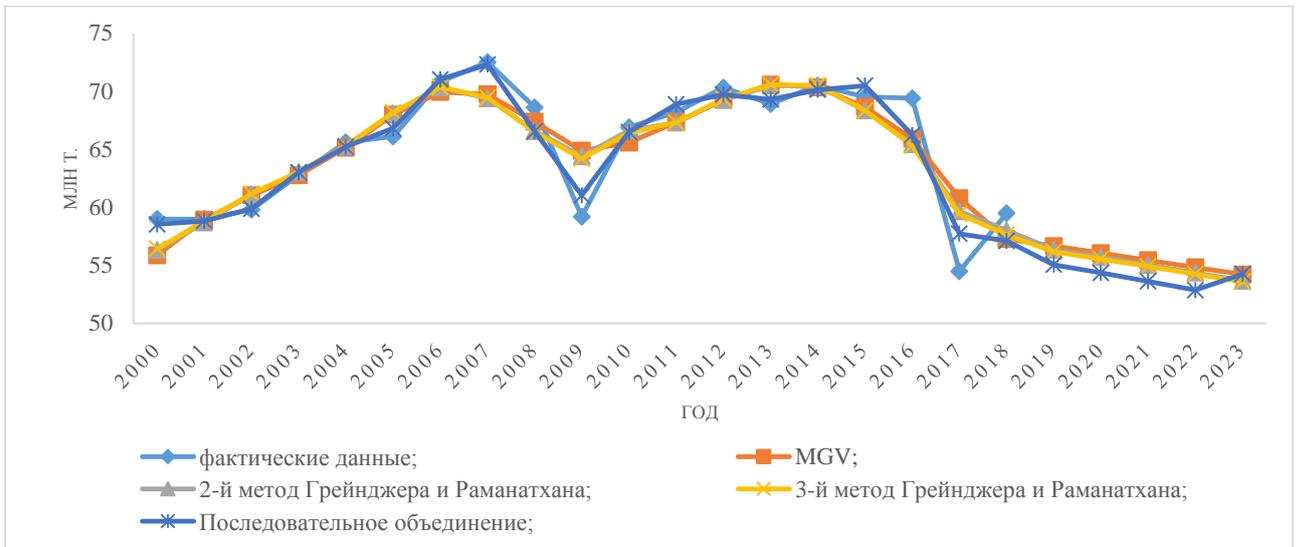


Рисунок 18 – Производство стали (фактические данные и прогноз), млн т.

Источник: составлено автором

Снижение производства, начавшееся еще в 2014 г., продолжится и в будущем, хотя и более плавными темпами. Причем все рассматриваемые модели показывают достаточно близкие друг к другу результаты.

Таблица 50 - Прогнозируемая динамика добычи газа в 2018–2023 гг., %

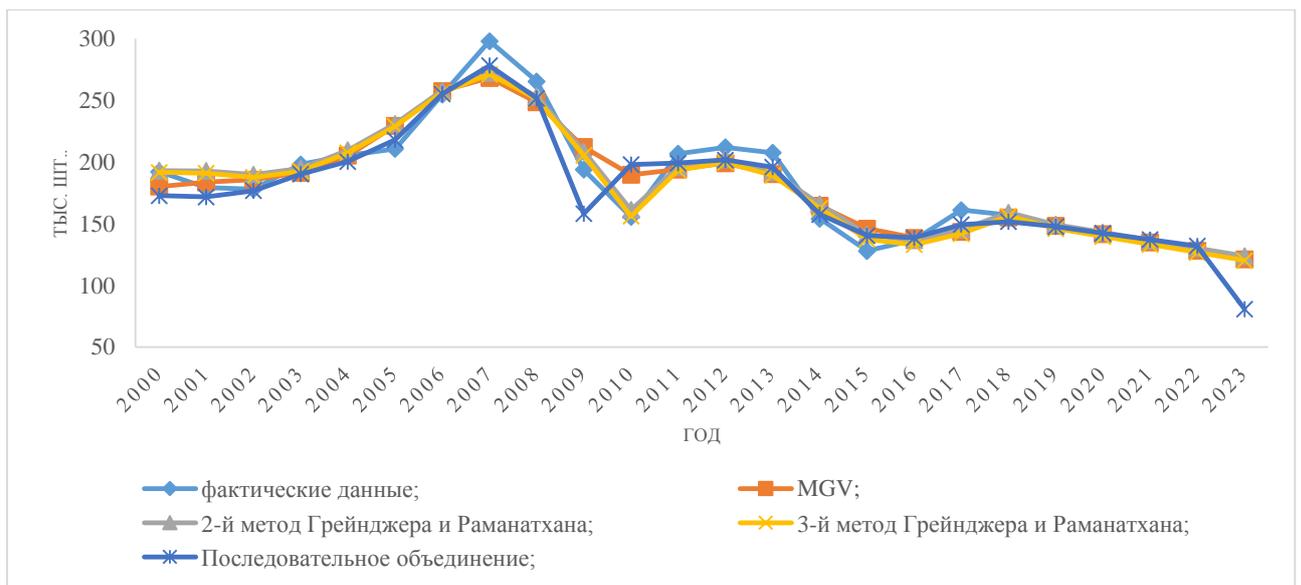
Модель прогнозирования	Год					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
MGV	0,15	1,01	1,00	0,99	0,98	0,97
2-й метод Грейнджера и Раманатхана	-1,95	3,59	1,29	1,34	1,32	1,25
3-й метод Грейнджера и Раманатхана	-2,15	3,86	1,36	1,41	1,38	1,32
Последовательное объединение	-4,04	3,01	1,11	1,07	1,04	-0,85
Прогноз МЭР	2,50	0,20	1,90	0,80	1,40	0,50

Источник: составлено автором, МЭР

К сожалению, МЭР в своем прогнозном документе не дает отдельные прогнозы по продуктам обрабатывающей промышленности. Поэтому ее

сравнение проводилось по полученным результатам выбранных прогнозных моделей.

Производство грузовых автомобилей. Объединение прогнозов показало лучшие результаты в точности относительно частных моделей прогнозирования при прогнозировании производства грузовых автомобилей в моментах резкого изменения динамики – рисунок 19.



Источник: составлено автором

Рисунок 19 – Производство грузовых автомобилей (фактические данные и прогноз), тыс. шт.

Так, метод гармонических весов в точках изменения динамики показывал результаты хуже, чем модели объединения прогнозов, что сказалось на точности данного метода.

Далее по всем полученным прогнозам наблюдается динамика в снижении производства грузовых автомобилей, повторяющая тенденцию, сложившуюся с 2007 г. Результаты прогнозирования по рассматриваемым моделям, практически совпадают.

Производство целлюлозы. При прогнозировании производства целлюлозы частные и объединенные модели прогнозирования показали достаточно близкие друг к другу результаты, представленные на рисунке 20.

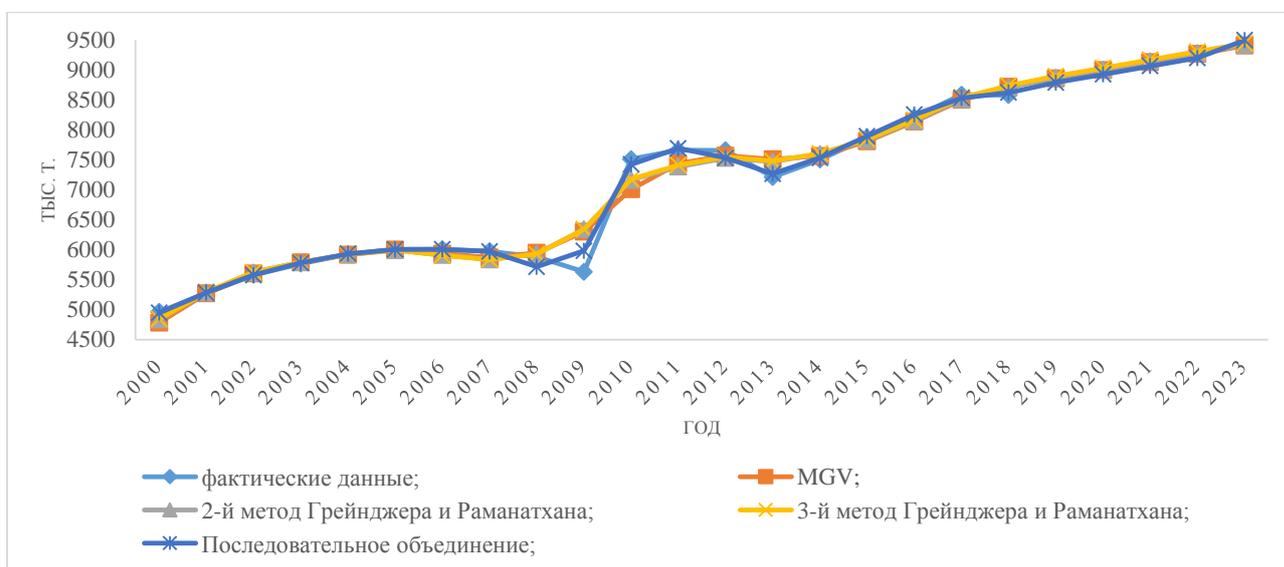


Рисунок 20 – Производство целлюлозы (фактические данные и прогноз), тыс.т.

Источник: составлено автором

Как и по остальным рассматриваемым рядам прогнозы хорошо описывают общую динамику исследуемых процессов и линейно продолжают ее развитие в будущем.

Производство цемента. На рисунке 21 представлены фактические и прогнозные результаты производства цемента в млн т

Как и в случае с производством грузовых автомобилей прогнозные модели хорошо себя показали в моментах резкого изменения динамики производства цемента, хотя и с более сглаженной динамикой относительно фактических данных. В данном случае прогнозные результаты в первые прогнозные годы менее линейны, чем в дальнейшем. При этом сама тенденция производства цемента идет на спад.

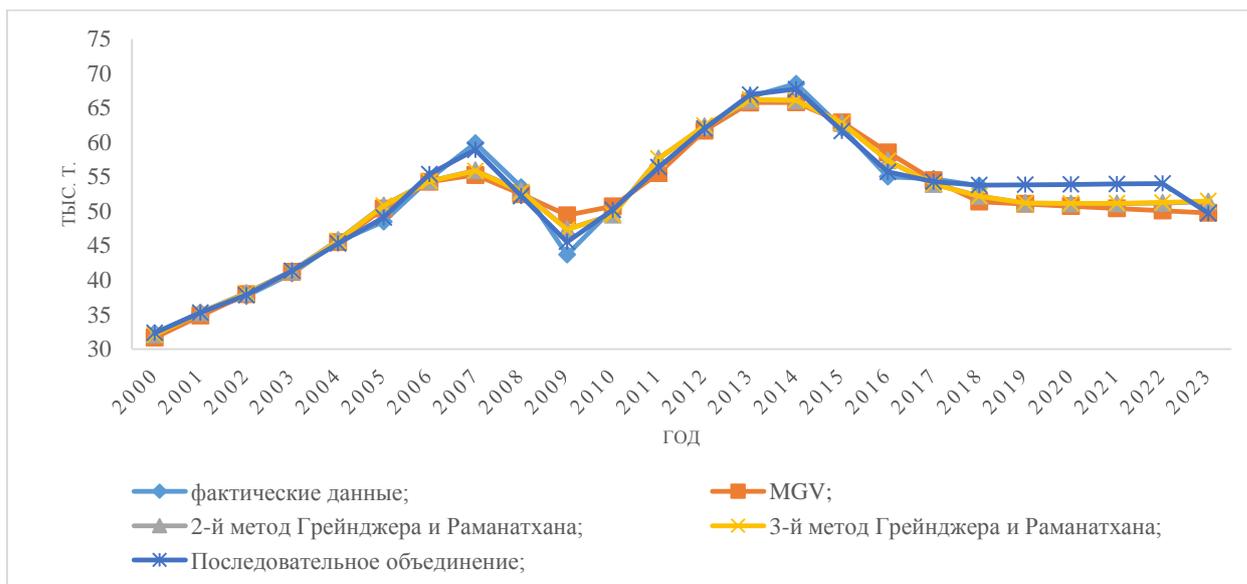


Рисунок 21 – Производство цемента (фактические данные и прогноз), млн т.

Источник: составлено автором

Производство готового проката. При прогнозировании производства проката готового, как и в других случаях, прогнозные модели достаточно близки по результатам к фактическим данным, хорошо отвечают на резкие изменения в динамике временного ряда и имеют линейную тенденцию при прогнозе в будущем. Тенденция прогноза производства готового проката показывает на незначительный прирост в производстве, соответствующий приросту, сложившемуся с 2013 г. Производство готового проката в млн т. представлено на рисунке 22.

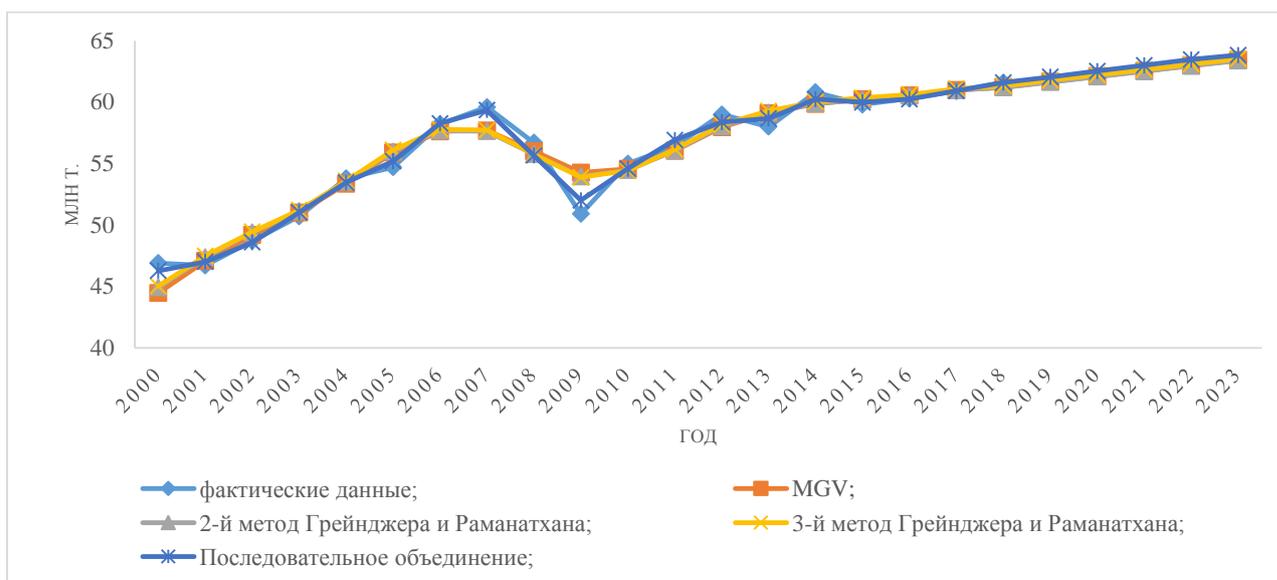


Рисунок 22 – Производство проката готового (фактические данные и прогноз),
МЛН Т.

Источник: составлено автором

Производство чугуна. Описанные ранее временные ряды продуктов промышленного производства имели четкую динамику изменения, которая повторялась в будущем. Однако, при прогнозировании производства чугуна прогнозные модели показали динамику, отличную от той, что сложилась перед прогнозным периодом. Динамика производства представлена на рисунке 23.

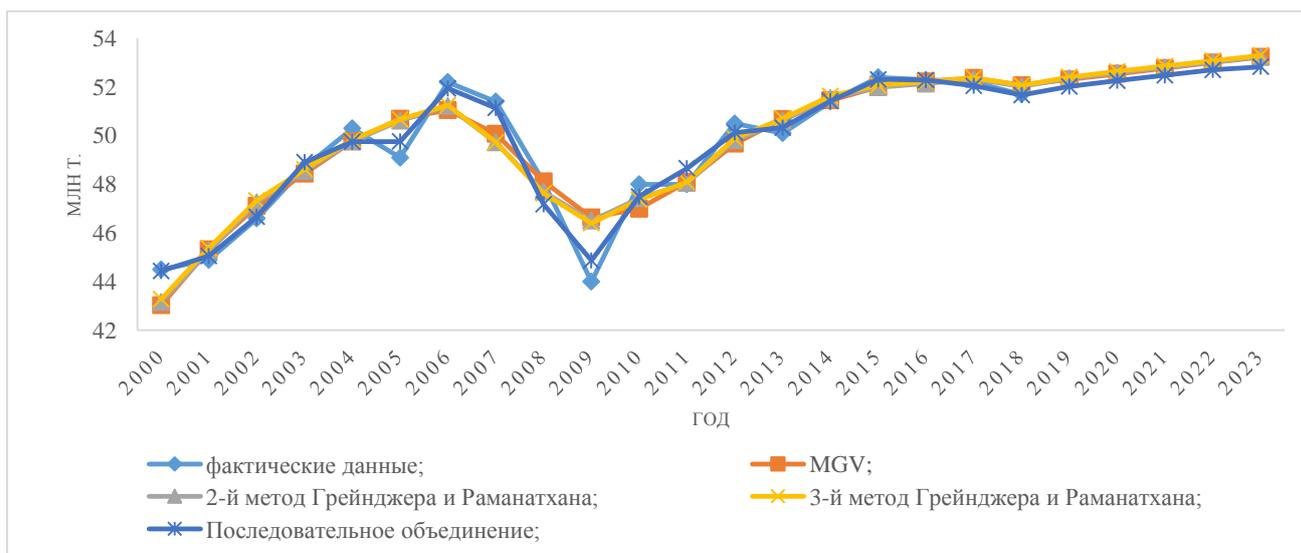


Рисунок 23 – Производство чугуна (фактические данные и прогноз), млн т

Источник: составлено автором

В целом производство чугуна имеет изменчивую динамику во времени с периодами резкого спада производства. Прогнозные методы хорошо описывают в ретропрогнозе общую динамику по изменению производства с малой точностью при колебаниях временного ряда. При этом в прогнозе на будущее все прогнозные методы показали изменение динамики, не характерную для последних нескольких лет перед прогнозным периодом. Линейная динамика прогнозируемого временного ряда показывает увеличение производства чугуна, хотя с 2015 г. наметилась тенденция на его снижение. Такое расхождение прогнозной динамики с фактическими данными может говорить о не совсем корректном полученном прогнозе временного ряда.

Производство автомобильного бензина. Анализ полученных прогнозных результатов свидетельствует о снижении динамики производства бензина в будущем, несмотря на значительный рост в последние несколько десятилетий. Прогнозная динамика линейно продолжает фактическую тенденцию, начатую с 2013 г. Как и в некоторых других прогнозах, при прогнозировании производства бензина результаты моделей достаточно близки по своим значениям друг к другу. Прогнозные и фактические данные производства бензина (млн т) представлены на рисунке 24.

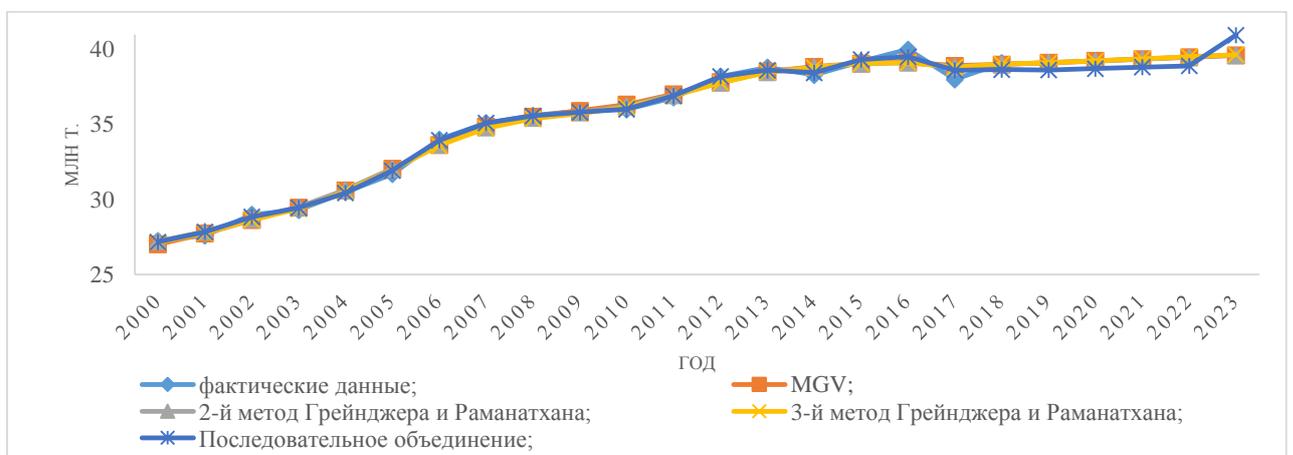


Рисунок 24 – Производство бензина (фактические данные и прогноз), млн т.

Источник: составлено автором

Производство легковых автомобилей. В 2015–2017 гг. наблюдалось снижение темпов производства легковых автомобилей, а с 2017 г. наметилась тенденция увеличения, хотя прогнозная динамика имеет практически нулевой прирост, повторяя динамику прошлых лет (до 2007 г.). Таким образом, прогнозные модели фактически проигнорировали изменения временного ряда в 2007–2017 гг. что, отрицательно сказалось на прогнозе в будущем. Сравнение фактических и прогнозных данных производства легковых автомобилей представлена на рисунке 25.

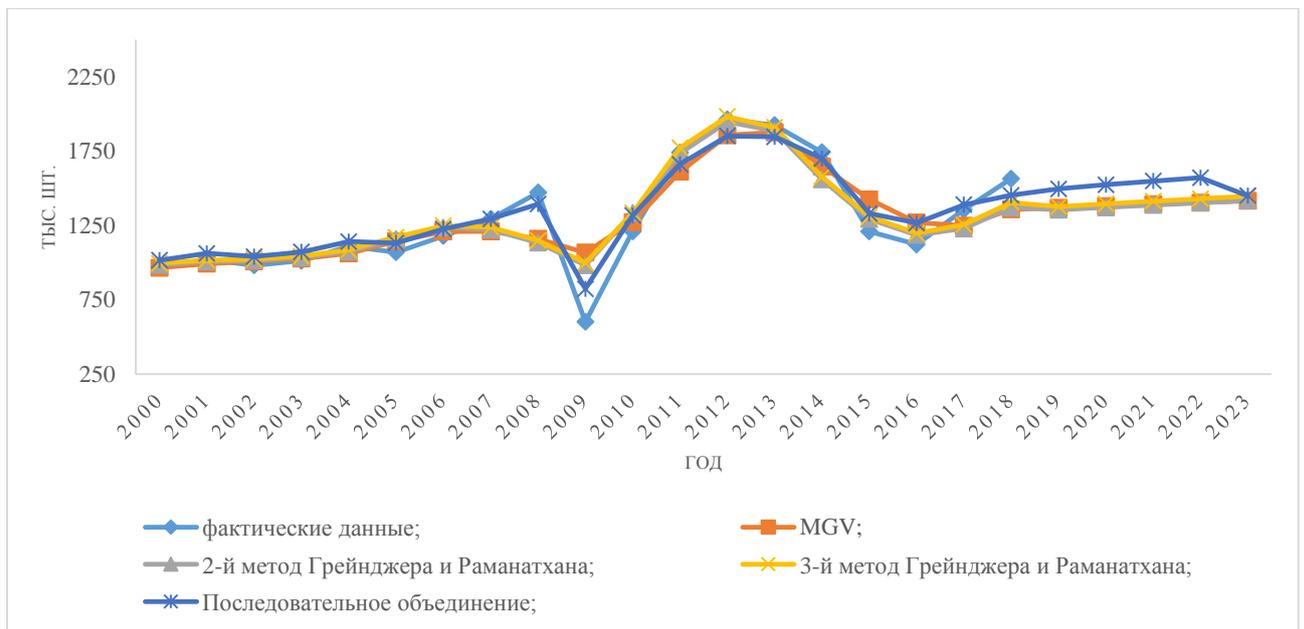


Рисунок 25 – Производство легковых автомобилей (фактические данные и прогноз), тыс. шт.

Источник: составлено автором

Рассматривая в целом полученные результаты можно сделать несколько выводов:

1) полученные прогнозные модели достаточно хорошо повторяют общую динамику исследуемых временных рядов в ретропрогнозе. При этом, объединенные модели более точно описывают изменения при скачкообразных

изменениях динамики фактических временных рядов чем частные модели прогнозирования;

2) метод гармонических весов как наиболее точный из частных методов прогнозирования имеет результаты ретропрогноза, очень близкие к результатам, полученным при объединении прогнозов. Но учитывая сравнение и анализ точности ретропрогноза (приложение Б), объединение прогнозов имеет более точные результаты;

3) все рассмотренные методы прогнозирования имеют линейную динамику в полученных прогнозных результатах. Учитывая фактические данные, это не всегда правильно. В связи с этим возрастает роль привлечения экспертной информации для учета возможных скачков в динамики исследуемых временных рядов;

4) в ряде случаев (производство чугуна и легковых автомобилей) прошлая тенденция исследуемых временных рядов достаточно сильно влияет на прогнозные результаты, полученные как с помощью частных моделей прогнозирования, так и при объединении прогнозов. Тем самым подтверждается тезис о необходимости использования экспертной информации при прогнозировании, которая способствует увеличению качества полученных прогнозных результатов.

ИТОГИ ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЫ

В третьей главе настоящего исследования рассматривались наиболее часто используемые на практике частные методы прогнозирования: метод гармонических весов, обычный метод экспоненциального сглаживания и с использованием трекинг-сигнала, модель Бокса–Дженкинса ARIMA. Эти методы являются адаптивными и хорошо моделируют динамику изучаемых экономических процессов. На практике показано, что метод гармонических весов является наиболее точным частным методом прогнозирования.

Но как отмечалось в предыдущих главах исследования, необходима методика, позволяющая повысить точность экономического прогнозирования. С этой целью рассматривалось прогнозирование с использованием методов объединения прогнозов. При этом, учитывая возможные недостатки существующих методов объединения, наравне с ними рассматривались и предлагаемые модификации при построении весовых коэффициентов объединения прогнозов, а также оценивались методы объединения прогнозов с использованием экспертной информации.

Все рассматриваемые модели прогнозирования оценивались по точности через среднеквадратическое отклонение, среднее абсолютное отклонение и среднее относительное отклонение в %. Точность прогнозирования оценивались на основе аппроксимации фактического временного ряда прогнозным. Эти показатели были выбраны ввиду их адекватной интерпретации точности прогнозирования, а также независимости от размерности исследуемого временного ряда.

В итоге было установлено, что наиболее точными методами объединения прогнозов являются модели объединения прогнозов, построенные по второму и третьему методу Грейнджера и Раманатхана и модель, построенная при последовательном прогнозировании. При этом модель по второму методу Грейнджера и Раманатхана оказалась лучше, чем по первому, что подтверждает необходимость использования ограничения на сумму весовых коэффициентов. По точности прогнозирования методы Грейнджера и Раманатхана лучше практически по всем рассмотренным временным рядам.

В большинстве случаев предлагаемые модификации не привели к повышению точности прогнозирования, но при этом они избавили методы объединения прогнозов от отрицательных весовых коэффициентов и весов больше единицы. Единственный метод с использованием последовательного прогнозирования показал довольно неплохие результаты по точности, хотя его

результаты хуже, чем у методов Грейнджера и Раманатхана. Достаточно хорошие результаты показал и метод с использованием гребневой регрессии.

Подходы с использованием экспертных методов в объединении также не привели к предполагаемому улучшению точности прогнозирования. При этом все рассмотренные методы объединения прогнозов по точности не были хуже, чем индивидуальные прогнозные модели. А рассматриваемые методы объединения прогнозов с использованием экспертной информации все же базировались больше на статистических данных, чем на экспертных оценках, что повлияло на полученные результаты.

При рассмотрении ретропрогноза и прогнозов, полученных по наиболее точным моделям прогнозирования, было установлено, что они достаточно хорошо описывают динамику прогнозируемого процесса, продолжая ее и на прогнозном периоде. При сравнении с прогнозами Министерства экономического развития России подтверждено, что рассматриваемые прогнозные модели достаточно близко отражают тенденцию развития прогнозируемых экономических процессов, которая предполагается в Правительстве РФ. Представленные прогнозные результаты могут использоваться при формировании стратегии экономического развития России на ближайшие пять лет.

Следует отметить, что в некоторых случаях (производство чугуна и легковых автомобилей) прогнозные модели показали результаты, которые не соответствуют фактической тенденции развития изучаемых временных рядов, что требует большей оценки динамики при прогнозировании и использования экспертной информации для корректировки полученных результатов как на стадии объединения, так и после него.

Несмотря на некоторые недостатки отдельных методов прогнозирования можно сделать вывод, что объединение прогнозов улучшает точность экономического прогнозирования, а предлагаемые модификации могут скорректировать недостатки имеющихся методов объединения прогнозов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом диссертационного исследования является возможность совершенствования статистических методов прогнозирования для целей стратегического планирования с точки зрения повышения их точности на примере методов объединения прогнозов, так как точность прогнозирования является одним из самых важных аспектов прогнозирования в стратегическом планировании.

В соответствии с поставленной целью и задачами, результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, позволяют сформулировать следующие практические выводы и рекомендации по повышению точности экономического прогнозирования:

1. Рассмотрена эволюция использования государственного планирования социально-экономического развития в таких отдельных странах, как Франция, Германия, США, Китай, Индия, Япония. Проанализирован международный опыт стратегического и индикативного планирования. Выявлены основные преимущества и недостатки разных подходов в государственном планировании.

2. Проанализировано развитие социально-экономического развития России. Установлены основные этапы, преимущества и недостатки индикативного планирования в СССР. Выявлены главные черты текущего социально-экономического планирования в России, сформулированы основные недостатки действующего стратегического планирования. Определены основные задачи стратегического планирования России – соотношение плана и прогноза, повышение точности прогнозирования для целей стратегического планирования.

3. Проведен анализ соотношения плана и прогноза, определено место прогнозирования в планировании. Обобщены мнения и оценки о роли прогнозирования в планировании.

4. Изучены существующие оценки точности экономического прогнозирования. Выявлены основные недостатки используемых методов. Определены основные методики оценки точности прогнозирования. Проанализированы возможные варианты повышения точности прогнозирования. Выдвинуто предложение по развитию методики объединения прогнозов как инструмента повышения точности прогнозирования.

5. Исследованы существующие методы экономического прогнозирования. Определены основные и часто используемые адаптивные методы прогнозирования.

6. Проанализированы существующие методики построения весовых коэффициентов при объединении прогнозов, а также зарубежный и отечественный опыт использования объединения прогнозов для повышения точности прогнозирования. Выявлен основной недостаток некоторых наиболее эффективных методик объединения прогнозов – отрицательность весовых коэффициентов. Установлена дополнительная проблема объединения прогнозов – отсутствие существующих методов использования экспертной информации.

7. Разработана и предложена методика повышения точности прогнозирования на основе объединения прогнозов.

8. Выдвинуты предложения по модификации и устранению отрицательных весовых коэффициентов и предложены методы построения весовых коэффициентов, которые бы могли использовать экспертную информацию как дополнительный инструмент для повышения точности прогнозирования или же как отдельный метод объединения прогнозов.

9. Для практической реализации предложений, сделанных в диссертационном исследовании, определены некоторые временные ряды основных продуктов промышленного производства России. В ходе практической реализации предлагаемых методов и модификаций установлено, что наиболее точными методами объединения прогнозов являются методы

Грейнджера и Раманатхана. Точность прогнозирования в отдельных случаях может повыситься в два раза относительно частных методов прогнозирования по рассмотренным оценкам точности прогнозирования. Модификация последовательным объединением прогнозов и использование гребневой регрессии при построении весовых коэффициентов позволяют избавиться от отрицательных весов в объединении, но ухудшают точность прогнозирования относительно исходных методов объединения прогнозов.

10. Предпринята попытка построения объединенного прогноза методами, использующими экспертную информацию. В ходе диссертационного исследования установлено, что данные методы не дают необходимого прироста по точности прогнозирования. Это связано с упором на использование статистических данных при построении прогнозов этими методами, а не на непосредственно экспертные оценки. Но дальнейшее их исследование и привлечение экспертных оценок может дать лучшие результаты в плане точности прогнозирования.

11. На основе проведенных практических исследований методов объединения прогнозов были разработаны прогнозы динамики некоторых продуктов промышленного производства России, что является одним из пунктов практической значимости диссертационного исследования. Проведено сравнение разработанных прогнозов с прогнозами Правительства РФ, а также проанализирована полученная динамика развития по данным продуктам промышленного производства.

Использование предлагаемой методики совершенствования статистических методов прогнозирования позволит повысить точность прогнозирования без применения сложных методов и дополнительных временных затрат. Полученные результаты могут быть использованы в научной и преподавательской деятельности, а также на практике для построения как отдельных экономических прогнозов, так и прогнозов в стратегии экономического развития России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Книги

1. Антонова, Н. Б. Государственное регулирование экономики: учебник / Н. Б. Антонова. – Минск : Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2002. – 775 с.
2. Айвазян, С. А. Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. – М. : ЮНИТИ, 2001. – 656 с.
3. Бауэр, А. Философия и прогностика. Мировоззренческие и методологические проблемы общественного прогнозирования / А. Бауэр, В. Эйхгорн и др.; под ред. И. В. Бестужева-Лады. – М. : Прогресс, 1971. – 424 с.
4. Бестужев-Лада, И. В. Рабочая книга по прогнозированию / И. В. Бестужев-Лада. – М. : Мысль, 1982. – 430 с.
5. Бокс, Дж., Анализ временных рядов. Прогнозирование и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М. : Мир, 1974. – 406 с.
6. Борисевич, В. И. Прогнозирование и планирование экономики: учебное пособие / В. И. Борисевич, Г. А. Кандаурова и др.; под ред. Г. А. Кандауровой, В. И. Борисевича. – Минск : Интерпрессервис, Экоперспектива, 2001. – 432 с.
7. Борисевич, В. И. Прогнозирование и планирование экономики : Практикум : учебное пособие. / В. И. Борисевич и др.; под ред. Г.А. Кандауровой. – Минск : Экоперспектива, 2003. – 152 с.
8. Бородич, С. А. Эконометрика / С. А. Бородич. – Минск : Новое знание, 2001. – 408 с.
9. Вишнев, С. М. Основы комплексного прогнозирования / С. М. Вишнев. – М. : Наука, 1977. – 287 с.

10. Воротников, И. Л. Ex-post прогнозирование на основе кусочно-линейной регрессии / И. Л. Воротников, А. В. Розанов, С. И. Ткачев // Комплексное развитие сельских территорий и инновационные технологии в агропромышленном комплексе: Сборник III международной научно-методической и практической конференции (16 января 2018 г.). – Новосибирск : Издательский центр НГАУ «Золотой колос», 2018. – С. 39-42.
11. Герасенко, В. П. Прогностические методы управления рыночной экономикой: учебное пособие: В 2-х частях Часть 1. / В. П. Герасенко. – Гомель : Белорусский Центр Бизнеса «Альтаир», 1997. – 320 с.
12. Глазьев, С. Ю. Теория долгосрочного технико-экономического развития / С. Ю. Глазьев. – М. : ВладДар, 1993. – 310 с.
13. Дуброва, Т. А. Статистический анализ и прогнозирование экономической динамики: проблемы и подходы : монография / Т. А. Дуброва; под ред. В. Г. Минашкина. – М.: Юнити, 2012. – 387 с.
14. Загоруйко, Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний / Н. Г. Загоруйко. – Новосибирск : ИМ СО РАН, 1999. – 270 с.
15. Касперович, С. А. Прогнозирование и планирование экономики: курс лекций для студентов / С. А. Касперович. – Минск : БГТУ, 2007. – 172 с.
16. Клименко, А. В. Актуальный опыт зарубежных стран по развитию государственных систем стратегического планирования. Часть 1 / А. В. Клименко, В. А. Королев, Д. Ю. Двинских и др. – М. : Издательский дом Высшей школы экономики, 2016. – 68 с.
17. Клименко, А. В. Актуальный опыт зарубежных стран по развитию государственных систем стратегического планирования. Часть 2 / А. В. Клименко, В. А. Королев, Д. Ю. Двинских и др. – М. : Издательский дом Высшей школы экономики, 2016. – 40 с.
18. Ковачев, Д. А. Конституционное право государств Европы: учебное пособие для студентов юридических вузов и факультетов / под редакцией Д. А. Ковачева. – М. : Волтерс Клувер, 2005. – 309 с.

19. Логвинов, С. А. Макроэкономическое стратегическое планирование учебное пособие / С. А. Логвинов. – М.: ИНФРА-М, 2001. – 348 с.
20. Лукашин, Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: учебное пособие / Ю. П. Лукашин. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 414 с.
21. Маккаллок, У. С., Питтс, В. Логическое исчисление идей, относящихся к нервной деятельности / В сборнике: «Автоматы» под ред. К. Э. Шеннона и Дж. Маккарти. – М. : Иностранная литература, 1956. – 404 с.
22. Маляров, О. В. Независимая Индия: эволюция социально-экономического модели и развитие экономики. Книга 1 / О. В. Маляров. – М. : Вост. лит. РАН, 2010. – 744 с.
23. Моргенштерн О., Дж. фон Нейман Теория игр и экономическое поведение / О. Моргенштерн, Дж. фон Нейман. – М. : Книга по требованию, 2012. – 708 с.
24. Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976–1980 годы. – М. : Политиздат, 1976. – 476 с.
25. Островский, А. В. Региональное развитие Китая после перехода от директивного к направляющему планированию в начале XXI века / под ред. А. В. Островской. – М.: Институт дальнего востока РАН. – 2015. – 660 с.
26. Плотницкий, М. И. Макроэкономика: учеб. пособие / М.И. Плотницкий, Э.И. Лобкович, М.Г. Муталимов и др.; под ред. М. И. Плотницкого. – М. : Новое знание, 2002. – 462 с.
27. Половников, В. А. Анализ и прогнозирование транспортной работы морского флота / В. А. Половников. – М. : Транспорт, 1983. – 224 с.
28. Прокопчук, Л. О. Стратегическое планирование: конспект лекций / Л. О. Прокопчук, А. А. Козырев. – Санкт-Петербург : Издательство Михайлов В. А., 2000. – 64 с.

29. Розенблатт, Ф. Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга / Ф. Розенблатт; под ред. С. М. Осовца. – М. : Мир, 1965. – 470 с.
30. Саати, Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети / Т. Л. Саати; под ред. А. В. Андрейчикова, О. Н. Андрейчиковой. – М. : ЛИБРОКОМ, 2009. – 360 с.
31. Садовникова Н. А. Статистика: учебник / Н. А. Садовникова, В. Г. Минашкин, О. Г. Кучмаева, Е. С. Дарда, О. А. Махова. – М. : Издательский дом «Научная библиотека», 2016. – 244 с.
32. Салин, В. Н. Курс теории статистики для подготовки специалистов финансово-экономического профиля: учебник / В. Н. Салин, Э. Ю. Чурилова. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 480 с.
33. Салин, В. Н. Статистический анализ данных цифровой экономики в системе "Statistica": учебно-практическое пособие / В. Н. Салин, Е. П. Шпаковская, Э. Ю. Чурилова. – М. : КНОРУС, 2019. – 238 с.
34. Салин, В. Н. Статистика: учебник / В. Н. Салин и др.; под ред. В. Н. Салина, Е. Н. Шпаковской. – М. : КНОРУС, 2018. – 328 с.
35. Саркисян, С. А. Теория прогнозирования и принятия решений. Учебное пособие / С. А. Саркисян и др.; под ред. С. А. Саркисяна. – М. : Высшая школа, 1977. – 350 с.
36. Тейл, Г. Экономические прогнозы и принятие решений / Г. Тейл; под ред. Четыркина Е. М. – М. : Статистика, 1971. – 488 с.
37. Френкель, А. А. Прогнозирование производительности труда: методы и модели / А. А. Френкель. – М. : Экономика, 1989. – 214 с.
38. Хованов, Н. В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците / Н. В. Хованов. – Санкт-Петербург : Издательство С.-Петербургского университета, 1996. – 196 с.

39. Чистик О. Ф. Статистика. Социально-экономическая статистика: учебное пособие для ВУЗов. Издание 7-е / О. Ф. Чистик, Е. В. Зарова, Н. Н. Кумарина и др. – Самара : СГЭУ, 2014. – 280 с.

40. Brown, R. G. Smoothing forecasting and prediction of discrete time series / R. G. Brown. – New York: Dover Publications; Dover Phoenix Edition, 2004. – 480 pp.

41. Global Economic Prospects, June 2019: Heightened Tensions, Subdued Investment. World Bank. [Electronic source] – Access mode: <http://pubdocs.worldbank.org/en/308981560187921635/211398-Ch01.pdf> (access date: 10.2019).

42. Holden, K., Economic Forecasting: An Introduction / K. Holden, D. A. Peel, J. L. Thomson. – Cambridge: University Press, 1991. – 224 pp.

Законодательные и нормативные акты

43. Прогнозы Министерства экономического развития России. Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2024 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://economy.gov.ru/minec/activity/sections/macro/201801101> (дата обращения: 26.10.2019).

44. Федеральный закон от 28.06.2014 N172-ФЗ (ред. от 28.06.2019) «О стратегическом планировании в Российской Федерации» [принят Государственной Думой 20 июня 2014 года]: [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_164841 (дата обращения: 26.10.2019).

Авторефераты диссертаций

45. Балтрушевич, Т. Г. Модели и методы оценки эффективности гибких производственных систем: автореф. дис. ...канд. экон. наук: 08.00.13 / Татьяна Геннадьевна Балтрушевич. – М., 1991. – 21 с.

46. Гусарова, О. М. Исследование качества краткосрочных моделей прогнозирования финансово-экономических показателей: автореф. дис. ...канд. экон. наук: 08.00.13 / Ольга Михайловна Гусарова. – М., 1999. – 18 с.

47. Шанина, Е. А. Статистические методы агрегирования экономических показателей: автореф. дис. ...канд. экон. наук: 08.00.11 / Елена Алексеевна Шанина. – М.: 1999. – 23 с.

Электронные ресурсы

48. Мухина, С. А. Китайский опыт макроэкономического планирования и возможности его использования в Российской Федерации // Naukarastudent.ru. – 2016. – No. 03 (027). – С. 1-17. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://nauka-rastudent.ru/27/3288>. (дата обращения: 26.10.2019).

49. Пискунов, Е. Ю. Модификация коэффициента Тейла // Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2012. – №5. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/modifikatsiya-koeffitsienta-teyla> (дата обращения: 26.10.2019).

50. Gupta S. Five year plans not possible in market economy // The Times of India. – 2015. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://timesofindia.indiatimes.com/business/india-business/Five-year-plans-not-possible-in-market-economy/articleshow/50347836.cms> (дата обращения: 26.10.2019).

Статьи

51. Андреев, А. В. Прогнозирование инфляции методом комбинирования прогнозов в Банке России / А. В. Андреев // Серия докладов об экономических исследованиях, Банк России. – 2016. – № 14. – С. 2-11.

52. Бабешко, Л. О. Гибридные и селективные модели прогнозирования финансовых индексов в рамках рандомизированной коллокации /

Л. О. Бабешко, А. М. Ясакова // Экономика. Налоги. Право. – 2017. – № 2. – С. 51-57.

53. Бейлинсон, Я. Е. Комбинированные модели прогноза / Я. Е. Бейлинсон, М. А. Мотова // Экспресс-информация. Серия: Моделирование социально-экономических процессов. – 1990. – Вып. 2. – С. 110-121.

54. Белостоцкий, А. А. Зарубежный опыт долгосрочного бюджетного планирования и прогнозирования / А. А. Белостоцкий // Финансы, кредит и финансовое право. – 2012. – № 1. – С. 227–230.

55. Бойко, А. А. Разработка гибридной модели прогнозирования валютного курса / А. А. Бойко // Инвестиционный, финансовый и управленческий анализ. – 2017. – № 4. – Том 2. – С. 181-191.

56. Васильев, А. А. Генезис гибридных моделей прогнозирования на основе объединения прогнозов / А. А. Васильев // Вестник Тверского государственного университета. – 2014. – № 23. – С. 316-331.

57. Васильев, А. А. Гибридные модели прогнозирования экономических показателей на основе взвешенного арифметического среднего постоянного набора прогнозов / А. А. Васильев, Е. В. Васильева // Вестник Тверского государственного университета. – 2012. – Вып. 13. – С. 149-164.

58. Войтишина, М. А. Подходы к организации стратегического планирования в России и за рубежом / М. А. Войтишина, Э. И. Кистрина, Г. Е. Локтева // Вестник Рязанского государственного университета им. С. А. Есенина. – 2016. – № 2 (51). – С. 150-160.

59. Глазьев, С. Ю. О стратегии устойчивого развития экономики России / С. Ю. Глазьев, Г. Г. Фетисов // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2013. – № 1. – С. 23-35.

60. Головченко, В. Б. Комбинирование прогнозов с учетом экспертной информации / В. Б. Головченко, С. И. Носков // Автоматика и телемеханика. – 1992. – № 11. С. 109-117.

61. Горелик, Н. А. Статистические проблемы экономического прогнозирования / Н. А. Горелик, А. А. Френкель // Ученые записки по статистике. – 1983. – Т. 46. – С. 9-48.
62. Егорова, С. В. Оценка точности экономических прогнозов: вопросы методики / С. В. Егорова, Т. Б. Лыгденова // Экономические науки. – 2014. – № 9 (118). – С. 55-58.
63. Ермилина, Д. А. Стратегическое планирование в России: история и современность / Д. А. Ермилина // Проблемы рыночной экономики. – 2016. – № 1. – С. 4-10.
64. Ершов, Э. Б. Об одном методе объединения частных прогнозов / Э. Б. Ершов // Ученые записки по статистике. – 1973. – Т. XXII–XXIII. – С. 87-105.
65. Заверский, С. М. Стратегическое планирование развития экономики: мировой опыт и выводы для России / С. М. Заверский, Е. С. Киселева, В. Ю. Кононова, Д. А. Плеханов, Н. М. Чуркина // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2016. – № 2. – С. 22-40.
66. Климанов, В. В. Промежуточные итоги стратегического планирования в регионах России / В. В. Климанов, К. В. Будаева, Н. А. Чернышева // Экономическая политика. – 2017. – № 5. – С. 104-127.
67. Коссов, В. В. О планировании социального и экономического развития России – платформа для консолидации общества. Выводы из опыта Госплана СССР / В. В. Коссов // Экономическая наука современно России. – 2013. – №3 (62). – С. 101-121.
68. Ксенофонтов, М. Ю. Теоретические и прикладные аспекты долгосрочного прогнозирования / М. Ю. Ксенофонтов // Проблемы прогнозирования. – 2002. – №2. – С. 1-30.
69. Кузнецов, А. А. Взвешенный прогноз на основе анализа временных рядов / А. А. Кузнецов, А. В. Журов // Вестник Сибирского государственного

аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. – 2007. – №4. – С. 39-40.

70. Логвинов, С. А. Стратегическое макропланирование в современной России: поиск путей решения проблемы / С. А. Логвинов, С. Димов, Е. Г. Павлова // Экономические науки. – 2010. – № 1 (62). – С. 12-22.

71. Мельник, М. В. Предпосылки эффективного развития цифровой экономики / М. В. Мельник, В. Н. Салин // Учет. Анализ. Аудит. – 2018. – № 6. – С. 6-16.

72. Невская, Н. А. Государственное экономическое планирование в России: история и современность / Н. А. Невская // Известия УрГЭУ. – 2015. – № 1 (57). – С. 53-60.

73. Остапюк, С. Ф. Модели построения комбинированного прогноза развития научно-технической сферы / С. Ф. Остапюк, М. А. Мотова // Проблемы прогнозирования. – 2004. – № 1. – С. 146-156.

74. Павлова, А. И. Сравнительный анализ применения нейронных сетей для аппроксимации функций / А. И. Павлова, О. Ю. Лончакова // Science Time. – 2015. – №5. – С. 314-320.

75. Рассадина, А. К. Опыт индикативного планирования во Франции в свете задачи структурной трансформации российской экономики: научные исследования экономического факультета / А. К. Рассадина // Электронный журнал экономического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. – 2017. – Том 9. Вып. 1. – С. 37-48.

76. Растяникова, Е. В. Государственное планирование экономического развития в странах БРИКС / Е. В. Растяникова // Восточная аналитика. – 2016. – №3. – С. 20-36.

77. Райская, Н. Н. Применение гребневой регрессии в статистическом моделировании / Н. Н. Райская, А. А. Френкель // Экономика и математические методы. – 1985. – Т. XXI. №4. – С. 715-725.

78. Сурков, А. А. Повышение точности экономического прогнозирования на основе объединения экономических прогнозов / А. А. Сурков // Вестник МФЮА. – 2016. – № 2. – С. 267-277.

79. Сурков, А. А. Применение метода попарных сравнений при объединении экономических прогнозов / А. А. Сурков // Учет. Анализ. Аудит. – 2019. – № 3. – С. 32-42.

80. Сурков, А. А. Один из подходов повышения точности экономического прогнозирования / А. А. Сурков // РИСК: Ресурсы. Информация. Снабжение. Конкуренция. – 2017. – № 2. – С. 140-147.

81. Сурков, А. А. К вопросу повышения точности прогнозирования / А. А. Сурков // Экономика и предпринимательство. – 2018. – № 8 (97). – С. 1285-1290.

82. Турунцева, М. Ю. Статистические методы оценки качества прогнозов экономической деятельности / М. Ю. Турунцева // Российское предпринимательство. – 2011. – № 8(1). – С. 50-56.

83. Турунцева, М. Ю. Прогнозирование в периоды экономической нестабильности: существуют ли простые способы улучшить качество прогнозов / М. Ю. Турунцева, Е. В. Астафьева // Научный вестник ИЭП им. Гайдара. – 2015. – № 4. – С. 40-46.

84. Ушакова, О. А. Развитие стратегического планирования в мировой и российской практике / О. А. Ушакова // Вестник ОГУ. – 2014. – № 6. – С. 239-243.

85. Френкель, А. А. Моделирование динамики на основе гребневой регрессии с автокоррелированными остатками / А. А. Френкель // Экономика и математические методы. – 1988. – Т. XXIV. № 4. – С. 699-708.

86. Френкель, А. А. Определение весовых коэффициентов при объединении прогнозов / А. А. Френкель, А. А. Сурков // Вопросы статистик. – 2017. – № 12. – С. 3-15.

87. Френкель, А. А. Повышение точности прогнозирования интегральных показателей на основе объединения прогнозов / А. А. Френкель, Н. Н. Волкова, А. А. Сурков // Финансы: теория и практика. – 2017. – Т. 21. № 5. – С. 118-127.

88. Френкель, А. А. Использование методов гребневой регрессии при объединении прогнозов / А. А. Френкель, Н. Н. Волкова, А. А. Сурков, Э. И. Романюк // Финансы: теория и практика. – 2018. – №4. – С. 6-17.

89. Френкель, А. А. Некоторые практические аспекты использования основных методов прогнозирования временных рядов / А. А. Френкель, Н. Н. Волкова, Я. В. Сергеенко, А. А. Сурков // Экономика и предпринимательство. – 2016. – № 11 (4). – С. 898-904.

90. Френкель, А. А. Объединение прогнозов как фактор повышения качества прогнозирования / А. А. Френкель, Н. Н. Волкова, А. А. Сурков, А. Ф. Лобзова, Э. И. Романюк // Экономика и предпринимательство. – 2016. – № 11 (2). – С. 1118-1126.

91. Френкель, А. А. Пошаговая модификация метода объединения прогнозов Грейнджера-Раманатхана / А. А. Френкель, Н. Н. Волкова, А. А. Сурков, Э. И. Романюк // Вопросы статистики. – 2018. – № 6. – С. 16-25.

92. Френкель, А. А. Сравнительный анализ методов построения объединенного прогноза / А. А. Френкель, Н. Н. Волкова, А. А. Сурков, Э. И. Романюк // Вопросы статистики. – 2017. – № 7. – С. 17-27.

93. Френкель, А. А. О единой социально-экономической политике и стратегическом планировании / А. А. Френкель, Б. И. Тихомиров // Экономическая политика. – 2017. – Т. 12. – № 4. – С. 82-117.

94. Хлынов, В. Общегосударственное планирование рыночной экономики: опыт Японии / В. Хлынов // Мировая экономика и международные отношения. – 2000. – № 8. – С. 18-25.

95. Шумков, Д. С. Метод прогнозирования временных рядов с использованием кусочно-линейной аппроксимации / Д. С. Шумков,

И.Г. Сидоркин // Вестник Чувашского университета. – 2008. – № 2. – С. 199-203.

96. Яровой, С. В. Проверка адекватности и точности модели распространения кромки природного пожара основанной на методе подвижной сетки / С. В. Яровой, Г. А. Дорпер // Хвойные бореальной зоны. – 2015. – Т. XXXIII. № 5-6. – С. 253-259.

97. Akaike, H. New Look at the Statistical Model Identification / H. Akaike // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1974. – Vol. 19. №6. – P. 716-723.

98. Armstrong, J. S. Combining forecasts / J. S. Armstrong // Kluwer Academic Publishers. – 2001. – P. 1-19.

99. Armstrong, J. S. Combining Forecasts: The End of the Beginning or the Beginning of the End? / J. S. Armstrong // International Journal of Forecasting. – 1989. – № 5. – P. 585-588.

100. Barnard, G. A. New methods of quality control / G. A. Barnard // Journal of the Royal Statistical Society A. – 1963. – № 126. – P. 255-258.

101. Bates, J. M. The combination of forecasts / J. M. Bates, C. W. J. Granger // Operational Research Quarterly. – 1969. – № 20. – P. 451-468.

102. Bjornland, H. C. Does Forecast Combination Improve Norges Bank Inflation Forecast? / H. C. Bjornland, K. Gerdrup, A. S. Jore, C. Smith, L. A. Thorsrud // Oxford Bulletin of Economics and Statistics. – 2012. – № 74. – P. 163–179.

103. Bunn, D. W. A Bayesian approach to the linear combination of forecasts / D. W. Bunn // Operational Research Quarterly. – 1975. – Vol. 26. – P. 325-329.

104. Bunn, D. W. A Comparative evaluation of the outperformance and minimum variance procedures for the linear synthesis of forecasts / D. W. Bunn // Operational research quarterly. – 1977. – Vol. 28. № 3. – P. 653-662.

105. Clemen, R. T. Combining forecasts: a review and annotated bibliography / R. T. Clemen // International Journal of Forecasting. – 1989. – Vol. 5. – P. 559-583.
106. Clemen, R. T. Linear constraints and the efficiency of combined forecasts / R. T. Clemen // Journal of Forecasting. – 1986. – Vol. 5. – P. 31-38.
107. Van Dijk, D. Combining expert-adjusted forecasts / D. Van Dijk, P. Hans // Journal of Forecasting. – 2019. – № 5. – P. 415-421.
108. Engle, R. F. Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing / R. F. Engler, C. W. J. Granger // Applied Econometrics. – 2015. – № 39 (3). – P. 107-135.
109. Ferrar, D. E. Multicollineary in regression analysis: The problem revisited / D. E. Ferrar, F. R. Glauber // The Review Economics and Statistics. – 1967. – № 49 (1). – P. 91-107.
110. Fogler, H. R. A pattern recognition model for forecasting / H. R. Forler // Management science. – 1974. – No. 8. – P. 1178-1189.
111. Genre, V. Combining expert forecasts: Can anything beat the simple average? / V. Genre, G. Kenny, A. Meyler, A. Timmermann // International Journal of Forecasting. – 2013. – № 29 (1). – P. 108-121.
112. Goodwin, P. New evidence on the value of combining forecasts / P. Goodwin // FORESIGHT. – 2009. – Vol. 12. – P. 33-35.
113. Granger, C. W. J. Improved methods of combining forecasts / C. W. J. Granger, R. Ramanathan // Journal of Forecasting. – 1984. – Vol. 3.
114. Gupta, S. Combination of Economic Forecasts: An Odds-Matrix Approach / S. Gupta, P. C. Wilton // Journal of Business and Economic Statistics. – 1988. – Vol. 6. – P. 373-379.
115. Gupta, S. Combination of forecasts: an extension / S. Gupta, P. C. Wilton // Management Science. – 1987. – Vol. 3. – P. 356-371.

116. Hellwing Z. Schemat budowy prognozy statycznej metoda wag harmoniczných / Z. Hellwing // *Przeglad Statyczny*. – 1967. – R. XIV. №2. – P. 133-153.
117. Hoerl, A. E. Application of Ridge Analysis to Regression Problems / A. E. Hoerl // *Chemical Engineering Progress*. – 1962. – Vol. 58. №1. – P. 54-59.
118. Hoerl, A. E. Ridge regression: Applications to Nonorthogonal Problems / R. W. Kennard, A. E. Hoerl // *Technometrics*. – 1970. – Vol. 12. № 1. – P. 69–82.
119. Holden, K. An Empirical Investigation of Combinations of Economic Forecasts / K. Holden, D. A. Peel // *Journal of Forecasting*. – 1986. – №5. – P. 229-242.
120. Jose, V. R. Simple robust averages of forecasts: some empirical results / V. R. Jose, R. L. Winkler // *International Journal of Forecasting*. – 2008. – Vol. 24. – P. 163-169.
121. Karagedikli, O. Improved methods for combining point forecasts for an asymmetrically distributed variable / O. Karagedikli, S. P. Vahey, E. C. Wakerly // *SSRN Electronic Journal*. – 2019. – №15. P. 1-75.
122. Makridakis, S. The M3-Competition: results, conclusions and implications / S. Makridakis, M. Hibon // *International Journal of Forecasting*. – 2000. – Vol. 16. – P. 451-476.
123. Makridakis, S. Averages of forecasts: some empirical results / S. Makridakis, R. L. Winkler // *Management Science*. – 1983. – Vol. 9. – P. 987-996.
124. Mills, T. C. A time series forecasting system for the UK money supply / T. C. Mills, M. J. Stephenson // *Economic Modelling*. – 1987. – P. 355-369.
125. Mancuso, A. C. B. Review of combining forecasts approaches / A. C. B. Mancuso, L. Werner // *Independent journal of management & production*. – 2013. – Vol.4. No.1. – P. 248-277.

126. Newbold, P. Experience with forecasting univariate time series and the combination of forecasts / P. Newbold, C. W. J. Granger // *Journal of the Royal Statistical Society*. – 1974. – Vol. 137. – P. 131-164.
127. Palm, F. C. To combine or not to combine? Issues of combining forecasts / F. C. Palm, A. Zellner // *Journal of Forecasting*. – 1992. – № 11. – P. 687-701.
128. Pantazopoulos, S. N. New methods for combining forecasts / S. N. Pantazopoulos, C. P. Pappis // *Yugoslav Journal of Operation Research*. – 1998. – Vol. 8. – P. 103-109.
129. Schwarz G. Estimating the dimension of a model / G. Schwarz // *Annals of Statistics*. – 1978. – T. 6. – P. 461–464.
130. Sims, C. Macroeconomics and Reality / C. Sims // *Econometrica*. – 1980. – № 48. – P. 1-48.
131. Stock, J. H. Combination Forecasts of Output Growth in a Seven-Country Data Set / J. H. Stock, M. W. Watson // *Journal of Forecasting*. – 2004. – №23. – P. 405-430.
132. Theil, H. Applied economic forecasting / H. Theil, G. Beerens, C. de Leeuw, C. Tilanus // American Elsevier Publishing Co.: New York. – 1966. – Vol. 4. – P. 15-43.
133. Thomson, M. Combining Forecasts: Performance and Coherence / M. Thomson, A. C. Pollock, D. Önköl, S. Gönöl // *International Journal of Forecasting*. – 2019. – № 35 (2). – P. 474-484.
134. Timmermann, A. Forecast Combinations / A. Timmermann // *Handbook of Economic Forecasting*. – 2006. – Vol. 1. – P. 135-196.
135. Trenkler, G. Linear constraints and the efficiency of combined forecasts / G. Trenkler, E. P. Liski // *Journal of Forecasting*. – 1986. – Vol. 5. – P. 197-202.
136. Trigg D. W. Monitoring a forecasting system / D. W. Trigg // *Operational Research Society*. – 1964. – Vol. 15. № 3. – P. 271-274.

137. Wallis, K. F. Combining Forecasts – Forty Years Later / K. F. Wallis // *Applied Financial Economics*. – 2011. – Vol. 21 (No.1-2). – P. 33-41.
138. Wilson I. Strategic Planning for the Millennium: Resolving the Dilemma / I. Wilson // *Long Range Planning*. – 1998. – Vol. 31. № 4. – P.507-513.
139. Winkler, R. L. Sensitivity of weights in combining forecasts / R. L. Winkler, R. T. Clemen // *Operations Research*. – 1992. – Vol. 40. – P. 609-614.
140. Wold, H. A. Study in the Analysis of Stationary Time Series / H. A. Wold // *Journal of the Royal Statistical Society*. – 1939. – Vol. 102. No. 2. – P. 295-298.
141. Zou, H. Combining time series models for forecasting / H. Zou, Y. Yang // *International Journal of Forecasting*. – 2004. – Vol. 20. – P. 69–84.
142. Yang, Y. Adaptive regression by mixing / Y. Yang // *Journal of American Statistical Association*. – 2001. – Vol. 96. – P. 574-588.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(информативное)

Таблица А.1 – Прогнозирование с использованием метода гармонических весов

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. кВт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	113,500	230,900	48,459	2,920	26,760	302,720	1577,400	13,800	17,920	16,580	19,900	101,620
1956	127,470	251,510	61,155	5,657	28,190	314,680	1684,090	16,090	18,685	17,390	19,900	104,150
1957	142,393	269,307	74,544	9,319	29,667	320,700	1790,260	18,980	19,490	18,060	19,780	112,363
1958	159,077	282,825	88,404	13,637	31,528	325,145	1893,073	22,180	20,523	18,925	19,715	120,117
1959	177,284	291,464	102,883	18,344	33,836	328,748	1995,468	25,572	21,884	19,998	19,888	127,340
1960	197,948	293,094	118,547	24,239	36,652	333,908	2102,496	29,218	23,702	21,406	20,462	135,742
1961	221,512	292,490	134,804	31,039	39,620	340,222	2224,986	32,420	25,740	23,044	21,696	141,390
1962	247,788	295,406	151,419	39,027	42,382	341,386	2366,894	35,176	27,742	24,956	23,208	146,338
1963	275,750	303,034	167,857	47,822	44,816	339,526	2523,664	37,672	29,546	26,880	24,638	151,008
1964	303,918	313,744	183,884	56,250	47,246	337,820	2717,128	40,574	31,340	28,856	25,948	155,974
1965	330,906	323,494	200,213	63,688	49,748	342,596	2973,384	44,212	33,212	30,928	27,290	163,934
1966	356,662	329,014	216,935	69,615	52,158	359,742	3283,556	47,968	35,040	32,964	28,802	174,284
1967	382,652	331,738	233,469	74,383	54,742	382,746	3633,366	51,110	36,790	35,288	30,592	180,014
1968	410,792	333,044	249,584	78,202	57,506	407,792	3981,900	53,402	38,500	37,606	32,546	189,322
1969	440,374	337,082	265,210	81,340	60,410	430,294	4322,678	55,302	40,458	39,798	34,286	219,804
1970	471,044	343,920	281,846	83,574	63,568	451,214	4682,158	57,494	42,938	41,842	35,952	295,916
1971	503,026	351,448	300,361	85,250	66,520	476,712	5005,170	59,900	45,364	43,796	37,348	441,178
1972	535,434	358,634	321,589	86,782	69,430	505,152	5316,246	62,720	47,592	45,856	39,124	626,608
1973	569,640	365,276	346,347	90,852	72,630	535,390	5648,778	65,828	49,704	48,224	41,534	812,594
1974	605,758	372,604	374,557	100,375	76,012	563,880	5996,736	69,168	51,668	50,392	44,242	966,848
1975	642,740	380,558	406,103	115,081	79,552	587,398	6414,248	72,498	54,058	51,998	47,064	1059,860

Продолжение таблицы А.1

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. кВт. ч.	Млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1976	679,258	387,796	439,029	134,971	82,254	606,952	6766,896	74,700	56,254	53,094	49,296	1108,792
1977	711,092	393,384	471,423	158,874	83,728	624,878	6963,302	75,856	57,838	53,900	50,926	1134,718
1978	742,170	395,242	500,067	186,996	84,352	642,322	6992,478	76,070	59,104	54,646	51,998	1149,286
1979	771,316	394,074	522,209	218,945	84,230	655,490	6859,388	75,564	59,482	55,084	52,322	1158,444
1980	802,308	391,766	538,889	252,539	84,624	660,628	6820,932	75,628	59,930	55,450	53,024	1161,992
1981	834,464	389,078	549,937	287,562	85,336	658,548	6917,336	75,950	60,470	55,848	53,610	1159,004
1982	866,084	388,628	555,197	325,425	85,878	653,836	7124,004	76,302	60,862	56,090	53,734	1154,912
1983	899,290	388,216	555,593	366,925	86,784	655,164	7440,502	77,372	61,498	56,528	53,508	1155,334
1984	934,046	389,438	552,142	412,319	87,792	667,760	7723,276	78,420	62,068	57,006	52,756	1158,528
1985	968,772	396,778	548,553	459,248	89,432	690,628	7983,756	79,604	62,950	57,872	52,056	1165,162
1986	1005,572	406,894	552,485	504,336	91,596	714,318	8205,122	81,190	64,268	59,376	52,178	1163,346
1987	1040,200	416,658	557,137	547,483	93,512	727,778	8325,164	82,776	65,708	61,064	52,404	1155,676
1988	1066,370	419,598	555,107	586,539	94,202	723,338	8302,630	84,466	66,534	61,770	52,804	1136,774
1989	1080,894	409,732	537,762	617,150	92,248	700,838	8023,076	84,720	65,436	60,686	52,122	1100,966
1990	1079,936	390,412	501,114	637,104	87,026	675,544	7433,042	81,918	61,836	57,176	49,258	1076,758
1991	1056,076	361,540	450,169	642,772	77,700	626,564	6482,742	74,412	55,232	51,096	44,112	1029,674
1992	1008,658	332,580	394,842	636,373	67,400	543,108	5490,372	62,804	47,940	45,638	37,030	971,132
1993	951,288	304,252	347,591	623,361	58,362	413,644	4527,774	50,638	42,210	41,078	31,238	909,732
1994	895,528	280,228	314,822	609,187	52,242	260,634	3835,568	40,182	38,630	38,476	27,840	854,412
1995	860,014	264,130	298,462	597,797	49,800	165,670	3544,072	33,580	37,842	37,742	26,844	848,422
1996	840,282	251,966	292,385	591,367	48,002	126,362	3223,698	28,824	37,402	36,816	26,672	870,170
1997	832,180	244,074	291,702	585,341	47,358	131,330	3229,168	26,674	37,338	36,810	26,576	903,272
1998	835,954	242,068	293,212	585,976	47,966	151,836	3504,970	26,662	38,164	37,508	26,316	913,768
1999	849,162	247,226	298,891	585,306	51,414	168,564	4095,740	28,496	40,918	40,066	26,416	942,682
2000	868,786	254,970	313,577	584,363	55,874	180,118	4782,160	31,666	44,466	43,026	27,018	964,884

Продолжение таблицы А.1

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. кВт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2001	885,816	261,944	338,308	588,227	58,958	183,590	5270,532	34,862	47,084	45,324	27,740	991,214
2002	898,346	265,696	370,871	598,172	61,032	185,716	5599,986	37,954	49,190	47,108	28,636	1007,534
2003	914,042	273,996	405,729	615,187	62,766	191,376	5785,560	41,236	51,000	48,444	29,478	1025,584
2004	933,386	283,882	435,346	630,919	65,132	205,252	5917,788	45,528	53,362	49,768	30,626	1061,620
2005	961,710	297,766	453,999	646,391	67,978	229,346	6001,358	50,402	55,886	50,694	32,060	1142,220
2006	990,628	308,902	464,645	652,761	69,936	257,644	5933,558	54,282	57,614	51,056	33,642	1208,582
2007	1010,160	314,030	470,661	648,661	69,746	268,220	5868,362	55,260	57,692	50,074	34,860	1209,948
2008	1020,812	316,074	474,237	641,363	67,382	248,462	5945,262	52,482	56,008	48,124	35,532	1158,558
2009	1021,354	314,312	479,679	628,773	64,870	212,264	6300,414	49,422	54,260	46,636	35,914	1067,058
2010	1033,498	322,058	485,662	641,430	65,574	189,726	7007,154	50,728	54,562	46,996	36,336	1272,092
2011	1045,810	332,978	491,234	655,345	67,338	194,020	7435,060	55,534	56,034	48,098	37,026	1609,780
2012	1054,176	344,510	495,337	660,001	69,244	199,128	7570,498	61,702	57,956	49,668	37,830	1855,974
2013	1057,000	351,782	497,832	657,066	70,574	190,188	7507,644	65,782	59,100	50,688	38,524	1875,080
2014	1058,800	358,462	499,677	645,771	70,330	164,574	7563,390	65,794	59,858	51,452	38,856	1645,684
2015	1067,005	371,403	505,392	643,152	68,645	146,103	7808,518	62,902	60,227	51,998	39,070	1424,675
2016	1079,347	387,323	513,511	647,099	65,910	138,567	8135,894	58,550	60,543	52,237	39,163	1268,147
2017	1093,430	408,890	523,336	658,821	60,780	143,405	8500,135	54,510	60,985	52,370	38,920	1248,085
2018	1108,120	433,780	542,520	659,805	57,280	155,200	8721,680	51,400	61,220	52,080	39,000	1356,600
2019	1118,807	439,799	548,784	666,485	56,670	148,426	8858,165	51,072	61,663	52,312	39,121	1368,139
2020	1129,494	445,817	555,048	673,165	56,060	141,651	8994,649	50,745	62,106	52,543	39,242	1379,678
2021	1140,181	451,836	561,313	679,845	55,450	134,877	9131,134	50,417	62,548	52,775	39,363	1391,217
2022	1150,868	457,854	567,577	686,525	54,840	128,103	9267,619	50,089	62,991	53,006	39,484	1402,756
2023	1161,555	463,873	573,841	693,206	54,230	121,328	9404,103	49,761	63,434	53,238	39,604	1414,295

Источник: составлено автором

Таблица А.2 – Прогнозирование с использованием метода экспоненциального сглаживания

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. кВт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	153,659	259,710	67,672	4,074	36,319	367,282	2194,837	16,948	23,405	21,976	21,290	159,902
1957	191,210	242,383	72,560	22,891	28,485	300,676	1742,297	14,608	19,267	17,944	21,323	129,957
1958	196,973	247,784	82,872	31,422	25,694	280,432	1604,069	16,562	17,798	16,091	20,855	123,608
1959	199,510	264,876	95,790	36,006	25,832	281,675	1645,626	20,760	17,812	16,069	20,324	125,408
1960	206,980	279,741	111,222	38,652	28,212	276,252	1756,449	25,759	19,028	17,096	19,896	127,385
1961	216,540	288,377	128,674	41,604	31,813	289,037	1891,542	31,126	21,199	18,997	19,611	137,143
1962	234,279	289,228	146,144	45,159	36,145	309,615	2054,824	35,503	23,842	20,931	21,251	143,142
1963	260,396	292,382	165,009	50,215	40,354	319,981	2262,613	39,359	26,700	23,532	23,688	149,725
1964	289,546	299,807	183,904	57,774	43,686	324,090	2468,518	41,473	29,115	26,062	25,488	155,871
1965	321,669	311,562	200,131	65,637	46,990	328,251	2673,162	43,410	31,365	28,546	27,029	160,061
1966	353,294	324,769	215,802	73,245	50,471	328,228	2930,542	47,139	33,613	31,279	28,509	165,094
1967	379,969	332,964	233,692	78,817	53,244	345,092	3269,006	52,128	35,955	33,351	30,222	178,699
1968	403,514	339,521	251,248	84,034	56,138	370,011	3690,834	55,858	38,179	36,177	31,983	190,245
1969	435,065	338,978	268,123	87,702	59,197	403,184	4080,209	57,613	39,914	38,758	34,516	205,450
1970	466,460	341,128	281,939	90,056	61,980	431,319	4423,975	58,175	41,450	41,243	36,069	220,068
1971	497,450	347,936	298,418	91,648	65,597	452,388	4876,529	60,362	44,216	43,654	38,708	254,369
1972	531,627	356,280	317,276	94,204	68,949	482,720	5254,783	62,482	46,933	45,875	39,410	390,073
1973	567,480	363,257	338,333	94,539	71,800	514,032	5574,587	65,023	49,392	47,387	40,489	586,389
1974	600,416	369,385	364,677	94,188	74,912	546,033	5937,889	67,744	51,697	49,872	43,075	796,486
1975	639,063	376,910	395,893	101,464	78,149	580,431	6231,348	71,325	53,311	52,657	46,504	1017,964
1976	675,607	385,720	431,016	114,654	82,171	610,659	6657,657	75,981	55,904	54,511	49,738	1158,458
1977	722,563	393,256	467,532	134,741	85,506	631,432	7077,933	77,919	58,535	55,411	51,983	1230,894
1978	749,070	400,343	505,220	157,908	87,466	647,683	7382,229	79,307	59,900	56,177	53,808	1270,677
1979	782,535	404,644	538,888	186,992	88,796	667,308	7571,291	79,195	62,084	57,175	55,694	1286,950

Продолжение таблицы А.2

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. кВт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	802,596	404,473	557,886	222,697	87,643	683,829	7296,609	75,794	62,035	57,322	53,336	1280,999
1981	836,558	401,000	573,605	260,844	87,493	690,746	7156,616	75,599	62,198	57,262	54,090	1272,276
1982	868,817	393,723	576,354	299,358	88,216	689,682	7172,394	76,388	62,726	57,607	54,619	1253,891
1983	895,074	395,453	574,391	340,199	87,902	680,489	7229,963	74,707	62,613	57,392	54,224	1225,199
1984	928,543	393,994	571,276	382,462	88,562	671,115	7528,166	76,612	63,140	57,920	53,880	1208,391
1985	970,970	388,412	562,157	431,825	88,960	674,337	7807,214	78,497	63,358	57,986	52,867	1199,911
1986	996,727	393,130	534,387	484,502	89,774	690,831	8075,923	79,257	63,638	58,028	50,219	1194,119
1987	1033,528	403,924	539,276	532,721	92,150	716,758	8373,792	81,340	64,769	59,543	50,947	1183,209
1988	1080,879	413,696	548,593	578,417	94,112	737,275	8484,923	83,259	66,075	61,212	51,118	1180,459
1989	1103,806	425,351	550,987	625,233	95,427	748,674	8584,278	85,118	67,192	62,263	51,730	1170,008
1990	1110,425	420,148	535,890	659,442	94,797	723,065	8443,373	85,881	67,267	62,646	51,766	1102,518
1991	1107,034	407,030	495,331	686,317	92,329	690,865	7953,452	84,218	65,681	61,289	49,252	1095,542
1992	1082,694	371,840	429,206	695,072	82,595	640,836	6938,258	77,778	59,023	53,475	45,481	1044,426
1993	1008,073	343,474	349,345	691,632	70,925	593,897	5944,632	59,652	50,095	47,628	33,071	975,561
1994	928,028	309,248	286,823	669,410	59,502	494,424	4624,284	42,158	43,027	41,393	24,224	938,836
1995	824,007	271,064	244,006	646,390	47,959	258,022	3287,143	25,276	35,317	35,633	19,303	819,088
1996	782,663	249,864	233,647	623,983	44,922	121,775	3284,485	21,532	34,154	35,237	20,621	788,256
1997	771,760	236,312	240,750	614,858	42,669	55,167	2636,529	15,164	33,998	33,878	21,575	801,492
1998	771,573	225,155	260,802	588,927	41,872	41,601	2456,600	15,090	33,740	33,833	23,678	892,197
1999	779,173	213,601	275,314	589,008	39,054	44,172	2485,832	17,404	32,343	32,409	24,222	846,833
2000	812,745	221,944	288,183	589,523	43,518	78,195	3255,809	23,136	35,840	36,164	25,369	902,190
2001	864,776	234,369	314,532	584,839	51,388	115,695	4195,676	30,635	41,956	40,759	27,277	942,206
2002	900,432	250,239	349,594	580,949	55,732	132,384	4906,619	37,101	45,091	43,484	28,510	998,356
2003	912,322	250,299	390,572	588,424	58,559	144,092	5467,947	41,806	47,996	45,985	30,350	998,406
2004	938,138	264,937	441,403	609,246	61,954	166,463	5853,132	46,229	50,699	48,565	31,157	1017,060

Продолжение таблицы А.2

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. кВт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	958,752	276,028	487,691	627,980	65,423	184,855	6119,854	51,505	53,967	50,794	32,370	1090,478
2006	981,638	292,787	503,714	642,275	67,318	198,723	6268,993	55,111	56,001	50,929	33,674	1097,566
2007	1025,988	308,604	507,402	658,778	71,158	235,539	6309,855	61,202	59,093	52,853	36,050	1170,365
2008	1052,933	318,200	509,130	663,480	73,958	282,953	6271,310	67,045	61,302	53,102	37,533	1280,823
2009	1078,421	331,898	498,818	671,867	72,441	283,898	6159,099	60,977	60,161	50,824	38,003	1449,025
2010	1027,974	317,486	494,614	620,522	65,073	234,585	5911,295	47,379	55,403	46,775	37,910	946,345
2011	1048,923	324,427	495,984	639,276	66,279	182,603	7023,538	48,536	55,521	47,334	37,488	1090,382
2012	1065,298	335,398	498,476	661,944	67,751	190,688	7672,276	54,919	56,449	47,656	37,754	1521,289
2013	1078,921	353,707	501,825	662,216	69,855	199,539	7957,517	62,661	58,589	49,505	38,955	1886,161
2014	1064,836	357,644	499,499	670,125	69,906	201,923	7753,345	69,793	58,920	50,170	39,709	2030,185
2015	1060,362	363,378	500,813	654,413	70,884	167,947	7796,796	73,229	60,831	51,324	39,180	1960,931
2016	1065,586	376,051	502,365	642,087	70,609	133,908	8027,875	66,766	61,010	52,513	39,626	1550,282
2017	1087,478	390,033	514,915	639,476	70,297	124,057	8335,802	56,277	61,289	52,962	40,397	1272,284
2018	1098,052	411,977	517,059	672,641	60,125	137,239	8713,270	51,964	61,703	53,021	38,487	1287,553
2019	1116,700	441,733	557,787	654,810	58,313	143,015	8861,113	49,911	62,264	52,623	38,766	1441,056
2020	1127,794	455,920	571,976	655,668	56,848	137,813	9084,107	46,115	62,883	52,958	38,527	1440,977
2021	1139,038	470,107	587,029	656,526	55,383	132,611	9307,102	41,797	63,501	53,294	38,200	1440,899
2022	1150,433	484,294	602,946	657,385	53,918	127,409	9530,096	36,958	64,120	53,630	37,786	1440,820
2023	1161,979	498,481	619,727	658,243	52,453	122,207	9753,090	31,598	64,738	53,966	37,285	1440,741

Источник: составлено автором

Таблица А.3 – Прогнозирование с использованием метода экспоненциального сглаживания с трекинг-сигналом

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. кВт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	160,760	278,380	89,082	14,191	31,960	324,820	1892,620	22,320	20,860	19,240	19,900	119,280
1957	179,040	286,320	103,679	19,188	34,200	331,400	1999,380	25,620	22,220	20,200	20,260	127,840
1958	196,973	245,383	82,872	12,857	25,694	280,432	1604,069	16,562	17,798	16,091	20,855	123,608
1959	199,510	280,796	95,790	12,031	25,832	281,675	1645,626	21,132	17,812	16,069	20,324	125,408
1960	206,980	297,402	111,222	13,169	28,212	276,253	1756,449	27,095	19,028	17,096	19,896	127,385
1961	216,540	299,876	128,674	11,201	31,813	289,037	1891,543	33,283	21,199	18,997	19,611	137,143
1962	234,279	292,059	146,144	20,391	36,145	309,615	2054,824	37,090	23,842	20,931	21,251	143,142
1963	260,396	294,561	165,009	30,703	40,354	319,981	2262,613	39,721	26,700	23,532	23,688	149,725
1964	289,546	304,916	183,904	42,766	43,686	324,090	2468,518	39,581	29,115	26,062	25,488	155,871
1965	321,669	320,105	200,131	54,299	46,990	328,251	2673,162	41,347	31,365	28,546	27,029	160,061
1966	353,294	334,218	215,802	64,798	50,471	328,228	2930,542	47,030	33,613	31,279	28,509	165,094
1967	379,969	337,687	233,692	72,593	53,244	345,092	3269,006	53,205	35,955	33,351	30,222	178,699
1968	403,514	341,235	251,248	79,490	56,138	370,011	3690,834	54,759	38,179	36,177	31,983	190,245
1969	435,065	334,440	268,123	84,409	59,197	403,184	4080,209	54,512	39,914	38,758	34,516	205,450
1970	466,460	337,666	281,939	87,685	61,980	431,319	4423,975	54,856	41,450	41,243	36,069	220,068
1971	497,450	348,752	298,418	89,950	65,597	452,388	4876,529	60,067	44,216	43,654	38,708	254,369
1972	531,627	359,249	317,276	92,995	68,949	482,720	5254,783	62,417	46,933	45,875	39,410	390,073
1973	567,480	365,347	338,333	93,680	71,800	514,032	5574,587	65,421	49,392	47,387	40,489	586,389
1974	600,416	370,327	364,677	93,581	74,912	546,033	5937,890	68,207	51,697	49,872	43,075	837,154
1975	639,063	378,489	395,893	101,036	78,149	580,430	6231,348	72,527	53,311	52,657	46,504	1112,538
1976	675,607	388,232	431,016	114,353	82,171	610,659	6657,657	77,503	55,904	54,511	49,738	1260,810
1977	722,563	394,730	475,462	134,530	85,506	631,432	7077,933	74,682	58,535	55,411	51,983	1274,906
1978	749,070	401,030	510,933	157,761	87,466	647,683	7382,230	77,131	59,900	56,177	53,808	1269,641
1979	782,535	402,964	541,292	192,826	88,796	667,308	7571,291	76,238	62,084	57,175	55,694	1256,251

Продолжение таблицы А.3

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. кВт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	802,596	399,068	555,733	237,607	87,643	683,829	7296,609	70,048	62,035	57,322	53,336	1230,912
1981	836,558	392,890	568,999	284,208	87,493	690,746	7156,615	77,478	62,198	57,262	54,090	1217,851
1982	868,817	383,144	569,216	327,639	88,216	689,682	7172,395	78,707	62,726	57,607	54,619	1198,358
1983	895,074	392,379	566,466	371,250	87,902	680,489	7229,964	72,604	62,613	57,392	54,224	1169,724
1984	928,543	390,830	564,059	413,534	88,562	671,115	7528,165	80,886	63,140	57,920	53,880	1163,468
1985	970,970	382,481	555,533	467,312	88,960	674,337	7807,214	80,745	63,358	57,986	52,867	1166,863
1986	996,726	394,946	526,428	520,667	89,774	690,831	8075,923	79,038	63,638	58,028	50,219	1169,756
1987	1033,528	412,013	537,234	557,986	92,150	716,758	8373,791	83,348	64,769	59,543	50,947	1162,001
1988	1080,879	421,510	550,274	589,926	94,112	737,275	8484,923	84,158	66,075	61,212	51,118	1166,036
1989	1103,805	433,441	553,218	634,639	95,427	748,674	8584,278	85,563	67,192	62,263	51,730	1155,951
1990	1110,425	414,611	535,695	649,959	94,797	723,065	8443,372	84,677	67,267	62,646	51,766	1064,213
1991	1107,034	392,822	490,690	668,534	92,329	690,865	7953,451	80,442	65,681	61,289	49,252	1079,107
1992	1082,694	340,800	407,904	656,696	82,595	640,836	6938,257	69,687	59,023	53,475	45,481	1017,854
1993	1008,073	317,355	311,582	644,248	70,925	593,897	5944,632	38,962	50,095	47,628	30,932	939,744
1994	910,726	283,438	268,356	606,270	59,502	494,424	4624,284	36,364	43,027	41,393	20,559	917,486
1995	779,603	245,643	247,242	594,369	47,959	258,022	3287,142	24,110	35,317	35,633	17,970	767,808
1996	764,776	240,467	259,695	583,301	44,922	121,775	3284,485	47,297	34,154	35,237	22,487	770,769
1997	778,061	237,820	277,394	599,653	42,669	55,167	2636,528	19,009	33,998	33,878	24,264	818,101
1998	790,411	230,835	299,447	553,624	41,872	41,601	2456,600	29,581	33,740	33,833	26,613	954,650
1999	802,862	219,130	303,946	594,041	39,054	44,172	2485,832	27,298	32,343	32,409	26,277	858,927
2000	842,669	241,529	306,774	594,785	43,518	78,195	3255,809	33,621	35,840	36,164	26,928	939,563
2001	897,332	258,013	331,603	580,792	51,388	115,695	4195,676	37,917	41,956	40,759	28,571	978,498
2002	922,781	274,370	365,219	578,044	55,732	132,384	4906,619	38,360	45,091	43,484	29,205	1037,979
2003	919,318	259,569	403,413	601,472	58,559	144,092	5467,947	39,626	47,996	45,985	30,812	1010,201
2004	941,990	280,217	453,128	638,041	61,954	166,463	5853,132	44,696	50,698	48,565	31,050	1025,764

Продолжение таблицы А.3

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. кВт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	958,278	288,356	492,209	648,241	65,423	184,855	6119,855	51,241	53,967	50,794	32,116	1121,923
2006	979,449	307,104	489,210	651,950	67,318	198,723	6268,993	50,694	56,001	50,929	33,352	1104,640
2007	1029,052	320,964	483,145	669,518	71,158	235,539	6309,855	62,685	59,093	52,853	35,998	1197,264
2008	1050,892	323,874	484,967	656,684	73,958	282,953	6271,310	65,243	61,302	53,102	37,227	1329,502
2009	1073,545	338,300	473,405	671,264	72,441	283,898	6159,100	34,134	60,161	50,824	37,282	1527,079
2010	999,292	302,271	476,591	540,116	65,073	234,585	5911,295	28,374	55,403	46,775	36,946	725,847
2011	1038,500	321,765	486,290	667,658	66,279	182,603	7023,538	69,327	55,521	47,334	36,473	1071,210
2012	1061,317	339,443	493,800	694,170	67,751	190,688	7672,275	64,016	56,449	47,656	37,084	1708,502
2013	1076,867	364,426	500,195	655,738	69,855	199,539	7957,517	67,182	58,589	49,505	38,790	2102,105
2014	1055,407	357,851	496,854	673,543	69,906	201,923	7753,344	70,989	58,920	50,170	39,599	2136,032
2015	1053,174	362,190	500,550	626,206	70,884	167,947	7796,796	67,891	60,831	51,324	38,714	1919,386
2016	1063,630	379,917	503,397	623,364	70,609	133,908	8027,875	48,525	61,010	52,513	39,421	1304,524
2017	1092,935	395,701	521,499	638,503	70,297	124,057	8335,802	45,829	61,289	52,962	40,421	1034,537
2018	1101,805	423,334	519,382	720,447	60,125	137,239	8713,269	59,514	61,703	53,021	37,784	1208,398
2019	1121,755	458,925	576,092	624,854	58,313	143,015	8861,114	53,279	62,264	52,623	38,626	1490,944
2020	1136,711	480,743	605,154	606,884	56,848	137,813	9084,108	53,357	62,883	52,958	38,285	1512,814
2021	1152,558	502,562	638,134	588,914	55,383	132,611	9307,101	53,936	63,501	53,294	37,839	1534,684
2022	1169,298	524,380	675,033	570,944	53,918	127,409	9530,095	55,015	64,120	53,630	37,288	1556,553
2023	1186,930	546,199	715,851	552,974	52,453	122,207	9753,089	56,596	64,738	53,965	36,631	1578,423

Источник: составлено автором

Таблица А.4 – Прогнозирование с использованием метода Бокса-Дженкинса

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. кВт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	266,622	-	-	30,272	315,901	1780,477	-	19,931	19,187	-	-
1958	152,873	281,209	-	10,198	30,814	328,634	1889,300	21,285	20,314	18,549	-	190,039
1959	173,093	298,759	98,309	13,087	32,096	334,358	2020,615	24,940	20,996	19,480	-	200,140
1960	198,354	303,071	116,807	18,727	34,948	306,606	2110,921	28,540	22,659	20,649	-	204,237
1961	216,365	298,640	138,054	27,977	38,048	339,794	2194,769	32,668	24,956	22,548	-	219,881
1962	241,450	288,480	153,217	38,574	41,548	349,474	2323,335	35,233	27,171	23,700	-	222,930
1963	273,924	293,288	168,076	50,022	44,316	338,357	2516,992	38,470	29,439	26,284	25,316	231,759
1964	302,805	306,546	183,736	62,162	45,842	335,652	2667,151	39,353	30,689	28,075	25,968	238,655
1965	332,941	322,461	198,796	71,202	48,516	338,583	2827,874	41,943	32,401	29,999	27,206	243,513
1966	361,599	335,086	216,655	77,648	51,655	330,920	3097,114	47,161	34,380	32,549	28,546	251,244
1967	382,789	335,658	236,634	79,966	53,338	368,082	3464,430	52,218	36,577	33,612	30,300	269,629
1968	403,226	338,204	251,463	82,193	56,140	387,921	3903,624	54,275	38,426	36,976	31,893	277,400
1969	439,747	331,028	266,289	82,957	59,141	423,094	4197,346	55,058	39,483	38,993	34,731	293,771
1970	471,732	336,304	277,904	83,916	61,461	434,857	4455,952	55,912	40,859	41,182	35,273	305,560
1971	499,325	349,879	299,537	85,919	65,709	447,127	4979,423	60,193	45,017	43,378	38,792	345,947
1972	534,306	360,476	321,514	90,857	68,520	488,323	5241,982	61,958	47,231	45,320	37,928	507,839
1973	570,391	364,904	342,981	93,036	70,747	511,301	5489,817	64,886	49,168	46,144	40,011	663,592
1974	599,964	368,769	370,834	95,125	74,070	541,673	5889,385	67,559	51,226	49,672	43,526	802,854
1975	640,296	377,231	403,009	107,134	77,330	575,003	6106,830	71,542	52,071	52,585	46,809	958,526
1976	676,072	387,455	438,720	123,375	81,943	596,362	6656,804	76,326	55,944	53,393	49,308	998,762
1977	726,160	393,471	472,404	146,759	84,381	607,275	7040,827	75,692	58,350	53,519	50,777	1026,986
1978	741,766	399,339	506,480	171,753	85,067	623,418	7220,573	77,783	58,199	54,485	52,675	1061,136
1979	774,903	400,845	532,873	203,551	86,144	649,728	7321,095	77,266	61,646	55,981	54,884	1082,852

Продолжение таблицы А.4

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. кВт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	794,662	396,582	538,369	241,316	83,184	661,378	6677,966	72,892	59,085	55,509	50,298	1089,695
1981	834,999	390,913	557,592	278,848	84,871	660,958	6810,734	77,070	60,297	55,621	55,022	1107,522
1982	871,998	382,128	556,290	314,877	86,861	658,513	7047,190	77,825	61,618	56,674	54,842	1108,559
1983	891,465	394,723	560,478	352,697	85,808	647,643	7167,770	74,153	60,979	56,112	54,121	1101,830
1984	929,418	393,196	563,793	390,503	87,757	647,188	7690,316	79,523	62,600	57,608	54,352	1116,946
1985	978,862	382,946	554,405	437,447	88,016	668,589	7900,256	79,806	62,527	57,283	53,179	1128,613
1986	993,416	397,371	514,191	487,028	89,354	694,945	8126,174	79,343	63,071	57,463	50,104	1136,777
1987	1032,468	415,767	560,679	530,926	93,138	724,317	8426,242	82,461	65,241	60,464	53,746	1135,317
1988	1090,545	422,961	575,571	574,350	94,355	731,309	8346,292	83,453	66,510	61,991	52,395	1149,235
1989	1096,818	432,863	565,861	620,169	94,912	734,089	8463,642	84,990	67,249	62,226	53,153	1143,161
1990	1090,518	409,966	520,441	647,408	92,575	670,708	8135,191	84,828	66,172	61,965	52,447	1066,567
1991	1090,305	387,803	455,815	668,799	88,982	658,018	7420,571	82,028	63,173	59,162	48,541	1123,880
1992	1063,343	336,098	390,117	666,636	73,667	595,058	6100,078	73,954	51,920	46,006	45,250	1052,546
1993	969,923	319,719	331,516	654,275	62,822	573,020	5388,444	51,568	43,049	44,123	29,112	1008,765
1994	900,175	290,548	306,942	620,916	54,123	418,920	3981,344	42,271	40,407	38,678	27,134	1015,027
1995	808,966	254,004	280,645	595,958	44,417	76,199	2878,612	28,960	32,951	34,388	24,788	873,437
1996	813,108	253,368	286,891	575,638	50,545	163,554	4255,090	35,692	39,943	39,621	28,424	935,993
1997	834,154	252,144	290,527	579,193	48,141	123,008	2849,417	22,101	39,221	36,547	25,756	958,946
1998	821,190	242,043	304,382	559,711	47,826	151,765	3116,343	25,738	37,706	37,360	27,075	1064,750
1999	817,471	226,647	294,366	586,122	42,228	135,618	3232,493	25,265	34,425	34,063	24,993	917,823
2000	853,193	251,000	292,864	600,509	52,895	187,864	4525,084	29,773	43,122	42,460	26,103	1051,667
2001	904,033	266,322	327,473	604,431	61,707	193,231	5315,864	34,376	50,012	46,348	27,591	1045,625
2002	913,421	278,685	368,314	604,846	60,406	171,443	5546,657	36,844	47,672	45,992	27,549	1098,554
2003	897,314	257,311	405,828	612,996	60,782	177,432	5815,108	38,838	49,959	47,705	29,543	1055,257
2004	929,237	280,059	448,570	630,319	64,145	204,367	5951,506	42,686	52,034	49,923	29,256	1094,773

Продолжение таблицы А.4

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. кВт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	952,470	289,166	475,197	639,545	67,069	204,451	6080,608	48,090	55,573	51,438	30,959	1182,334
2006	971,549	307,772	460,539	646,787	67,035	210,730	6126,065	49,886	55,746	49,421	32,178	1132,645
2007	1028,557	320,112	466,270	661,994	72,561	270,666	6099,014	58,162	60,052	53,340	35,107	1245,402
2008	1045,248	320,384	483,922	662,166	73,887	309,150	6038,557	62,705	60,857	51,833	35,578	1336,616
2009	1061,990	335,452	475,966	673,313	68,359	246,040	5919,144	48,903	56,160	47,514	35,759	1487,102
2010	976,330	295,128	484,666	599,192	56,750	25,350	5616,701	36,908	48,787	42,723	35,951	667,193
2011	1038,101	320,750	491,689	644,033	67,796	199,048	8013,909	54,070	56,265	48,655	35,939	1372,321
2012	1082,574	343,085	497,757	663,044	69,064	213,212	7961,388	59,278	57,506	48,432	37,123	1742,718
2013	1076,356	367,540	504,992	657,068	71,355	209,988	7827,202	64,566	60,523	51,524	38,865	1885,914
2014	1048,958	354,775	497,164	674,731	69,144	204,036	7208,151	69,064	58,255	50,591	39,039	1830,478
2015	1050,872	357,801	501,977	655,088	71,126	130,441	7608,225	69,034	62,180	52,118	37,932	1680,965
2016	1072,372	378,813	504,687	646,516	69,639	121,691	8043,339	57,329	60,018	53,139	39,593	1225,496
2017	1102,484	395,557	530,554	644,830	69,536	140,161	8400,582	49,751	60,791	52,743	40,348	1232,048
2018	1104,272	423,198	519,292	687,286	50,812	167,963	8806,347	53,746	61,500	52,507	36,800	1450,607
2019	1120,380	458,169	593,285	647,454	59,099	150,964	8708,634	52,274	62,266	51,834	39,578	1503,527
2020	1135,092	475,286	637,721	651,239	58,895	147,894	8834,064	50,551	62,937	52,063	39,726	1546,253
2021	1148,137	488,441	688,463	653,156	58,837	145,197	8955,800	48,612	63,610	52,364	39,692	1582,592
2022	1162,078	498,769	738,748	655,265	58,889	142,546	9074,914	46,508	64,285	52,717	39,554	1614,454
2023	1175,600	507,080	785,861	658,821	59,022	139,902	9192,167	44,272	64,961	53,108	39,352	1643,158

Источник: составлено автором

Таблица А.5 – Прогнозирование с использованием 1-й формулы Бейтса и Грейнджера

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. кВт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1958	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1959	177,217	293,612	-	18,339	32,657	331,935	2004,208	25,525	21,020	19,692	-	125,780
1960	197,974	296,216	118,540	24,238	36,608	315,524	2104,042	29,179	23,601	21,329	-	128,431
1961	221,376	294,453	134,808	31,038	39,601	339,326	2216,695	32,432	25,725	23,009	-	141,068
1962	247,178	293,951	151,409	39,026	42,366	341,652	2355,769	35,181	27,734	24,860	-	146,121
1963	275,712	297,380	167,836	47,833	44,801	339,356	2521,024	37,726	29,539	26,850	-	150,989
1964	303,889	310,193	183,880	56,522	47,193	336,627	2708,880	40,543	31,307	28,828	25,945	155,970
1965	330,934	323,411	200,100	66,589	49,643	342,236	2952,968	44,050	33,128	30,914	27,287	163,515
1966	357,911	329,252	216,716	70,061	52,092	349,265	3258,336	47,844	34,989	32,937	28,797	170,575
1967	382,688	331,969	234,869	74,652	54,677	382,695	3629,572	51,563	36,771	35,193	30,558	180,042
1968	403,713	335,222	250,722	78,552	57,413	407,760	3973,136	54,024	38,490	37,558	32,468	189,805
1969	440,189	336,437	266,742	81,511	60,391	429,361	4313,571	55,428	40,381	39,765	34,348	212,755
1970	470,904	342,504	281,268	83,697	63,533	449,907	4664,854	57,229	42,303	41,823	35,929	247,719
1971	502,778	350,855	300,086	85,337	66,459	474,354	4997,717	59,942	45,311	43,794	38,180	319,128
1972	535,373	358,602	321,250	88,099	69,385	504,844	5310,099	62,640	47,558	45,852	39,120	625,950
1973	569,618	365,149	344,569	91,080	72,548	535,188	5639,520	65,690	49,683	47,262	41,399	811,784
1974	605,128	371,409	374,358	98,147	75,792	563,785	5986,924	68,428	51,612	50,312	44,166	966,423
1975	642,528	380,193	406,030	112,019	79,000	587,246	6393,825	72,421	53,049	52,218	47,005	1059,255
1976	679,256	387,770	438,992	134,747	82,242	606,957	6766,362	76,041	56,224	53,458	49,320	1110,693
1977	718,160	393,443	471,456	158,523	83,876	624,910	6964,535	75,824	57,927	54,092	50,978	1139,498
1978	742,933	395,628	500,592	186,567	84,580	642,189	6996,633	76,276	59,145	54,701	52,171	1150,682
1979	772,757	397,095	530,985	218,638	85,877	657,711	7271,702	75,723	60,548	55,473	54,768	1159,446

Продолжение таблицы А.5

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	801,550	392,047	539,084	252,383	84,654	666,102	6842,323	73,863	60,024	55,472	52,800	1162,076
1981	834,871	389,173	550,379	287,453	85,421	662,625	6925,819	76,459	60,566	55,849	53,813	1159,060
1982	867,812	386,755	555,404	325,327	86,138	658,757	7122,248	77,104	61,005	56,135	53,962	1154,970
1983	897,197	391,244	555,918	366,725	86,766	654,382	7362,534	75,747	61,480	56,490	53,523	1155,155
1984	931,842	391,368	552,700	410,930	87,836	660,263	7706,827	78,366	62,143	57,113	52,778	1158,063
1985	971,065	389,260	551,496	458,780	89,316	683,206	7966,995	79,560	62,937	57,824	52,190	1163,914
1986	1000,619	403,038	536,835	507,042	90,909	701,952	8192,389	81,140	64,057	58,561	51,211	1163,460
1987	1036,617	415,883	554,983	548,234	93,454	727,515	8337,981	82,735	65,635	61,028	52,224	1157,025
1988	1074,224	419,563	556,319	586,592	94,201	723,699	8363,941	84,444	66,511	61,767	52,460	1146,833
1989	1083,574	410,763	537,860	617,687	92,409	702,056	8252,088	84,724	65,650	60,714	52,126	1125,875
1990	1081,980	390,453	508,879	639,969	87,198	677,773	7534,382	83,650	63,230	58,787	49,525	1076,004
1991	1059,327	364,192	453,020	651,643	84,482	632,655	6533,966	77,851	60,058	56,907	44,641	1055,088
1992	1027,029	333,890	395,357	636,445	67,473	550,557	5503,722	68,532	47,955	46,099	42,695	993,032
1993	951,489	306,378	344,437	624,636	58,413	464,494	4556,262	50,439	42,287	41,578	31,219	911,377
1994	895,616	281,477	311,719	609,525	52,265	336,346	3846,146	40,134	38,699	38,648	27,530	857,715
1995	858,607	259,218	284,195	597,847	49,525	167,146	3454,842	33,301	37,415	37,320	26,351	834,058
1996	836,481	249,482	292,301	590,942	48,125	129,173	3345,135	30,077	37,349	36,889	26,732	848,892
1997	830,870	242,956	291,683	591,121	46,928	122,951	2963,993	25,673	37,140	36,076	26,384	881,829
1998	835,002	240,784	293,352	569,347	46,144	147,145	2989,846	26,236	37,372	36,487	26,363	1041,701
1999	846,600	228,910	298,283	586,850	42,491	153,716	3420,347	28,206	36,656	36,962	26,372	899,190
2000	867,616	254,735	305,559	595,547	55,858	179,873	4760,723	31,658	44,456	42,887	26,887	985,969
2001	887,230	261,875	337,836	585,532	59,000	184,168	5259,409	34,939	47,362	45,278	27,946	964,452
2002	899,592	266,052	370,667	593,271	60,775	184,463	5589,678	37,950	48,793	46,976	28,882	1019,643
2003	912,467	262,107	405,680	613,249	62,129	180,164	5783,910	40,829	50,529	48,108	29,990	1018,938
2004	935,169	280,463	436,719	630,679	65,114	204,424	5918,879	45,029	53,299	49,760	30,401	1043,395

Продолжение таблицы А.5

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	960,067	293,560	482,355	644,270	67,762	224,665	6023,470	50,465	55,789	50,880	31,917	1159,527
2006	981,289	308,675	464,700	650,686	69,847	250,018	5963,311	50,316	57,432	50,794	33,377	1119,179
2007	1013,968	314,115	470,676	658,197	70,025	268,031	5971,103	58,203	57,912	52,020	35,348	1205,413
2008	1027,604	316,150	474,378	651,282	68,426	269,132	6010,556	63,921	56,919	51,338	36,530	1290,682
2009	1038,667	334,194	479,007	648,399	65,719	229,669	6206,665	49,370	54,568	46,666	36,808	1463,139
2010	1022,408	316,224	485,275	616,972	63,546	169,599	5873,874	46,105	53,312	45,867	36,205	1051,368
2011	1044,389	329,176	491,093	653,200	67,216	191,750	7403,509	55,896	56,010	48,136	36,270	1414,616
2012	1059,452	342,522	495,899	665,677	68,891	198,055	7608,670	60,935	57,609	48,970	37,374	1765,820
2013	1060,790	357,514	498,658	657,514	70,247	193,564	7595,698	65,740	59,375	50,465	38,765	1883,620
2014	1058,353	357,387	499,268	671,558	69,825	197,190	7541,964	66,117	59,248	51,182	39,208	1694,827
2015	1065,013	365,378	504,485	643,467	70,046	147,297	7776,219	63,447	60,738	51,926	38,749	1555,982
2016	1077,438	384,341	511,460	645,843	69,319	136,682	8100,081	58,388	60,655	52,383	39,354	1280,926
2017	1094,472	408,461	523,334	656,698	67,861	141,567	8477,123	53,062	61,062	52,426	39,628	1232,738
2018	1106,244	433,668	535,775	678,074	57,126	159,466	8732,226	52,275	61,347	52,363	38,592	1356,846
2019	1119,101	439,929	552,891	653,412	57,303	149,008	8837,425	51,424	61,828	52,110	39,084	1401,403
2020	1130,788	446,054	562,704	654,344	56,559	144,453	8987,708	50,750	62,320	52,349	39,125	1417,697
2021	1142,261	452,168	573,014	654,874	55,832	140,099	9137,466	50,039	62,812	52,622	39,127	1433,017
2022	1153,957	458,272	583,596	655,445	55,118	135,771	9286,851	49,304	63,304	52,920	39,099	1447,655
2023	1165,653	464,371	594,359	656,329	54,414	131,445	9435,971	48,553	63,797	53,237	39,043	1461,811

Источник: составлено автором

Таблица А.6 – Прогнозирование с использованием 2-й формулы Бейтса и Грейнджера

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1958	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1959	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1960	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1961	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1962	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1963	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1964	300,160	308,782	183,870	55,501	46,165	333,832	2644,092	40,380	30,692	28,043	25,834	166,332
1965	329,904	322,149	200,105	63,707	49,306	339,901	2907,867	43,753	32,912	30,544	27,250	168,208
1966	356,709	330,902	216,850	69,847	52,026	352,463	3229,871	47,849	34,913	32,828	28,772	175,388
1967	382,569	333,102	233,551	74,526	54,646	378,699	3603,832	51,239	36,754	35,142	30,571	181,374
1968	410,240	334,522	249,646	78,302	57,449	404,209	3968,237	53,516	38,492	37,553	32,522	190,367
1969	440,270	336,265	265,271	81,395	60,371	429,056	4310,117	55,354	40,427	39,757	34,311	215,553
1970	471,028	342,816	281,746	83,637	63,503	448,826	4665,755	57,347	42,859	41,816	35,938	263,890
1971	502,817	351,073	300,269	85,497	66,474	473,838	5000,802	59,961	45,334	43,785	37,770	340,839
1972	535,287	358,682	321,382	87,344	69,368	503,699	5311,573	62,643	47,562	45,844	39,132	562,827
1973	569,683	365,173	345,280	91,114	72,531	533,842	5640,519	65,659	49,678	48,159	41,348	780,925
1974	604,933	371,953	373,819	99,271	75,905	562,632	5990,986	68,836	51,658	50,362	44,092	955,374
1975	642,469	379,878	405,721	112,715	79,433	586,811	6397,589	72,310	53,983	52,031	47,002	1059,111
1976	679,009	387,634	438,923	133,112	82,243	606,664	6759,172	75,286	56,233	53,145	49,336	1110,856
1977	714,648	393,458	471,460	157,627	83,841	624,374	6970,540	75,855	57,878	53,989	51,013	1136,635
1978	743,113	396,158	500,347	186,017	84,555	641,979	7017,627	76,371	59,123	54,791	52,173	1151,048
1979	772,965	395,481	523,027	218,303	84,629	655,590	6924,536	75,829	59,682	55,493	52,708	1159,945

Продолжение таблицы А.6

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	801,684	392,641	539,184	252,210	84,682	660,926	6838,630	74,488	60,025	55,637	52,874	1163,045
1981	834,773	389,436	550,451	287,381	85,425	659,092	6924,919	76,359	60,567	55,932	53,786	1160,074
1982	867,035	387,607	555,448	325,273	86,132	654,717	7122,130	77,015	61,005	56,260	53,948	1155,968
1983	897,934	390,224	555,896	366,760	86,748	655,460	7410,068	75,767	61,543	56,538	53,660	1155,882
1984	932,868	390,762	552,650	412,077	87,837	663,895	7708,878	78,782	62,155	57,114	53,059	1158,730
1985	970,200	391,394	548,874	459,039	89,243	684,330	7967,299	79,697	62,956	57,813	52,274	1165,230
1986	1002,914	402,106	545,197	504,295	91,227	708,229	8191,939	80,746	64,179	59,145	51,709	1163,410
1987	1037,739	414,826	555,064	547,439	93,383	726,872	8334,629	82,742	65,632	60,979	52,336	1155,705
1988	1073,467	419,590	556,353	586,470	94,213	724,876	8316,973	84,322	66,506	61,773	52,534	1137,010
1989	1086,739	414,953	542,161	617,869	92,605	706,352	8106,657	84,795	65,633	60,832	52,146	1101,593
1990	1084,471	393,740	507,177	638,281	87,598	676,670	7553,637	82,286	62,445	57,636	49,942	1076,384
1991	1062,646	365,285	455,582	645,772	81,602	632,170	6592,705	75,267	58,193	54,363	45,248	1047,676
1992	1022,676	334,063	396,669	637,917	68,959	551,290	5542,759	65,961	49,142	46,633	40,356	990,481
1993	955,417	306,428	343,666	624,851	58,998	445,556	4571,724	49,763	42,591	41,887	31,145	929,208
1994	896,346	281,504	309,978	609,501	52,422	315,406	3849,055	40,042	38,806	38,700	27,258	885,841
1995	857,514	263,018	293,288	597,847	49,660	165,470	3508,260	32,975	37,619	37,439	26,127	838,167
1996	838,731	251,516	290,567	590,962	48,014	129,761	3288,263	29,606	37,423	36,848	26,415	853,129
1997	831,485	244,062	291,073	585,935	47,321	122,543	3156,135	26,058	37,337	36,624	26,335	884,068
1998	835,005	241,237	293,496	583,637	47,900	140,468	3383,302	26,477	38,065	37,287	26,279	940,637
1999	847,825	244,251	298,668	585,735	51,130	152,883	3880,634	28,118	40,541	39,366	26,304	914,784
2000	868,005	253,551	312,857	585,813	55,713	170,443	4640,227	31,466	44,274	42,618	26,941	969,332
2001	886,191	261,563	337,957	588,951	58,945	177,556	5185,039	34,827	47,147	45,176	27,744	992,769
2002	899,165	266,435	370,776	597,539	60,814	179,050	5538,461	37,880	48,831	46,916	28,564	1028,685
2003	913,395	272,182	405,717	612,087	62,392	185,381	5757,572	41,070	50,697	48,318	29,519	1025,317
2004	933,356	283,195	435,601	629,509	64,904	202,671	5913,804	45,351	53,038	49,737	30,502	1059,347

Продолжение таблицы А.6

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	961,258	296,754	455,992	641,964	67,783	225,388	6012,106	50,354	55,756	50,735	31,993	1143,641
2006	989,247	308,412	464,627	648,673	69,515	251,591	5953,771	54,169	57,254	50,970	33,496	1138,965
2007	1011,865	314,145	470,613	656,682	70,114	268,020	5888,386	55,935	58,123	50,303	35,071	1201,412
2008	1023,091	316,343	474,512	651,491	68,351	254,599	5954,688	55,501	56,985	48,421	36,050	1274,968
2009	1027,601	317,702	479,627	646,982	65,765	224,509	6263,446	49,380	54,960	46,888	36,392	1418,479
2010	1024,901	317,848	485,635	619,933	63,881	158,634	6391,889	47,533	53,357	46,108	36,595	948,369
2011	1044,528	329,717	491,232	652,752	67,252	193,120	7474,970	55,835	56,022	48,141	36,765	1379,802
2012	1059,143	342,675	495,365	665,335	68,925	199,050	7633,745	61,248	57,637	49,116	37,545	1756,869
2013	1063,025	355,057	497,925	657,618	70,598	193,724	7606,936	65,573	59,361	50,740	38,712	1910,605
2014	1057,734	357,858	499,641	657,423	69,988	175,391	7567,296	66,758	59,335	51,061	39,135	1804,419
2015	1063,082	367,742	505,023	644,044	69,645	149,659	7793,602	64,512	60,785	51,936	38,726	1617,361
2016	1075,800	383,961	512,578	642,856	67,696	136,376	8113,270	57,948	60,490	52,505	39,378	1310,573
2017	1094,039	403,278	523,628	651,094	64,668	138,939	8468,454	53,199	60,986	52,547	39,670	1221,613
2018	1106,170	428,354	538,054	674,379	56,737	152,014	8725,311	52,566	61,363	52,339	38,368	1341,005
2019	1119,110	444,181	552,629	656,037	57,443	147,386	8849,885	51,495	61,902	52,226	39,133	1415,356
2020	1130,754	454,278	562,192	657,871	56,725	141,187	8999,284	50,768	62,428	52,472	39,177	1431,125
2021	1142,281	463,908	572,260	659,442	56,033	135,012	9148,467	50,010	62,953	52,738	39,163	1445,938
2022	1154,021	473,204	582,517	661,040	55,360	128,840	9297,496	49,234	63,479	53,019	39,108	1460,082
2023	1165,805	482,262	592,840	662,843	54,702	122,667	9446,416	48,449	64,006	53,311	39,020	1473,753

Источник: составлено автором

Таблица А.7 – Прогнозирование с использованием 3-й формулы Бейтса и Грейнджера

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1958	-	281,686	-	--	31,521	302,721	1888,618	-	20,257	16,293	-	-
1959	171,063	293,607	-	18,339	32,640	331,981	2004,205	25,525	21,013	19,753	-	125,780
1960	190,931	296,183	118,540	24,238	36,617	315,998	2103,917	29,182	23,606	21,344	-	128,314
1961	226,864	294,448	134,810	31,037	39,608	339,569	2217,042	32,431	25,730	23,009	-	141,072
1962	259,964	293,157	151,403	39,026	42,361	342,148	2354,045	35,182	27,736	24,843	-	146,120
1963	279,971	299,823	167,843	47,833	44,798	339,102	2521,034	37,715	29,535	26,855	-	150,986
1964	307,427	311,353	183,882	56,281	47,207	337,327	2708,534	40,521	31,312	28,829	-	156,068
1965	332,385	323,080	200,189	63,729	49,714	341,827	2948,306	44,091	33,179	30,900	27,258	163,640
1966	357,919	330,681	216,923	69,667	52,141	355,150	3259,494	47,895	35,014	32,942	28,708	173,408
1967	383,025	332,870	233,524	74,425	54,704	381,298	3629,964	51,319	36,780	35,224	30,558	180,041
1968	410,548	334,582	249,626	78,243	57,469	406,482	3972,492	53,675	38,496	37,576	32,428	189,831
1969	440,227	335,746	265,247	81,372	60,376	429,179	4312,831	55,388	40,421	39,768	34,348	211,832
1970	470,947	342,000	281,606	83,601	63,513	449,834	4666,850	57,280	42,858	41,820	35,929	253,695
1971	502,785	350,933	300,251	85,280	66,494	474,493	4999,045	59,957	45,324	43,784	38,271	319,393
1972	535,351	358,963	321,452	86,886	69,405	504,007	5311,000	62,657	47,564	45,843	39,118	626,040
1973	569,604	365,132	345,643	90,924	72,579	534,075	5639,852	65,707	49,682	48,151	41,405	811,787
1974	605,053	371,625	374,356	98,692	75,957	562,787	5990,357	68,945	51,659	50,366	44,134	966,479
1975	642,692	379,678	406,038	112,814	79,485	586,891	6395,392	72,380	53,977	52,086	47,015	1059,087
1976	679,200	387,667	438,991	134,863	82,245	606,716	6761,156	75,850	56,235	53,235	49,327	1110,485
1977	718,224	393,433	471,471	158,512	83,797	624,494	6968,704	75,846	57,886	53,970	50,993	1136,748
1978	742,795	396,421	500,420	186,561	84,461	641,873	7010,024	76,270	59,125	54,737	52,150	1151,379
1979	772,484	396,117	525,213	218,668	84,794	655,618	7099,753	75,809	60,042	55,417	53,106	1160,289

Продолжение таблицы А.7

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	800,909	392,246	539,081	252,387	84,655	661,290	6842,329	73,884	60,023	55,491	52,800	1163,298
1981	834,830	389,205	550,421	287,441	85,420	659,525	6925,770	76,450	60,566	55,855	53,813	1160,304
1982	867,539	386,558	555,400	325,308	86,138	655,385	7122,206	77,095	61,006	56,180	53,962	1155,916
1983	897,282	391,499	555,885	366,787	86,746	654,856	7409,843	75,702	61,539	56,516	53,665	1155,610
1984	932,361	391,304	552,768	412,024	87,837	660,296	7708,772	78,449	62,153	57,097	53,064	1158,620
1985	971,098	389,941	549,183	459,047	89,245	682,510	7967,252	79,600	62,954	57,822	52,275	1165,127
1986	1000,508	403,075	537,296	505,400	91,232	708,660	8191,919	80,997	64,177	59,054	51,642	1163,438
1987	1036,492	416,009	555,481	547,787	93,396	727,409	8334,631	82,729	65,633	61,019	52,314	1155,801
1988	1073,975	419,581	556,066	586,458	94,211	723,997	8317,188	84,384	66,507	61,766	52,531	1137,679
1989	1082,355	412,819	541,268	618,292	92,691	703,416	8087,266	84,768	65,620	60,756	52,156	1102,742
1990	1081,754	390,503	506,176	638,230	87,502	677,767	7536,718	82,228	62,602	57,767	49,887	1076,174
1991	1059,535	364,765	453,459	645,802	84,489	633,239	6534,392	76,252	60,040	56,893	44,951	1049,613
1992	1028,761	333,896	395,513	636,463	67,470	550,314	5503,288	68,504	47,951	46,099	42,474	987,389
1993	951,370	306,364	343,865	624,930	58,410	470,654	4562,226	50,449	42,302	41,577	31,219	922,326
1994	895,597	281,470	311,446	609,544	52,265	336,606	3847,412	40,140	38,716	38,647	27,530	875,221
1995	853,260	262,755	290,561	597,845	49,560	167,136	3457,296	33,245	37,495	37,477	26,349	834,096
1996	838,911	251,391	292,273	590,936	48,032	129,167	3346,532	29,754	37,416	36,844	26,508	849,130
1997	831,330	244,016	291,648	586,392	47,286	122,908	3077,506	25,922	37,320	36,620	26,364	882,403
1998	834,544	241,117	293,566	578,709	47,828	140,700	3267,692	26,359	37,972	37,279	26,294	989,332
1999	845,854	243,890	298,737	586,109	50,755	153,108	3697,389	28,016	40,208	39,332	26,295	900,927
2000	867,948	254,332	312,842	588,469	55,782	170,560	4717,093	31,383	44,354	42,795	26,934	970,558
2001	887,200	261,744	337,911	590,989	59,000	177,623	5237,161	34,785	47,371	45,235	27,741	992,430
2002	900,137	266,367	370,748	597,609	60,746	179,106	5573,987	37,887	48,754	46,924	28,596	1034,265
2003	913,011	271,282	405,709	612,678	62,356	185,402	5776,581	41,107	50,693	48,320	29,533	1025,090
2004	933,489	282,695	435,848	630,156	64,885	201,281	5917,464	45,397	53,020	49,738	30,586	1055,397

Продолжение таблицы А.7

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	960,896	296,111	454,942	644,153	67,766	222,689	6009,609	50,341	55,750	50,741	32,018	1141,621
2006	988,733	308,038	464,694	650,928	69,475	247,599	5955,186	54,011	57,226	50,954	33,569	1137,804
2007	1013,243	314,165	470,657	653,149	70,148	265,166	5895,605	55,725	58,155	50,369	34,926	1206,064
2008	1026,468	316,526	474,440	647,825	68,443	257,454	5961,233	54,002	57,063	48,534	35,622	1287,617
2009	1044,610	317,401	479,602	642,994	65,613	222,555	6274,836	49,369	54,759	46,752	35,989	1463,190
2010	1022,409	316,253	485,600	616,972	63,567	178,862	6678,991	45,213	53,315	45,914	36,370	1051,386
2011	1044,393	329,197	491,218	653,208	67,220	192,434	7403,618	55,906	56,011	48,133	36,974	1415,080
2012	1059,444	342,533	495,377	665,586	68,899	198,705	7608,490	61,220	57,621	49,097	37,778	1768,476
2013	1063,241	355,250	497,985	657,625	70,595	193,216	7595,775	65,561	59,361	50,734	38,557	1907,825
2014	1057,759	357,840	499,612	657,264	69,987	173,804	7572,348	66,809	59,335	51,072	38,903	1795,712
2015	1063,144	367,685	505,290	644,001	69,639	148,653	7794,960	64,594	60,782	51,938	39,006	1609,133
2016	1075,859	383,949	513,265	642,934	67,677	136,542	8113,560	58,073	60,489	52,493	39,203	1295,219
2017	1094,058	403,273	523,418	651,249	64,619	139,929	8468,572	52,941	60,985	52,539	39,068	1227,363
2018	1106,211	428,808	539,687	675,916	57,121	153,173	8725,319	52,388	61,360	52,309	38,638	1348,928
2019	1119,102	443,840	550,801	654,945	57,305	147,714	8849,874	51,451	61,897	52,237	39,091	1408,210
2020	1130,730	453,607	558,804	656,418	56,561	141,490	8999,259	50,751	62,421	52,481	39,143	1424,214
2021	1142,237	462,940	567,060	657,568	55,835	135,295	9148,429	50,016	62,945	52,744	39,161	1439,258
2022	1153,952	471,964	575,422	658,751	55,122	129,104	9297,446	49,258	63,470	53,019	39,152	1453,629
2023	1165,708	480,767	583,831	660,185	54,418	122,912	9446,352	48,485	63,995	53,303	39,119	1467,525

Источник: составлено автором

Таблица А.8 – Прогнозирование с использованием 4-й формулы Бейтса и Грейнджера

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1958	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1959	171,063	294,843		18,380	36,336	306,204	1825,380	25,655	12,881	19,845	-	167,870
1960	190,931	296,867	118,540	24,246	36,669	297,722	1927,049	29,235	23,651	21,361	-	63,175
1961	226,864	294,310	134,810	31,055	39,623	297,697	2041,833	32,432	25,737	23,018	-	194,045
1962	259,964	293,613	151,403	39,049	42,368	313,564	2185,096	35,169	27,739	24,822	-	202,830
1963	279,971	300,771	167,843	47,874	44,797	319,839	2370,781	37,692	29,532	26,861	-	232,096
1964	307,427	312,727	183,882	56,344	47,194	323,540	2556,759	40,536	31,302	28,837	25,946	264,416
1965	332,385	323,509	200,189	63,798	49,705	327,038	2748,784	44,035	33,165	30,910	27,288	262,945
1966	357,919	329,752	216,923	69,796	52,129	318,871	2256,752	47,780	35,004	32,931	28,798	285,639
1967	383,025	332,209	233,524	74,508	54,682	385,515	3657,074	51,536	36,774	35,197	30,588	179,667
1968	410,548	333,668	249,626	78,364	57,451	408,878	4051,304	53,982	38,491	37,570	32,534	189,602
1969	440,227	336,427	265,247	81,505	60,363	429,194	4377,861	55,381	40,391	39,766	34,348	210,909
1970	470,947	342,527	281,606	83,707	63,483	449,936	4738,266	56,993	42,788	41,821	35,930	252,479
1971	502,785	350,936	300,251	85,391	66,459	474,600	5002,205	59,971	45,311	43,786	38,333	319,138
1972	535,351	358,676	321,452	88,755	69,385	504,590	5313,496	62,662	47,557	45,847	39,116	626,138
1973	569,604	365,100	345,643	91,020	72,546	534,878	5643,973	65,691	49,680	47,860	41,404	811,814
1974	605,053	371,883	374,356	97,916	75,901	563,472	5993,177	68,907	51,660	50,359	44,146	966,567
1975	642,692	379,882	406,038	112,766	79,291	587,164	6403,661	72,408	53,856	52,240	47,017	1058,847
1976	679,200	387,697	438,991	134,927	82,243	606,939	6766,275	76,101	56,231	53,514	49,323	1111,220
1977	718,224	393,449	471,471	158,510	83,871	624,868	6965,914	75,859	57,945	53,956	50,982	1137,578
1978	742,795	396,025	500,420	186,563	84,549	642,161	7001,636	76,272	59,143	54,724	52,140	1151,564
1979	772,484	396,928	525,213	218,691	85,751	656,254	7268,702	75,884	60,564	55,580	54,410	1159,873

Продолжение таблицы А.8

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	800,909	392,030	539,081	252,400	84,655	663,192	6842,326	73,870	60,023	55,466	52,800	1162,711
1981	834,830	389,139	550,421	287,439	85,420	661,424	6925,659	76,450	60,564	55,836	53,813	1159,639
1982	867,539	386,395	555,400	325,309	86,137	658,381	7122,149	77,099	61,006	56,188	53,962	1155,337
1983	897,282	392,161	555,885	366,791	86,748	654,728	7409,709	75,741	61,528	56,520	53,664	1155,178
1984	932,361	391,725	552,768	411,637	87,835	656,767	7708,616	78,405	62,150	57,112	53,063	1158,340
1985	971,098	389,549	549,183	459,019	89,252	679,010	7967,226	79,586	62,950	57,829	52,275	1164,937
1986	1000,508	404,090	537,296	507,163	91,245	709,489	8191,919	81,079	64,156	58,695	51,324	1163,254
1987	1036,492	416,354	555,481	547,809	93,445	727,515	8334,578	82,740	65,633	61,034	52,293	1155,640
1988	1073,975	419,599	556,066	586,314	94,203	723,766	8326,168	84,418	66,510	61,765	52,582	1137,651
1989	1082,355	413,544	541,268	618,879	92,456	702,469	8119,181	84,742	65,658	60,728	52,131	1103,837
1990	1081,754	390,437	506,176	638,783	87,205	677,772	7532,902	82,094	63,209	58,683	49,727	1076,005
1991	1059,535	365,438	453,459	648,909	84,596	634,334	6532,617	77,726	60,063	56,905	44,649	1055,156
1992	1028,761	333,898	395,513	636,430	67,467	550,078	5502,878	68,536	47,949	46,098	43,241	986,584
1993	951,370	306,368	343,865	625,284	58,406	488,805	4573,063	50,458	42,322	41,577	31,219	916,973
1994	895,597	281,449	311,446	609,553	52,261	336,777	3848,148	40,147	38,735	38,642	27,530	868,448
1995	853,260	261,929	290,561	597,846	49,221	167,128	3414,692	33,170	37,169	37,452	26,348	833,981
1996	838,911	250,949	292,273	590,927	48,067	129,162	3376,884	29,944	37,369	36,835	26,604	848,938
1997	831,330	243,852	291,648	587,717	47,178	122,932	3006,004	25,940	37,279	36,549	26,377	883,328
1998	834,544	240,656	293,566	570,860	47,628	140,741	3150,561	26,363	37,752	37,192	26,326	1026,460
1999	845,854	241,726	298,737	586,711	49,319	153,151	3495,870	28,060	39,233	38,981	26,266	891,326
2000	867,948	254,725	312,842	592,564	55,859	171,156	4755,196	31,397	44,451	42,885	26,917	962,311
2001	887,200	261,893	337,911	594,022	59,017	178,131	5256,337	34,788	47,454	45,306	27,735	986,361
2002	900,137	266,983	370,748	596,983	60,692	179,434	5585,911	37,894	48,674	46,920	28,564	1031,371
2003	913,011	266,550	405,709	611,210	62,274	185,684	5782,338	41,124	50,637	48,318	29,524	1020,155
2004	933,489	282,310	435,848	630,417	64,838	201,614	5918,788	45,415	52,956	49,753	30,543	1048,283

Продолжение таблицы А.8

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	960,896	295,681	454,942	643,867	67,725	222,967	6007,955	50,349	55,729	50,764	31,986	1164,277
2006	988,733	307,914	464,694	650,436	69,384	247,694	5950,331	52,788	57,155	50,890	33,528	1114,884
2007	1013,243	314,053	470,657	654,953	70,201	267,035	5889,443	57,001	58,217	50,700	34,956	1202,724
2008	1026,468	316,487	474,440	649,871	68,631	273,070	5958,413	63,688	57,223	49,418	35,661	1294,453
2009	1044,610	326,879	479,602	648,989	65,712	233,734	6265,447	49,368	54,572	46,649	36,012	1463,574
2010	1022,409	316,228	485,600	616,972	63,541	174,849	5889,063	44,134	53,296	45,756	36,360	1051,401
2011	1044,393	329,184	491,218	653,223	67,216	191,509	7403,231	55,871	56,010	48,138	36,374	1415,985
2012	1059,444	342,531	495,377	665,421	68,892	197,826	7608,523	61,243	57,611	49,014	37,433	1775,507
2013	1063,241	355,523	497,985	657,620	70,594	193,523	7596,002	65,571	59,365	50,732	38,716	1904,991
2014	1057,759	357,803	499,612	656,979	69,982	175,775	7570,866	66,734	59,323	51,031	39,177	1783,341
2015	1063,144	367,511	505,290	643,934	69,656	149,422	7793,686	64,485	60,787	51,928	38,713	1594,007
2016	1075,859	384,051	513,265	643,361	67,711	136,161	8112,592	58,352	60,496	52,517	39,355	1282,160
2017	1094,058	403,478	523,418	652,057	64,708	139,662	8467,350	52,333	60,989	52,558	39,706	1232,195
2018	1106,211	432,775	539,687	677,937	57,126	154,145	8725,835	52,636	61,365	52,334	38,592	1356,258
2019	1119,102	440,653	550,801	653,510	57,303	147,866	8848,918	51,580	61,903	52,232	39,084	1402,267
2020	1130,730	447,447	558,804	654,482	56,559	142,077	8998,554	50,738	62,428	52,479	39,125	1418,581
2021	1142,237	454,150	567,060	655,056	55,832	136,358	9147,950	49,837	62,953	52,744	39,127	1433,912
2022	1153,952	460,785	575,422	655,671	55,118	130,648	9297,176	48,898	63,479	53,023	39,099	1448,554
2023	1165,708	467,373	583,831	656,595	54,414	124,938	9446,280	47,931	64,005	53,313	39,044	1462,710

Источник: составлено автором

Таблица А.9 – Прогнозирование с использованием 5-й формулы Бейтса и Грейнджера

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1958	-	368,874	-	-	29,869	304,249	1811,006	-	19,498	17,078	-	-
1959	182,440	288,142	-	17,261	31,911	316,863	1948,803	24,160	20,619	18,522	-	135,521
1960	199,724	295,226	116,345	23,414	35,466	307,594	2072,114	28,684	22,705	20,421	-	134,153
1961	219,353	294,851	134,214	30,570	39,002	331,368	2190,866	32,445	25,297	22,429	-	142,799
1962	243,518	291,544	150,840	38,702	41,932	339,360	2332,524	35,328	27,497	24,168	-	147,037
1963	273,531	296,277	167,588	48,422	44,453	337,102	2502,516	38,464	29,342	26,500	-	151,894
1964	302,473	308,796	183,845	57,751	46,505	335,767	2683,575	40,452	31,053	28,640	-	156,912
1965	330,669	321,690	199,624	64,989	49,276	339,516	2896,483	42,779	32,886	30,745	27,183	162,430
1966	359,284	330,626	216,476	71,075	51,873	339,895	3191,261	47,491	34,798	32,757	28,596	167,945
1967	382,532	332,817	234,602	75,382	54,236	373,955	3578,569	51,885	36,660	34,322	30,467	181,040
1968	405,917	336,470	250,755	79,258	57,209	402,585	3934,874	54,482	38,425	37,262	32,177	192,008
1969	438,457	335,888	266,989	82,164	60,175	425,764	4291,916	55,543	39,932	39,615	34,462	213,843
1970	470,112	340,000	281,011	84,318	62,868	446,564	4584,334	56,272	41,614	41,773	35,859	253,683
1971	500,847	350,110	299,484	85,923	66,201	465,122	4975,353	60,048	44,902	43,735	38,254	327,300
1972	534,801	358,722	320,331	89,495	69,186	499,886	5289,254	62,488	47,338	45,801	39,064	548,016
1973	569,368	365,073	343,573	91,905	72,058	532,357	5592,730	65,592	49,536	47,289	40,836	764,063
1974	602,121	370,803	372,169	97,381	75,374	560,751	5964,070	68,455	51,615	50,177	43,799	945,590
1975	641,528	379,132	404,557	111,390	78,696	585,664	6261,598	72,310	53,203	52,300	46,881	1053,787
1976	677,040	387,563	438,235	131,966	82,195	606,909	6726,147	76,077	56,105	53,627	49,405	1121,103
1977	719,468	393,581	471,756	155,288	84,585	625,085	7002,398	75,819	58,176	54,226	51,141	1148,146
1978	744,390	398,371	503,759	182,672	85,220	641,615	7178,515	76,978	59,196	54,877	52,476	1159,828
1979	776,503	399,172	530,497	215,135	85,869	658,776	7259,501	76,442	61,342	55,910	54,206	1164,886

Продолжение таблицы А.9

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	800,557	395,023	542,334	249,992	84,643	668,828	6904,221	73,492	60,705	55,765	52,440	1165,585
1981	835,578	390,445	555,708	285,662	85,527	666,025	6928,481	76,095	60,910	55,976	54,043	1163,267
1982	868,598	386,940	557,795	324,502	86,754	660,696	7115,399	77,274	61,509	56,528	54,380	1157,719
1983	895,898	392,868	558,155	366,290	86,832	654,003	7278,075	74,974	61,619	56,589	53,788	1154,085
1984	931,008	391,718	559,088	409,038	88,022	656,529	7670,389	78,472	62,469	57,484	53,452	1157,849
1985	971,315	388,734	552,802	459,261	88,895	679,019	7951,209	79,607	62,967	57,816	52,542	1165,017
1986	999,566	400,867	533,907	506,942	90,211	704,613	8167,306	80,067	63,573	58,299	51,013	1164,745
1987	1035,661	414,386	554,146	547,432	92,981	725,142	8355,230	82,580	65,432	60,632	52,133	1156,803
1988	1077,152	420,365	560,637	584,990	94,229	727,607	8372,370	83,863	66,436	61,728	52,311	1154,079
1989	1088,868	424,800	546,680	627,251	94,558	729,102	8369,206	85,098	66,491	61,469	52,329	1137,916
1990	1088,591	398,300	514,781	643,925	90,518	690,294	7889,126	83,807	64,549	60,493	50,547	1073,943
1991	1070,406	374,198	462,137	657,354	85,286	652,644	6961,560	79,038	60,810	57,333	46,145	1084,812
1992	1036,991	337,714	397,448	645,049	71,425	577,033	5775,298	69,418	50,473	48,248	42,006	999,901
1993	959,927	314,673	336,693	633,651	60,389	521,797	4916,347	49,422	43,559	43,733	31,093	930,594
1994	899,288	284,448	305,187	612,993	52,843	379,289	3966,873	40,327	39,710	38,853	25,421	906,753
1995	833,716	258,360	281,791	597,750	48,576	169,266	3335,848	28,624	35,819	36,290	23,872	825,883
1996	829,170	250,375	286,824	583,966	47,401	132,702	3449,355	33,788	36,992	36,978	26,249	839,495
1997	825,211	244,413	289,416	590,869	46,308	101,755	2911,249	23,603	37,149	36,005	26,056	884,063
1998	824,302	238,514	295,331	569,739	46,818	122,301	3124,530	26,119	37,149	36,689	26,357	968,286
1999	826,615	228,505	297,939	587,921	43,091	134,606	3382,469	26,805	35,766	35,229	25,972	899,427
2000	860,258	248,452	302,814	591,700	52,604	168,963	4450,731	31,214	42,454	40,768	26,794	970,186
2001	890,433	260,169	334,517	588,149	57,900	182,012	5117,889	35,118	46,615	44,460	28,024	991,403
2002	907,228	270,984	369,086	586,333	60,354	176,028	5538,495	37,727	48,263	46,173	28,195	1034,624
2003	911,615	261,402	404,708	607,057	61,507	180,420	5775,082	40,629	50,291	47,801	30,048	1020,146
2004	935,916	279,487	443,919	629,837	64,710	199,730	5921,844	45,173	52,658	49,624	30,319	1039,128

Продолжение таблицы А.9

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	958,842	290,959	476,018	643,416	67,498	220,092	6027,160	50,454	55,504	50,974	31,890	1142,714
2006	978,905	307,391	472,764	649,059	68,316	229,048	5967,643	52,394	56,603	50,566	33,312	1127,781
2007	1020,904	316,282	473,505	658,730	70,704	264,511	5979,715	58,083	58,582	51,996	35,455	1206,397
2008	1036,636	317,587	480,623	653,329	72,238	273,909	6036,115	61,703	59,695	51,287	36,020	1276,894
2009	1055,611	326,602	479,260	663,346	67,856	247,893	6177,115	50,137	56,582	47,768	36,050	1404,575
2010	1010,752	312,025	484,565	609,556	62,843	170,614	6212,560	43,214	53,521	46,082	36,279	918,461
2011	1044,370	329,308	491,125	650,504	66,964	190,711	7436,052	55,563	55,809	47,845	36,377	1387,235
2012	1062,986	342,993	496,512	674,520	68,696	200,681	7700,801	60,774	57,282	48,885	37,447	1764,503
2013	1073,413	356,852	502,420	657,950	70,607	203,346	7825,170	65,569	59,384	50,461	38,738	1916,246
2014	1058,961	357,686	498,464	664,956	69,843	197,444	7592,536	67,677	59,040	50,761	39,353	1843,353
2015	1057,304	363,876	502,968	644,801	69,959	146,541	7774,469	67,304	60,863	51,835	38,701	1659,338
2016	1070,575	383,534	506,584	639,408	68,582	128,047	8073,570	57,672	60,680	52,552	39,487	1305,920
2017	1093,592	402,177	523,372	645,734	67,865	135,769	8416,571	51,782	61,047	52,608	40,124	1208,177
2018	1103,691	429,875	523,868	681,048	56,298	152,970	8734,218	52,575	61,436	52,413	38,187	1346,930
2019	1119,531	443,867	561,637	651,053	58,002	147,354	8831,640	51,364	62,007	52,318	39,016	1442,737
2020	1132,130	453,308	578,981	650,628	57,213	142,252	8997,913	50,479	62,565	52,577	38,951	1461,953
2021	1144,864	462,312	597,928	649,820	56,470	137,264	9163,505	49,545	63,124	52,850	38,804	1479,292
2022	1158,015	471,002	617,626	649,050	55,760	132,290	9328,612	48,574	63,684	53,130	38,592	1495,315
2023	1171,440	479,470	637,732	648,579	55,075	127,318	9493,375	47,570	64,244	53,418	38,322	1510,411

Источник: составлено автором

Таблица А.10 – Прогнозирование с использованием 1-й формулы Грейнджера и Раманатхана

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	268,207	-	-	29,700	326,400	1783,394	-	19,600	17,900	-	-
1958	158,697	286,327	-	16,007	31,677	331,615	1899,795	21,499	20,673	18,997	-	121,573
1959	177,094	292,400	102,887	21,390	34,126	335,806	2000,490	25,028	22,101	20,096	-	130,291
1960	197,819	292,601	118,540	27,300	36,943	337,494	2109,165	29,017	23,951	21,533	-	140,315
1961	221,806	291,786	134,791	33,328	39,891	346,921	2235,315	32,525	25,984	23,142	-	145,156
1962	248,266	296,001	151,435	40,492	42,554	347,039	2378,246	35,467	27,954	25,130	-	149,842
1963	276,109	304,176	167,923	48,454	44,934	342,417	2530,574	37,886	29,706	26,982	24,660	154,144
1964	304,241	314,866	183,997	55,746	47,463	339,883	2728,204	40,641	31,463	28,971	25,976	158,888
1965	331,042	323,967	200,343	62,564	49,939	344,477	2994,952	44,156	33,314	31,054	27,315	167,814
1966	356,607	328,505	217,055	68,138	52,255	360,112	3310,293	47,981	35,121	33,032	28,834	179,553
1967	382,754	331,192	233,594	73,335	54,944	385,917	3658,803	51,294	36,844	35,485	30,629	183,570
1968	411,238	332,237	249,745	77,390	57,704	410,288	3997,323	53,524	38,528	37,694	32,600	192,356
1969	440,555	337,546	265,400	81,007	60,596	433,411	4342,087	55,279	40,491	39,900	34,286	226,708
1970	471,173	344,767	282,043	83,489	63,858	452,221	4712,011	57,391	43,013	41,925	35,988	317,866
1971	503,327	351,826	300,525	85,048	66,653	476,397	5013,176	59,930	45,436	43,851	37,288	490,558
1972	535,623	358,628	321,732	85,699	69,572	506,511	5328,031	62,831	47,638	45,922	39,172	689,734
1973	569,743	365,380	346,481	90,327	72,891	535,650	5669,344	65,949	49,730	48,454	41,632	874,061
1974	606,143	373,016	374,687	101,952	76,283	564,064	6012,166	69,304	51,678	50,483	44,322	1017,190
1975	642,990	380,943	406,245	117,550	79,861	587,771	6451,859	72,686	54,097	51,946	47,114	1082,257
1976	679,539	387,874	439,200	138,543	82,327	606,380	6783,982	74,930	56,286	53,064	49,310	1108,532
1977	710,506	393,360	472,142	162,708	83,672	623,008	6958,046	75,781	57,821	53,937	50,928	1119,891
1978	742,193	394,692	500,744	191,761	84,277	640,444	6967,509	76,053	59,071	54,661	51,955	1126,230
1979	771,137	393,146	522,812	223,495	84,001	654,772	6805,586	75,496	59,377	54,987	52,179	1132,374

Продолжение таблицы А.10

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	802,697	391,014	539,321	255,482	84,804	659,525	6830,872	75,283	59,827	55,439	53,123	1137,438
1981	834,549	388,711	550,232	289,304	85,409	656,626	6927,966	76,064	60,393	55,871	53,586	1136,061
1982	865,979	389,333	555,351	327,312	85,779	651,802	7135,232	76,485	60,786	56,031	53,706	1135,613
1983	899,775	387,715	555,646	369,579	86,927	652,614	7475,840	77,196	61,451	56,576	53,500	1143,312
1984	934,448	389,269	552,198	416,933	87,828	665,936	7734,902	78,663	62,033	56,952	52,707	1152,393
1985	968,550	398,534	548,612	463,541	89,642	690,943	8000,195	79,791	62,943	57,945	52,029	1163,633
1986	1006,298	408,367	552,351	507,293	91,916	715,911	8220,410	81,197	64,310	59,597	52,325	1163,451
1987	1040,745	417,260	557,110	550,797	93,609	730,226	8319,628	82,956	65,773	61,156	52,438	1156,823
1988	1065,481	419,477	555,341	589,464	94,226	724,497	8300,354	84,623	66,577	61,770	52,895	1134,632
1989	1080,153	407,049	538,213	616,041	91,947	701,608	7974,780	84,867	65,376	60,532	52,133	1092,663
1990	1079,254	387,690	501,713	634,957	86,342	670,829	7350,606	81,981	61,598	56,656	49,120	1077,016
1991	1054,246	357,909	450,677	636,667	76,277	624,981	6368,288	74,298	54,753	50,197	43,859	1022,461
1992	1005,742	331,589	394,229	630,019	66,557	540,366	5408,014	62,331	47,392	45,531	36,566	960,776
1993	949,879	302,495	345,613	617,084	57,751	416,366	4420,638	48,942	41,806	40,716	31,078	900,628
1994	894,273	279,518	313,590	608,747	51,979	256,590	3809,596	39,389	38,420	38,436	27,665	842,040
1995	860,663	265,992	298,286	600,306	50,471	142,411	3616,444	32,875	37,948	38,109	27,025	860,807
1996	841,555	252,964	293,472	597,034	47,751	132,521	3123,074	30,450	37,608	36,562	26,976	898,631
1997	833,495	244,474	293,505	587,229	47,328	139,343	3279,179	26,195	37,544	36,877	26,994	938,618
1998	838,424	243,186	295,289	594,810	48,057	165,064	3564,148	27,164	38,408	37,571	26,640	932,974
1999	852,506	250,481	300,565	585,115	52,627	178,770	4212,045	28,745	41,336	40,757	26,714	975,069
2000	871,611	256,505	314,724	580,423	56,358	193,559	4837,706	32,188	44,930	43,166	27,243	992,461
2001	887,023	262,399	339,335	585,130	58,727	193,331	5288,560	35,367	47,397	45,282	27,885	1014,850
2002	898,864	264,757	371,808	597,756	61,179	190,328	5621,146	38,192	49,411	47,270	28,747	1022,046
2003	915,082	275,925	406,576	616,243	63,064	195,341	5791,981	41,381	51,167	48,557	29,507	1042,221
2004	933,763	284,500	436,321	630,467	65,305	210,129	5919,376	45,849	53,509	49,779	30,658	1082,888

Продолжение таблицы А.10

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	962,214	299,029	454,833	647,872	68,137	231,500	5995,252	50,891	56,002	50,632	32,079	1167,287
2006	991,501	309,270	464,545	654,431	70,331	258,392	5912,389	54,440	57,701	51,234	33,674	1245,806
2007	1009,564	313,380	469,941	644,946	69,433	273,003	5841,506	55,973	57,653	49,732	34,833	1232,163
2008	1019,535	315,351	473,414	636,536	66,588	253,699	5934,040	52,961	55,780	47,714	35,465	1143,019
2009	1018,998	311,628	478,674	617,161	64,421	209,214	6344,485	47,432	53,975	46,517	35,815	990,831
2010	1034,535	324,615	484,971	657,708	66,645	161,332	7168,078	49,538	54,484	47,438	36,238	1342,652
2011	1045,766	334,415	490,995	657,329	67,323	196,518	7390,097	57,695	56,079	48,063	36,977	1749,810
2012	1053,031	345,121	495,376	657,711	69,309	202,588	7534,991	62,382	58,050	49,826	37,816	1964,027
2013	1056,069	350,327	498,040	657,787	70,519	192,367	7472,922	66,185	59,156	50,630	38,509	1899,170
2014	1058,825	358,710	499,833	638,282	70,504	166,241	7599,799	66,138	59,912	51,565	38,838	1570,542
2015	1067,546	372,717	505,649	642,134	68,363	141,634	7833,413	62,845	60,228	52,007	39,081	1302,891
2016	1079,908	388,363	513,805	649,041	65,458	137,006	8152,101	57,393	60,531	52,158	39,141	1193,503
2017	1093,622	410,615	523,910	663,370	59,692	145,529	8518,265	54,004	60,985	52,341	38,860	1239,827
2018	1108,753	435,220	542,825	650,321	58,041	159,485	8719,029	52,258	61,214	52,041	39,039	1383,219
2019	1119,180	437,743	550,072	673,788	56,394	149,761	8878,466	51,247	61,653	52,371	39,128	1366,146
2020	1129,883	442,053	557,109	682,521	55,744	143,318	9014,584	51,156	62,089	52,601	39,250	1382,462
2021	1140,672	446,480	564,305	691,703	55,076	136,929	9151,067	51,162	62,524	52,825	39,379	1398,655
2022	1151,458	450,989	571,701	700,839	54,396	130,547	9287,809	51,259	62,959	53,043	39,511	1414,762
2023	1162,286	455,558	579,314	709,627	53,706	124,166	9424,733	51,443	63,395	53,258	39,645	1430,809

Источник: составлено автором

Таблица А.11 – Прогнозирование с использованием 2-й формулы Грейнджера и Раманатхана

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	268,162	-	-	29,700	326,400	1783,394	-	19,600	17,900	-	-
1958	158,661	286,310	-	16,042	31,662	330,811	1898,667	21,466	20,668	18,993	-	120,179
1959	177,059	292,374	102,816	21,421	34,110	334,988	1999,330	24,995	22,095	20,091	-	128,788
1960	197,786	292,560	118,466	27,315	36,925	336,700	2107,927	28,987	23,944	21,527	-	138,729
1961	221,767	291,729	134,716	33,321	39,872	346,080	2233,972	32,498	25,977	23,136	-	143,489
1962	248,224	295,931	151,348	40,459	42,534	346,208	2376,799	35,443	27,947	25,124	-	148,151
1963	276,064	304,106	167,822	48,397	44,913	341,620	2529,036	37,862	29,698	26,975	24,647	152,400
1964	304,192	314,801	183,885	55,675	47,442	339,100	2726,515	40,615	31,454	28,963	25,961	157,099
1965	330,990	323,904	200,218	62,490	49,917	343,685	2993,056	44,125	33,304	31,046	27,300	165,955
1966	356,551	328,440	216,922	68,070	52,232	359,295	3308,189	47,944	35,111	33,023	28,818	177,591
1967	382,692	331,117	233,458	73,277	54,920	385,019	3656,490	51,257	36,833	35,475	30,611	181,532
1968	411,166	332,157	249,596	77,342	57,678	409,340	3994,824	53,488	38,517	37,684	32,580	190,264
1969	440,483	337,458	265,241	80,967	60,570	432,407	4339,330	55,242	40,479	39,889	34,267	224,355
1970	471,096	344,682	281,864	83,452	63,830	451,193	4708,969	57,351	43,000	41,914	35,967	314,894
1971	503,242	351,747	300,341	85,011	66,623	475,325	5010,016	59,885	45,423	43,839	37,269	486,337
1972	535,535	358,550	321,537	85,657	69,541	505,357	5324,627	62,785	47,624	45,909	39,149	683,812
1973	569,650	365,297	346,264	90,269	72,859	534,441	5665,680	65,900	49,716	48,440	41,606	866,829
1974	606,041	372,929	374,453	101,861	76,250	562,792	6008,309	69,252	51,663	50,469	44,296	1009,167
1975	642,883	380,854	405,993	117,420	79,825	586,444	6447,648	72,631	54,081	51,933	47,087	1073,952
1976	679,425	387,785	438,933	138,377	82,291	605,020	6779,648	74,875	56,270	53,049	49,283	1100,427
1977	710,396	393,269	471,841	162,508	83,636	621,621	6953,641	75,728	57,805	53,922	50,899	1111,724
1978	742,070	394,599	500,440	191,525	84,241	639,019	6963,104	75,998	59,053	54,646	51,927	1117,891
1979	771,011	393,051	522,508	223,230	83,966	653,305	6801,321	75,442	59,361	54,973	52,154	1123,871

Продолжение таблицы А.11

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	802,560	390,914	538,993	255,204	84,767	658,051	6826,328	75,228	59,810	55,424	53,090	1128,793
1981	834,412	388,610	549,919	289,020	85,372	655,167	6923,446	76,004	60,376	55,856	53,557	1127,276
1982	865,840	389,231	555,026	327,014	85,742	650,354	7130,649	76,426	60,768	56,016	53,678	1126,746
1983	899,623	387,626	555,331	369,260	86,889	651,168	7471,006	77,137	61,434	56,560	53,470	1134,311
1984	934,292	389,179	551,898	416,585	87,790	664,452	7730,030	78,599	62,015	56,936	52,679	1143,195
1985	968,396	398,436	548,301	463,176	89,603	689,383	7995,121	79,729	62,924	57,929	52,002	1154,284
1986	1006,126	408,277	551,956	506,919	91,875	714,284	8215,186	81,135	64,291	59,581	52,292	1154,050
1987	1040,570	417,177	556,786	550,398	93,568	728,561	8314,390	82,892	65,754	61,140	52,409	1147,436
1988	1065,318	419,390	555,042	589,036	94,185	722,858	8295,060	84,559	66,558	61,754	52,864	1125,316
1989	1079,981	406,963	537,936	615,623	91,907	700,026	7969,803	84,804	65,357	60,516	52,105	1083,622
1990	1079,078	387,588	501,442	634,545	86,307	669,362	7346,043	81,921	61,582	56,641	49,097	1068,184
1991	1054,086	357,805	450,417	636,297	76,247	623,593	6364,349	74,247	54,739	50,185	43,841	1013,683
1992	1005,600	331,474	394,017	629,686	66,532	539,181	5404,513	62,289	47,379	45,518	36,558	952,587
1993	949,726	302,402	345,446	616,791	57,729	415,422	4417,908	48,907	41,793	40,705	31,060	892,785
1994	894,133	279,437	313,424	608,456	51,958	256,066	3807,040	39,351	38,409	38,425	27,650	834,432
1995	860,518	265,916	298,070	600,020	50,449	142,290	3613,860	32,834	37,935	38,098	27,005	853,319
1996	841,417	252,914	293,239	596,730	47,729	132,172	3121,633	30,413	37,599	36,554	26,959	890,473
1997	833,365	244,439	293,259	586,926	47,306	138,956	3277,056	26,155	37,534	36,867	26,974	930,189
1998	838,277	243,152	295,059	594,407	48,035	164,574	3561,965	27,125	38,398	37,562	26,623	924,456
1999	852,344	250,439	300,318	584,701	52,601	178,272	4209,348	28,709	41,323	40,745	26,695	966,815
2000	871,451	256,479	314,456	579,976	56,331	193,004	4834,918	32,154	44,918	43,155	27,225	983,605
2001	886,874	262,375	339,076	584,627	58,700	192,810	5285,525	35,336	47,385	45,271	27,868	1006,046
2002	898,714	264,727	371,549	597,207	61,151	189,857	5617,741	38,166	49,397	47,258	28,729	1013,131
2003	914,917	275,868	406,305	615,682	63,036	194,865	5788,409	41,356	51,152	48,544	29,491	1033,360
2004	933,604	284,450	436,057	629,936	65,275	209,612	5915,656	45,824	53,494	49,765	30,639	1073,597

Продолжение таблицы А.11

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	962,050	298,974	454,585	647,349	68,107	230,957	5991,458	50,863	55,986	50,619	32,060	1157,284
2006	991,329	309,214	464,276	653,924	70,300	257,798	5908,649	54,410	57,684	51,220	33,654	1235,538
2007	1009,405	313,319	469,689	644,489	69,403	272,347	5837,802	55,944	57,637	49,720	34,814	1221,686
2008	1019,378	315,279	473,189	636,096	66,560	253,088	5930,235	52,936	55,766	47,702	35,446	1133,128
2009	1018,849	311,559	478,423	616,775	64,394	208,774	6340,292	47,403	53,959	46,504	35,796	981,867
2010	1034,345	324,514	484,708	657,132	66,616	161,205	7163,079	49,509	54,467	47,423	36,218	1333,282
2011	1045,594	334,333	490,716	656,834	67,293	196,054	7385,834	57,659	56,064	48,051	36,956	1734,683
2012	1052,876	345,050	495,088	657,264	69,278	202,103	7530,393	62,331	58,033	49,812	37,794	1947,595
2013	1055,904	350,261	497,754	657,312	70,488	191,917	7468,229	66,134	59,140	50,617	38,488	1883,950
2014	1058,648	358,623	499,529	637,843	70,473	165,857	7594,731	66,093	59,894	51,551	38,817	1558,213
2015	1067,365	372,623	505,335	641,636	68,334	141,354	7828,337	62,806	60,211	51,993	39,058	1292,605
2016	1079,729	388,275	513,474	648,510	65,431	136,710	8146,907	57,358	60,513	52,144	39,120	1184,400
2017	1093,446	410,525	523,593	662,823	59,668	145,182	8512,851	53,972	60,967	52,327	38,840	1229,219
2018	1108,568	435,131	542,447	649,882	58,016	159,089	8713,544	52,223	61,196	52,027	39,015	1370,801
2019	1118,994	437,659	549,789	673,245	56,370	149,412	8872,750	51,205	61,636	52,356	39,107	1354,470
2020	1129,696	441,969	556,869	681,927	55,720	142,981	9008,752	51,111	62,071	52,586	39,229	1370,478
2021	1140,482	446,391	564,115	691,063	55,052	136,604	9145,117	51,115	62,506	52,810	39,357	1386,400
2022	1151,266	450,890	571,552	700,153	54,372	130,233	9281,739	51,210	62,942	53,028	39,489	1402,263
2023	1162,091	455,447	579,194	708,891	53,682	123,863	9418,541	51,392	63,377	53,243	39,622	1418,085

Источник: составлено автором

Таблица А.12 – Прогнозирование с использованием 3-й формулы Грейнджера и Раманатхана

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	266,728	-	-	29,700	326,400	1783,394	-	19,600	17,900	-	-
1958	157,984	286,961	-	14,173	31,232	330,444	1867,272	21,369	20,291	18,696	-	97,368
1959	176,384	292,563	101,880	19,633	33,761	334,723	1969,945	24,903	21,764	19,837	-	106,729
1960	197,108	292,222	117,581	25,582	36,635	336,336	2079,270	28,883	23,653	21,298	-	116,982
1961	221,131	290,994	133,869	31,636	39,615	345,967	2205,844	32,377	25,714	22,925	-	122,491
1962	247,619	295,074	150,562	38,833	42,289	345,912	2349,505	35,307	27,699	24,926	-	127,143
1963	275,474	303,479	167,088	46,824	44,663	341,033	2502,807	37,734	29,455	26,793	24,501	131,781
1964	303,633	314,506	183,195	54,108	47,188	338,396	2701,397	40,508	31,215	28,790	25,827	136,749
1965	330,454	323,816	199,595	60,890	49,684	343,035	2969,946	44,062	33,081	30,886	27,179	145,857
1966	356,039	328,349	216,366	66,404	52,020	358,878	3288,122	47,916	34,905	32,878	28,715	157,947
1967	382,231	330,878	232,945	71,549	54,729	385,132	3639,840	51,231	36,642	35,350	30,529	162,652
1968	410,768	331,843	249,139	75,552	57,529	409,734	3981,168	53,460	38,339	37,589	32,524	171,504
1969	440,093	337,155	264,837	79,133	60,464	433,066	4327,563	55,227	40,325	39,810	34,215	206,437
1970	470,739	344,604	281,559	81,596	63,771	451,934	4699,587	57,365	42,893	41,852	35,941	298,074
1971	502,941	351,934	300,110	83,154	66,616	476,338	5003,737	59,926	45,361	43,794	37,231	472,626
1972	535,263	358,869	321,400	83,802	69,567	506,842	5319,711	62,841	47,582	45,884	39,158	677,714
1973	569,413	365,642	346,257	88,502	72,929	536,237	5663,032	65,982	49,693	48,448	41,660	864,881
1974	605,872	373,339	374,567	100,308	76,382	564,931	6009,040	69,358	51,661	50,515	44,376	1006,638
1975	642,746	381,410	406,226	116,089	80,018	588,832	6451,747	72,758	54,116	51,986	47,189	1069,945
1976	679,336	388,476	439,268	137,267	82,524	607,528	6787,832	75,003	56,345	53,093	49,396	1092,578
1977	710,281	394,009	472,293	161,595	83,856	624,256	6962,414	75,855	57,885	53,964	51,024	1106,177
1978	742,053	395,317	500,916	190,835	84,434	641,888	6969,934	76,124	59,134	54,700	52,049	1115,776
1979	771,015	393,684	522,967	222,640	84,136	656,383	6804,967	75,561	59,435	55,032	52,251	1124,446

Продолжение таблицы А.12

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	802,641	391,449	539,524	254,578	84,929	661,095	6826,804	75,372	59,870	55,483	53,260	1131,373
1981	834,499	389,102	550,425	288,338	85,587	658,069	6928,310	76,164	60,460	55,928	53,710	1131,838
1982	865,944	389,765	555,583	326,379	85,986	653,164	7140,199	76,582	60,865	56,099	53,828	1132,314
1983	899,818	388,352	555,890	368,747	87,148	654,028	7484,886	77,316	61,544	56,653	53,623	1140,806
1984	934,516	389,938	552,420	416,291	88,092	667,669	7748,580	78,788	62,146	57,048	52,814	1151,061
1985	968,607	399,270	548,868	462,954	89,943	693,172	8015,222	79,912	63,075	58,058	52,135	1162,814
1986	1006,465	409,452	552,893	506,746	92,275	718,516	8236,651	81,332	64,478	59,749	52,477	1162,935
1987	1040,934	418,614	557,616	550,520	94,018	732,944	8336,314	83,096	65,977	61,353	52,573	1156,471
1988	1065,597	420,744	555,744	589,482	94,619	726,933	8314,419	84,767	66,786	61,962	53,044	1134,885
1989	1080,317	407,974	538,418	615,990	92,260	703,560	7985,542	85,003	65,534	60,671	52,254	1092,790
1990	1079,440	387,928	501,663	635,089	86,494	672,196	7353,133	82,082	61,643	56,691	49,168	1076,150
1991	1054,335	357,515	450,408	636,650	76,188	625,892	6359,201	74,329	54,619	50,075	43,816	1024,372
1992	1005,724	330,610	393,851	630,076	66,202	540,096	5387,647	62,276	47,095	45,294	36,395	960,383
1993	949,917	301,428	345,302	617,068	57,296	414,484	4395,449	48,872	41,474	40,494	30,943	900,532
1994	894,230	278,332	313,386	609,001	51,533	252,326	3779,807	39,303	38,135	38,237	27,536	842,919
1995	860,649	264,721	298,246	600,460	50,117	136,930	3590,047	32,817	37,750	37,986	26,963	858,928
1996	841,515	251,911	293,451	597,187	47,544	128,932	3107,572	30,322	37,507	36,500	26,914	900,526
1997	833,426	243,502	293,436	587,020	47,126	136,375	3257,809	26,123	37,436	36,808	26,939	939,673
1998	838,457	242,140	295,084	595,366	47,888	162,837	3551,190	27,072	38,313	37,533	26,551	934,704
1999	852,625	249,438	300,328	585,094	52,530	176,640	4206,622	28,655	41,315	40,775	26,620	971,743
2000	871,723	255,811	314,557	580,460	56,442	191,595	4843,152	32,084	45,019	43,277	27,141	994,514
2001	887,062	261,781	339,221	585,519	58,825	190,973	5295,009	35,243	47,483	45,383	27,771	1014,908
2002	898,906	263,974	371,769	598,377	61,185	187,604	5624,030	38,057	49,451	47,339	28,635	1023,147
2003	915,197	274,875	406,600	616,775	63,042	192,602	5792,111	41,244	51,210	48,616	29,385	1042,034
2004	933,847	283,733	436,277	630,685	65,308	207,536	5917,169	45,725	53,573	49,834	30,551	1084,919

Продолжение таблицы А.12

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	962,326	298,501	454,642	648,201	68,169	229,048	5991,700	50,786	56,095	50,673	31,987	1171,120
2006	991,669	308,903	464,365	654,825	70,360	256,256	5906,502	54,363	57,793	51,252	33,603	1247,603
2007	1009,653	312,955	469,785	645,018	69,445	271,045	5834,033	55,867	57,718	49,728	34,757	1237,361
2008	1019,605	314,738	473,264	636,705	66,481	251,121	5927,333	52,800	55,752	47,633	35,385	1148,164
2009	1019,016	310,947	478,664	616,903	64,193	205,530	6342,094	47,331	53,873	46,398	35,733	996,854
2010	1034,793	323,750	485,054	659,665	66,440	156,121	7173,927	49,487	54,428	47,369	36,165	1332,577
2011	1045,931	334,132	491,132	657,473	67,326	193,492	7410,823	57,640	56,145	48,091	36,927	1771,501
2012	1053,105	345,289	495,540	657,536	69,343	199,653	7547,814	62,422	58,159	49,882	37,783	1981,324
2013	1056,189	350,603	498,203	658,218	70,569	189,148	7479,710	66,228	59,278	50,707	38,478	1908,728
2014	1059,015	358,729	500,042	638,291	70,507	162,536	7603,496	66,134	60,021	51,630	38,807	1575,417
2015	1067,768	372,902	505,910	642,856	68,329	137,477	7843,515	62,790	60,344	52,076	39,063	1308,162
2016	1080,125	389,003	514,146	649,851	65,333	133,106	8167,341	57,339	60,627	52,216	39,116	1196,693
2017	1093,827	411,687	524,248	664,105	59,438	141,987	8537,189	53,946	61,094	52,384	38,818	1255,089
2018	1109,011	436,754	543,376	649,801	57,652	156,185	8739,573	52,179	61,328	52,072	39,030	1404,074
2019	1119,438	439,291	550,336	674,893	56,188	146,138	8897,506	51,209	61,774	52,408	39,113	1376,501
2020	1130,152	443,536	557,305	684,089	55,559	139,631	9033,442	51,135	62,214	52,639	39,239	1394,528
2021	1140,959	447,731	564,422	693,722	54,916	133,181	9169,703	51,158	62,653	52,864	39,374	1411,994
2022	1151,764	451,887	571,737	703,310	54,262	126,739	9306,196	51,273	63,093	53,084	39,513	1429,068
2023	1162,614	456,018	579,271	712,561	53,600	120,297	9442,851	51,475	63,533	53,301	39,655	1445,864

Источник: составлено автором

Таблица А.13 – Прогнозирование с использованием модификации последовательного объединения

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	269,114	-	-	29,623	-	1783,081	-	19,558	17,981	-	-
1958	158,857	285,870	88,532	13,583	31,221	323,054	1902,881	22,027	20,335	18,762	-	175,131
1959	178,533	293,140	102,823	18,454	33,823	315,914	1996,965	25,636	21,781	20,047	-	179,793
1960	197,284	292,364	118,524	24,315	36,842	329,210	2088,198	29,350	23,753	21,549	-	192,650
1961	220,966	288,976	134,845	30,651	40,080	337,396	2220,704	32,649	25,912	23,030	-	196,840
1962	248,195	293,332	151,442	38,760	42,676	336,703	2389,160	35,547	27,962	25,135	-	204,525
1963	275,665	302,985	167,860	48,401	44,655	335,974	2536,574	37,487	29,554	26,986	24,768	210,866
1964	304,678	315,383	183,882	56,835	47,352	336,488	2704,679	39,992	31,245	29,012	25,922	215,850
1965	332,344	325,206	200,195	63,740	50,108	337,039	2958,547	44,103	33,186	31,072	27,270	223,360
1966	355,893	329,825	216,931	68,845	52,214	358,885	3309,086	48,569	35,272	32,828	28,792	238,793
1967	380,877	332,254	233,510	74,105	54,912	380,122	3694,637	51,641	37,080	35,507	30,616	246,532
1968	411,837	330,234	249,608	77,633	57,640	408,535	3986,705	53,270	38,327	37,743	32,624	260,846
1969	441,083	335,527	265,224	80,061	60,409	428,684	4310,716	54,885	40,129	39,903	34,378	277,353
1970	470,430	345,276	281,795	83,067	64,049	447,550	4744,464	57,599	43,185	42,129	36,393	324,246
1971	503,528	353,260	300,350	86,384	66,895	477,778	5036,260	60,093	45,669	43,849	37,204	472,259
1972	536,282	358,533	321,588	85,804	69,440	504,613	5330,084	62,689	47,813	45,393	38,712	633,522
1973	568,721	364,229	346,303	88,219	72,528	535,020	5663,103	65,493	49,629	48,390	41,515	788,348
1974	604,643	372,519	374,508	100,544	76,060	565,531	5970,029	69,227	51,324	51,025	44,607	947,913
1975	642,946	380,971	406,062	117,300	80,077	589,586	6439,587	72,891	54,305	52,129	47,201	1014,807
1976	682,243	387,644	439,024	137,811	82,599	607,488	6811,403	74,713	56,446	52,690	49,143	1056,690
1977	710,582	393,718	471,435	159,863	84,077	625,148	7063,476	76,330	57,833	53,831	51,303	1091,858
1978	741,574	396,079	500,151	188,947	84,548	645,414	7059,481	76,134	59,542	54,941	52,343	1113,275
1979	768,766	394,458	522,349	223,178	83,379	658,822	6720,824	74,690	59,130	54,962	51,489	1121,402

Продолжение таблицы А.13

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	804,254	389,449	538,884	256,587	84,655	663,419	6781,494	75,866	59,769	55,302	52,944	1133,980
1981	835,895	386,514	550,038	290,447	85,854	662,257	6932,427	76,316	60,595	55,869	53,835	1133,300
1982	862,976	392,434	555,213	327,266	85,835	655,911	7116,294	75,699	60,824	56,032	53,751	1126,293
1983	900,342	388,758	555,658	367,937	86,963	655,428	7490,649	77,573	61,656	56,834	53,742	1134,504
1984	937,086	385,140	552,295	417,226	87,518	668,424	7729,638	78,722	61,972	56,790	52,650	1141,939
1985	963,252	396,091	548,630	465,012	89,109	690,187	7986,205	79,369	62,652	57,387	51,374	1148,445
1986	1003,679	407,751	551,987	505,572	91,906	714,942	8210,851	81,041	64,202	59,564	52,167	1146,564
1987	1045,402	417,052	557,181	548,501	93,470	727,684	8266,286	82,617	65,576	61,027	52,390	1153,410
1988	1064,189	422,358	555,371	590,173	93,877	728,539	8327,774	84,038	66,343	61,567	52,640	1144,539
1989	1075,672	410,631	538,127	617,809	92,796	696,305	8081,727	84,535	66,047	61,700	52,054	1082,801
1990	1082,276	388,875	501,368	637,927	88,010	675,184	7382,460	83,140	62,806	57,677	50,086	1110,996
1991	1061,378	355,031	450,246	641,733	76,485	623,475	6395,159	75,980	54,588	49,253	45,160	1050,440
1992	1008,905	334,294	394,784	634,286	66,448	564,391	5525,965	62,014	47,059	45,279	35,613	1002,573
1993	947,595	302,803	347,383	614,787	56,914	436,238	4196,684	48,710	41,523	40,280	29,574	986,879
1994	882,977	273,853	314,717	602,086	50,143	226,067	3578,061	38,747	37,111	37,466	27,406	873,989
1995	860,956	265,314	298,226	597,480	51,160	175,637	3894,887	34,787	38,734	38,909	27,700	906,048
1996	849,432	256,901	292,308	592,976	49,701	124,712	3132,378	28,590	38,955	37,673	27,169	924,533
1997	832,965	243,153	291,682	575,103	46,948	129,351	3044,220	26,410	36,996	36,400	26,860	1005,825
1998	829,644	236,004	293,354	589,941	44,835	133,680	3329,633	26,296	36,027	35,829	26,086	914,865
1999	849,967	249,125	298,830	590,935	52,227	160,632	4256,869	28,734	41,356	41,071	26,331	1009,787
2000	877,975	260,831	313,306	581,943	58,541	172,717	4943,467	32,345	46,278	44,435	27,172	1015,244
2001	887,981	264,650	338,165	581,498	58,832	171,687	5282,332	35,302	47,008	45,053	27,846	1060,835
2002	893,659	260,141	370,836	598,409	59,888	176,786	5575,579	37,838	48,589	46,672	28,844	1039,467
2003	915,152	274,523	405,729	621,654	63,025	190,249	5778,554	41,359	51,029	48,908	29,448	1070,802
2004	932,144	284,031	435,518	632,914	65,222	200,502	5929,189	45,333	53,465	49,756	30,441	1140,735

Продолжение таблицы А.13

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	956,918	298,809	454,277	642,926	66,819	217,988	6001,816	49,093	55,195	49,760	31,946	1131,648
2006	993,547	308,863	464,596	653,381	71,022	255,183	6005,976	55,407	58,270	51,944	33,947	1225,141
2007	1020,197	317,659	470,608	659,403	72,299	278,110	5970,258	58,918	59,342	51,135	35,101	1293,523
2008	1024,215	319,979	474,366	641,606	66,539	251,639	5714,743	52,207	55,660	47,180	35,581	1392,813
2009	1002,149	303,872	479,633	595,271	61,047	158,129	5981,544	45,556	52,007	44,871	35,810	823,207
2010	1033,733	320,016	485,650	651,327	66,482	198,023	7421,403	50,205	54,581	47,496	36,025	1315,337
2011	1056,042	337,821	491,240	669,391	68,881	199,109	7692,321	56,400	56,917	48,661	36,912	1660,348
2012	1057,778	350,944	495,369	658,609	69,719	201,779	7532,674	62,005	58,377	50,131	38,205	1850,441
2013	1051,332	348,511	497,925	660,080	69,293	195,893	7266,390	66,928	58,670	50,332	38,617	1845,430
2014	1054,446	356,417	499,644	637,620	70,120	157,493	7532,379	67,714	60,246	51,423	38,449	1699,706
2015	1068,180	371,625	505,347	629,451	70,482	140,476	7894,311	61,650	59,988	52,313	39,329	1330,103
2016	1084,076	386,802	513,396	652,309	66,236	138,561	8253,929	55,719	60,247	52,286	39,511	1265,382
2017	1094,007	411,302	523,429	674,827	57,730	149,369	8531,433	54,279	60,920	52,054	38,607	1388,508
2018	1107,068	440,644	542,217	647,550	57,107	151,710	8622,481	53,813	61,589	51,672	38,661	1451,743
2019	1117,512	443,552	549,361	667,039	55,069	147,623	8790,675	53,851	62,056	52,024	38,634	1495,652
2020	1128,075	448,480	556,120	674,453	54,361	142,391	8926,399	53,896	62,529	52,260	38,724	1523,253
2021	1138,807	453,611	562,962	681,676	53,628	137,176	9062,901	53,955	63,001	52,487	38,817	1547,791
2022	1149,458	458,913	569,797	688,733	52,876	131,963	9199,955	54,025	63,473	52,706	38,910	1570,170
2023	1161,787	467,995	576,591	682,848	54,268	80,916	9496,907	49,698	63,834	52,834	40,959	448,855

Источник: составлено автором

Таблица А.14 – Прогнозирование с использованием модификации без константы

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	265,433	-	-	30,597	316,821	1796,539	-	19,897	19,236	-	-
1958	155,946	278,143	-	9,088	30,294	319,218	1859,614	20,239	20,242	18,313	-	174,130
1959	174,957	296,004	98,360	11,765	31,476	323,769	1981,213	24,055	20,950	19,151	-	183,345
1960	198,877	301,293	116,560	17,231	34,279	305,566	2073,865	28,075	22,609	20,309	-	188,164
1961	216,625	297,930	137,376	26,011	37,428	330,559	2163,537	32,565	24,883	22,206	-	201,683
1962	241,306	288,656	152,734	36,080	41,001	340,825	2295,888	35,471	27,097	23,441	-	205,212
1963	273,161	293,318	167,890	47,062	43,912	335,182	2490,559	38,704	29,352	26,021	25,112	213,165
1964	302,025	306,097	183,752	58,944	45,645	333,892	2647,067	39,620	30,682	27,886	25,924	219,667
1965	332,134	321,674	198,934	68,285	48,381	337,354	2813,558	42,052	32,424	29,866	27,198	225,081
1966	360,838	334,325	216,618	75,377	51,541	335,204	3082,071	47,149	34,402	32,429	28,566	233,193
1967	382,605	335,495	236,330	78,695	53,356	366,298	3446,161	52,312	36,571	33,602	30,319	248,999
1968	403,610	338,329	251,370	81,773	56,166	387,931	3882,417	54,499	38,423	36,903	31,960	257,216
1969	439,483	331,685	266,348	83,322	59,172	420,637	4186,696	55,281	39,569	38,977	34,672	276,193
1970	471,367	336,712	278,304	84,710	61,556	436,920	4455,434	56,053	41,031	41,194	35,404	300,202
1971	499,386	349,732	299,508	86,730	65,713	452,995	4969,018	60,196	45,015	43,408	38,656	360,069
1972	534,192	360,151	321,274	91,224	68,582	490,085	5244,241	62,072	47,247	45,379	38,166	525,305
1973	570,171	364,805	342,857	93,146	70,894	515,795	5500,632	64,966	49,215	46,284	40,189	688,427
1974	600,273	368,870	370,639	94,962	74,196	546,153	5895,778	67,662	51,274	49,698	43,550	833,783
1975	640,336	377,259	402,732	106,158	77,459	578,053	6123,636	71,634	52,259	52,587	46,805	980,840
1976	676,197	387,356	438,291	121,916	81,973	600,739	6658,263	76,410	55,965	53,500	49,345	1026,932
1977	725,205	393,484	472,113	144,701	84,486	614,622	7043,730	75,827	58,319	53,707	50,896	1056,073
1978	742,245	399,419	506,155	169,422	85,304	631,000	7234,585	77,869	58,324	54,652	52,714	1086,398
1979	775,209	401,107	532,772	201,616	86,383	653,906	7341,429	77,354	61,503	56,089	54,727	1105,279

Продолжение таблицы А.14

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	795,531	397,144	539,504	240,282	83,677	665,370	6744,233	72,911	59,249	55,685	50,810	1110,811
1981	835,071	391,632	558,167	279,159	85,153	666,020	6848,116	76,947	60,376	55,783	54,813	1123,586
1982	871,512	382,981	557,368	316,438	86,983	663,452	7061,198	77,756	61,601	56,760	54,723	1122,843
1983	892,070	394,678	561,039	355,321	86,046	654,912	7177,648	74,060	61,073	56,241	54,076	1116,551
1984	929,586	393,173	563,698	394,124	87,841	654,985	7673,823	79,347	62,580	57,633	54,168	1128,188
1985	977,878	383,397	554,575	442,193	88,142	673,296	7891,597	79,765	62,587	57,357	53,051	1138,171
1986	994,212	397,090	516,955	492,370	89,442	697,402	8121,919	79,310	63,178	57,535	50,299	1143,950
1987	1032,909	414,883	559,290	535,420	93,042	723,505	8419,516	82,438	65,259	60,380	53,380	1140,957
1988	1088,768	422,276	573,154	577,104	94,327	731,082	8360,199	83,516	66,496	61,913	52,319	1148,065
1989	1096,487	432,216	563,816	622,487	94,914	731,252	8470,733	85,067	67,114	62,216	52,935	1136,218
1990	1091,258	410,637	520,503	648,039	92,698	681,109	8158,576	84,911	65,893	61,988	52,102	1069,657
1991	1089,702	389,054	457,826	668,893	89,111	658,827	7464,445	82,049	62,679	59,297	48,208	1104,844
1992	1061,915	338,612	392,483	665,591	74,476	594,840	6179,860	73,835	51,875	46,732	44,536	1036,671
1993	971,421	321,182	333,083	653,538	63,580	550,430	5435,708	51,047	43,232	44,438	29,605	988,458
1994	901,210	291,593	306,053	620,284	54,648	406,526	4046,550	41,585	40,368	38,942	26,862	981,471
1995	811,117	255,042	279,313	597,647	44,891	124,365	2929,481	28,036	33,391	34,540	24,459	866,053
1996	811,998	252,831	284,166	578,928	49,909	149,729	4141,075	35,384	39,557	39,168	27,620	917,340
1997	830,314	250,694	287,857	583,751	47,555	111,949	2831,952	21,014	38,902	36,289	25,519	942,083
1998	819,320	240,643	301,548	560,415	47,208	131,579	3052,409	24,995	37,602	37,017	26,771	1029,708
1999	817,270	225,724	293,573	587,412	42,076	124,313	3165,406	24,641	34,828	33,956	25,096	919,658
2000	852,255	248,837	293,550	598,907	51,975	166,473	4395,974	29,480	42,968	41,851	26,154	1029,453
2001	901,610	263,934	327,257	599,794	60,577	177,417	5198,531	34,361	49,519	45,793	27,604	1031,402
2002	912,511	276,570	367,407	599,760	59,931	166,648	5480,603	37,048	47,693	45,757	27,746	1077,604
2003	899,266	256,992	404,997	610,375	60,589	173,631	5778,552	39,268	49,967	47,544	29,618	1047,416
2004	930,107	279,059	447,639	630,709	63,936	197,565	5940,831	43,319	52,085	49,789	29,544	1085,386

Продолжение таблицы А.14

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	953,298	288,310	475,027	640,564	66,915	204,985	6083,713	48,834	55,541	51,368	31,176	1171,240
2006	973,044	306,745	463,140	647,519	67,121	216,305	6138,567	50,580	55,891	49,583	32,433	1145,537
2007	1027,593	319,309	468,728	662,744	72,360	263,820	6118,121	58,988	59,846	53,263	35,167	1235,844
2008	1044,491	320,286	484,865	660,968	73,767	294,288	6061,658	63,410	60,518	51,924	35,739	1301,205
2009	1060,919	335,137	477,341	672,054	68,717	247,382	5948,903	48,590	56,160	47,829	35,955	1407,139
2010	981,526	296,983	485,211	591,904	57,790	90,958	5664,718	37,191	49,438	43,157	36,137	790,748
2011	1038,858	321,102	491,879	647,656	67,628	195,199	7903,467	55,173	56,222	48,521	36,151	1405,155
2012	1080,001	342,489	497,677	667,651	68,931	206,748	7926,385	59,340	57,502	48,368	37,228	1756,402
2013	1075,523	366,427	504,499	657,060	71,184	204,791	7836,809	64,655	60,352	51,320	38,839	1885,677
2014	1050,164	355,063	497,396	673,796	69,247	197,108	7269,404	69,341	58,395	50,558	39,080	1804,863
2015	1052,045	358,367	502,054	650,453	71,052	139,914	7630,375	69,335	61,990	52,039	38,134	1644,003
2016	1072,227	378,705	504,934	642,859	69,668	126,728	8042,879	57,395	60,091	53,070	39,553	1244,945
2017	1101,258	395,271	529,373	643,953	69,445	137,746	8395,068	50,062	60,823	52,761	40,225	1234,761
2018	1104,174	422,507	520,164	691,201	51,910	160,214	8795,590	54,180	61,486	52,554	37,130	1425,505
2019	1120,217	456,949	589,416	644,693	58,969	149,086	8726,389	52,118	62,222	51,915	39,463	1475,877
2020	1134,616	473,901	630,541	645,135	58,626	145,011	8862,127	50,375	62,874	52,155	39,572	1511,144
2021	1147,565	487,275	677,402	644,099	58,411	141,179	8994,602	48,464	63,529	52,458	39,523	1541,489
2022	1161,340	498,095	723,914	643,215	58,292	137,377	9124,761	46,424	64,185	52,809	39,381	1568,385
2023	1174,775	507,094	767,632	643,476	58,244	133,579	9253,276	44,280	64,842	53,193	39,178	1592,849

Источник: составлено автором

Таблица А.15 – Прогнозирование с использованием модификации с константой

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	267,604	-	-	30,072	316,031	1779,657	-	20,034	19,028	-	-
1958	157,291	279,741	-	12,646	30,387	309,983	1876,102	20,509	19,914	18,439	-	169,820
1959	175,739	297,542	97,994	15,946	31,628	313,972	2000,791	24,238	20,491	19,327	-	177,397
1960	199,217	302,236	116,100	21,343	34,435	294,876	2093,442	28,099	22,083	20,507	-	180,851
1961	216,386	298,331	136,862	29,664	37,572	320,157	2182,891	32,364	24,360	22,385	-	194,702
1962	240,738	289,034	152,319	39,241	41,102	334,048	2314,197	35,278	26,643	23,643	-	198,649
1963	272,571	293,904	167,687	49,722	43,982	331,248	2505,494	38,556	29,004	26,175	24,993	206,793
1964	301,479	306,886	183,758	60,917	45,732	331,180	2661,849	39,857	30,440	28,023	25,873	213,461
1965	331,812	322,412	198,967	69,625	48,453	334,588	2832,498	42,429	32,237	29,991	27,171	218,117
1966	360,764	334,691	216,547	76,109	51,578	329,893	3104,539	47,235	34,259	32,510	28,539	225,029
1967	382,507	335,517	236,259	79,074	53,419	359,195	3469,050	52,095	36,479	33,731	30,285	241,956
1968	403,261	338,038	251,434	81,805	56,227	381,001	3899,976	54,479	38,387	36,980	31,912	250,875
1969	439,279	331,530	266,520	83,173	59,227	415,394	4202,093	55,546	39,552	39,044	34,688	266,898
1970	471,204	336,805	278,418	84,441	61,642	433,496	4473,016	56,476	40,954	41,238	35,431	279,576
1971	499,140	349,920	299,396	86,360	65,750	449,177	4976,665	60,195	44,890	43,427	38,774	318,160
1972	534,039	360,314	320,977	90,599	68,617	486,164	5248,687	62,127	47,184	45,394	38,223	472,105
1973	570,099	364,944	342,394	92,871	70,964	512,370	5506,887	65,002	49,204	46,380	40,107	640,198
1974	600,014	369,057	370,057	95,771	74,271	543,371	5900,499	67,749	51,301	49,741	43,437	806,806
1975	640,174	377,477	402,110	107,715	77,547	577,109	6137,975	71,596	52,269	52,543	46,749	990,151
1976	676,028	387,506	437,744	124,181	81,984	601,899	6665,886	76,107	55,938	53,433	49,393	1061,970
1977	725,788	393,520	472,078	147,329	84,444	616,630	7036,217	76,113	58,379	53,657	51,015	1095,291
1978	742,497	399,176	506,525	172,590	85,243	632,815	7209,495	77,895	58,470	54,594	52,899	1124,705
1979	775,663	400,548	533,715	204,159	86,267	656,532	7295,023	77,452	61,714	55,977	55,043	1140,521

Продолжение таблицы А.15

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	795,462	396,417	540,763	241,152	83,687	670,064	6719,005	73,683	59,554	55,607	50,901	1140,704
1981	835,155	390,900	559,445	278,395	85,142	672,481	6835,869	76,695	60,599	55,732	54,836	1149,833
1982	871,675	382,555	558,569	314,915	86,924	670,570	7059,428	77,417	61,794	56,681	54,797	1144,807
1983	891,833	394,248	561,945	353,534	86,063	660,355	7193,115	74,564	61,239	56,218	54,141	1131,416
1984	929,334	392,878	564,466	392,817	87,833	656,456	7685,344	78,887	62,685	57,578	54,258	1138,333
1985	978,064	383,728	555,139	439,988	88,193	670,824	7902,708	79,549	62,659	57,370	53,116	1145,573
1986	993,757	397,813	516,489	489,230	89,535	693,363	8130,279	79,506	63,162	57,647	50,128	1150,732
1987	1032,581	415,649	557,888	533,422	93,070	721,394	8415,456	82,288	65,166	60,460	53,191	1146,849
1988	1089,558	422,698	572,197	576,441	94,323	733,613	8349,271	83,516	66,441	61,929	52,142	1156,657
1989	1097,504	431,549	564,035	620,225	94,791	739,716	8433,171	84,988	67,238	62,105	52,870	1149,291
1990	1092,501	409,046	522,376	647,088	92,428	690,967	8092,118	84,738	66,343	61,622	52,310	1072,022
1991	1091,951	386,518	460,647	666,788	88,575	670,711	7368,782	81,690	63,565	58,641	48,679	1112,877
1992	1065,235	336,123	394,290	665,043	74,093	612,743	6089,695	73,571	53,045	46,401	45,290	1046,244
1993	973,725	318,743	332,399	653,421	63,287	581,018	5344,096	52,942	44,167	44,080	29,768	993,510
1994	902,614	289,661	303,720	623,779	54,500	448,053	3999,819	42,045	40,821	38,817	26,337	988,749
1995	809,629	254,242	276,136	600,904	45,085	146,591	2952,613	28,732	33,331	34,726	23,623	849,581
1996	809,728	252,731	281,107	582,338	49,865	147,371	4124,416	32,459	39,022	39,148	26,991	888,568
1997	828,034	251,053	285,568	583,380	47,586	96,764	2870,525	21,278	38,390	36,416	25,091	913,446
1998	816,612	241,552	300,272	566,098	47,285	109,143	3117,019	23,892	37,077	37,171	26,579	1021,171
1999	814,136	227,501	293,009	586,280	42,518	100,254	3268,033	24,147	34,100	34,447	24,965	897,990
2000	849,753	250,801	292,972	597,227	52,219	145,429	4486,089	28,750	41,967	42,147	26,053	1011,545
2001	900,738	265,689	326,471	600,331	60,581	163,227	5259,093	33,744	48,730	45,949	27,607	1019,360
2002	912,554	277,730	366,519	601,677	60,014	156,338	5520,727	36,999	47,263	45,938	27,782	1073,727
2003	898,968	258,364	404,368	611,011	60,703	164,540	5796,241	39,610	49,648	47,666	29,730	1039,653
2004	930,207	280,275	448,082	628,447	64,005	189,703	5944,078	43,607	51,823	49,833	29,627	1072,386

Продолжение таблицы А.15

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	953,096	289,617	476,929	639,431	66,975	196,882	6075,958	48,937	55,319	51,342	31,223	1158,896
2006	972,531	307,797	465,480	647,206	67,245	206,108	6117,023	51,262	55,788	49,637	32,455	1123,030
2007	1028,346	319,790	470,593	659,835	72,253	257,074	6090,055	58,438	59,898	53,052	35,290	1226,428
2008	1045,956	320,283	486,219	659,376	73,481	298,984	6041,917	62,510	60,924	51,610	35,946	1326,539
2009	1063,504	334,352	477,930	666,949	68,514	260,670	5961,822	51,141	56,794	47,632	36,160	1486,497
2010	980,973	297,004	485,264	607,053	58,078	106,385	5744,851	40,142	49,842	43,294	36,281	720,782
2011	1038,983	321,501	491,876	645,184	67,627	192,683	7919,468	53,214	56,146	48,535	36,185	1284,010
2012	1080,743	343,005	497,674	662,532	68,954	204,491	7915,593	58,721	57,338	48,487	37,208	1702,238
2013	1076,556	366,488	504,525	657,546	71,167	205,936	7807,128	64,339	60,215	51,343	38,872	1916,849
2014	1050,367	355,122	497,365	670,252	69,290	203,199	7263,145	68,882	58,362	50,636	39,165	1906,211
2015	1051,692	358,778	501,822	653,341	70,946	144,960	7633,605	69,205	61,964	52,063	38,152	1759,990
2016	1071,659	379,349	504,438	646,174	69,492	126,426	8050,208	59,159	60,176	53,032	39,587	1289,088
2017	1101,084	396,328	528,808	646,285	69,051	133,932	8405,690	51,396	60,870	52,726	40,358	1210,302
2018	1103,728	423,806	519,114	682,098	52,082	156,069	8794,985	53,199	61,532	52,502	37,093	1389,701
2019	1120,111	457,130	589,423	650,788	58,872	147,887	8728,136	51,729	62,265	51,917	39,409	1491,612
2020	1134,534	473,807	630,541	654,695	58,526	143,990	8859,094	49,764	62,928	52,152	39,474	1524,453
2021	1147,489	486,923	677,383	657,169	58,304	140,322	8986,837	47,549	63,592	52,450	39,375	1552,851
2022	1161,278	497,498	724,048	659,791	58,174	136,682	9112,297	45,121	64,258	52,792	39,174	1578,134
2023	1174,722	506,260	768,167	663,523	58,112	133,046	9236,136	42,503	64,924	53,167	38,903	1601,221

Источник: составлено автором

Таблица А.16 – Прогнозирование с использованием гребневой регрессии в объединении

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	266,289	-	-	29,703	319,233	1790,285	-	19,679	18,503	-	-
1958	168,331	278,459	-	15,154	31,359	323,747	1888,060	18,910	20,392	17,802	-	128,892
1959	182,910	289,617	101,001	19,154	33,574	327,767	1992,461	22,958	21,477	18,573	-	136,198
1960	201,261	293,210	116,734	24,326	36,381	324,060	2097,827	27,587	23,227	19,789	-	143,749
1961	219,789	293,051	133,494	31,069	39,370	337,503	2216,539	32,600	25,362	21,538	-	150,832
1962	243,587	293,699	150,248	38,926	42,199	341,812	2357,414	35,896	27,455	23,151	-	155,599
1963	272,285	300,381	167,192	47,752	44,689	338,234	2518,800	39,027	29,450	25,406	24,710	160,876
1964	301,006	311,117	183,882	57,146	47,104	336,571	2708,003	39,817	31,057	27,392	25,924	166,139
1965	330,259	322,049	200,131	65,310	49,633	340,849	2953,593	42,037	32,878	29,456	27,258	173,529
1966	358,410	329,523	216,654	71,966	52,097	350,843	3258,704	47,127	34,770	31,774	28,735	183,291
1967	383,498	332,514	233,661	76,477	54,650	377,116	3610,136	52,512	36,695	33,559	30,513	190,971
1968	408,608	334,581	250,061	80,364	57,419	400,838	3969,180	54,697	38,466	36,297	32,386	200,202
1969	440,557	336,359	265,948	83,134	60,330	427,090	4305,889	55,325	40,090	38,464	34,385	228,184
1970	471,870	342,432	281,695	85,144	63,446	446,061	4654,728	55,981	42,147	40,609	35,829	293,310
1971	502,626	350,816	299,864	86,920	66,465	467,986	5000,460	60,176	45,214	42,701	37,708	420,124
1972	536,276	358,665	320,564	89,572	69,382	499,750	5307,613	62,214	47,447	44,711	38,912	600,173
1973	571,526	365,010	344,300	92,261	72,535	528,206	5631,218	65,102	49,502	46,314	41,178	782,956
1974	605,312	371,675	372,052	97,497	75,908	557,351	5984,737	67,832	51,507	48,975	44,033	939,541
1975	643,719	379,661	403,547	109,684	79,429	583,907	6379,658	71,847	53,316	51,248	46,981	1048,517
1976	680,206	387,533	437,116	127,003	82,240	604,462	6753,809	76,631	56,133	52,380	49,325	1101,222
1977	720,747	393,400	471,131	149,823	83,797	620,759	6973,121	75,747	58,039	52,953	50,962	1127,772
1978	746,888	396,449	501,993	175,937	84,455	637,813	7022,208	77,804	58,789	53,764	52,238	1144,478
1979	778,297	396,286	526,809	207,498	84,416	654,635	6918,334	77,233	60,326	54,678	53,020	1154,528

Продолжение таблицы А.16

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	803,698	393,896	543,209	243,205	84,639	662,001	6813,817	72,497	59,663	54,699	52,520	1157,347
1981	838,496	390,645	555,542	280,151	85,369	660,800	6910,184	76,932	60,441	54,893	53,910	1156,485
1982	871,747	388,142	559,731	318,036	85,973	656,847	7116,866	77,844	61,176	55,433	54,001	1152,271
1983	899,817	389,982	559,677	358,644	86,772	654,553	7409,042	73,787	61,330	55,378	53,669	1150,360
1984	935,160	390,485	556,655	401,398	87,809	662,726	7716,759	79,451	62,284	56,210	53,131	1154,379
1985	975,738	393,695	551,544	449,218	89,364	684,221	7972,331	79,887	62,803	56,476	52,321	1161,280
1986	1004,209	403,906	545,922	497,357	91,463	708,219	8194,923	79,256	63,817	57,182	51,660	1160,788
1987	1040,655	415,134	552,909	541,290	93,464	726,340	8336,353	82,565	65,518	59,254	52,573	1153,827
1988	1080,519	419,496	554,588	582,232	94,206	726,066	8310,044	83,670	66,516	60,432	52,623	1140,001
1989	1095,307	415,057	542,298	620,507	92,431	711,690	8077,433	85,198	66,135	60,277	52,296	1109,130
1990	1095,051	396,699	510,192	644,659	87,434	676,744	7521,529	84,914	63,532	58,786	50,023	1075,490
1991	1082,446	370,553	460,777	658,993	78,502	637,801	6602,870	81,761	58,347	54,962	45,276	1043,996
1992	1046,096	337,318	401,202	656,170	68,015	561,235	5576,338	73,024	49,618	46,453	39,124	983,907
1993	974,933	310,801	344,505	645,170	58,842	463,159	4639,093	48,775	42,675	42,648	30,892	923,987
1994	906,810	284,831	306,473	623,310	52,491	312,604	3863,202	40,257	39,368	38,351	27,400	877,663
1995	835,594	263,148	285,011	606,368	49,540	147,744	3471,419	26,783	36,002	35,343	25,959	848,289
1996	819,226	251,813	280,150	593,226	48,030	135,538	3330,904	36,971	38,267	36,685	26,682	873,576
1997	820,593	244,370	282,286	590,337	47,277	125,340	3180,571	19,941	37,960	35,330	26,175	905,596
1998	820,737	240,154	288,882	578,122	47,814	146,196	3448,168	25,176	37,908	35,897	26,368	933,384
1999	828,903	240,333	295,223	586,750	50,750	153,885	3981,067	24,624	38,370	35,534	26,056	935,243
2000	857,116	250,757	308,023	589,929	55,458	176,880	4731,260	29,926	43,802	40,485	26,778	973,694
2001	892,308	259,645	333,460	591,076	58,886	182,566	5258,003	34,908	48,053	43,769	27,713	996,690
2002	909,031	266,087	366,872	595,280	60,880	179,385	5583,399	37,410	48,552	44,970	28,436	1019,618
2003	913,963	268,882	403,091	608,717	62,586	185,437	5783,522	39,654	50,559	46,654	29,554	1028,276
2004	937,846	281,287	438,231	627,096	65,016	203,050	5920,226	44,015	52,823	48,524	30,393	1063,766

Продолжение таблицы А.16

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	962,413	294,106	463,251	641,337	67,880	220,779	6011,417	49,767	55,733	49,908	31,862	1145,636
2006	987,176	307,022	472,650	649,261	69,757	242,770	5958,753	51,134	56,898	49,390	33,355	1193,931
2007	1023,388	314,438	477,380	655,130	69,892	267,172	5899,183	60,146	58,584	50,739	34,979	1213,244
2008	1039,309	317,024	481,145	651,591	67,800	265,575	5960,088	64,139	57,889	49,446	35,656	1188,228
2009	1050,202	319,554	482,171	650,463	65,191	224,463	6258,882	46,109	55,073	46,841	35,995	1140,476
2010	1018,389	317,382	486,406	620,870	65,209	150,427	6846,404	36,118	52,465	44,480	36,336	1173,905
2011	1047,613	330,148	491,662	650,295	67,331	194,710	7488,097	58,196	56,108	47,121	36,822	1553,951
2012	1067,918	343,283	495,841	663,231	69,201	202,261	7612,388	60,131	57,761	47,774	37,674	1831,674
2013	1071,646	354,452	498,973	657,963	70,588	195,674	7547,756	65,123	59,611	49,665	38,612	1884,309
2014	1061,033	357,827	499,329	659,186	70,272	176,463	7529,840	69,777	59,253	49,804	38,941	1691,237
2015	1064,593	368,450	504,137	647,153	68,798	143,255	7787,700	69,286	60,954	50,806	38,848	1481,599
2016	1078,002	384,800	510,558	644,533	66,172	134,060	8124,633	56,067	60,360	51,511	39,269	1268,652
2017	1099,136	404,792	522,145	650,472	61,359	141,597	8487,252	49,661	60,920	51,524	39,285	1239,239
2018	1109,369	429,810	535,636	672,709	57,090	157,513	8730,266	55,313	61,332	51,332	38,530	1362,019
2019	1123,740	442,932	554,230	657,042	56,807	148,792	8842,810	52,177	61,896	51,113	39,184	1390,134
2020	1136,059	451,629	565,153	660,381	56,192	143,035	8979,540	50,714	62,426	51,360	39,286	1405,674
2021	1148,099	459,744	576,784	663,264	55,584	137,372	9115,890	49,222	62,956	51,633	39,347	1420,429
2022	1160,493	467,443	588,825	666,195	54,980	131,722	9251,970	47,728	63,487	51,924	39,382	1434,633
2023	1172,917	474,846	601,158	669,479	54,379	126,072	9387,857	46,246	64,019	52,228	39,399	1448,449

Источник: составлено автором

Таблица А.17 – Прогнозирование с использованием 1-й формулы Фишберна

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	264,818	-	-	30,065	316,326	1798,645	-	19,851	18,589	-	-
1958	168,585	271,588	-	14,513	29,564	312,778	1805,240	20,226	19,643	17,962	-	142,141
1959	182,694	287,268	99,383	18,262	30,913	316,309	1898,059	23,976	20,396	18,664	-	148,600
1960	200,779	293,847	115,827	23,361	33,609	308,421	2001,209	28,111	21,987	19,886	-	153,783
1961	218,476	294,251	133,940	30,249	36,806	324,738	2115,888	32,322	24,142	21,681	-	163,663
1962	241,834	291,758	150,376	38,254	40,261	334,281	2260,205	35,450	26,401	23,372	-	168,357
1963	270,596	297,132	167,068	47,249	43,327	333,312	2443,347	38,454	28,660	25,697	24,556	174,848
1964	299,272	307,914	183,846	56,980	45,757	333,051	2627,552	40,288	30,477	27,784	25,816	180,747
1965	328,746	320,459	199,763	65,393	48,551	337,089	2839,664	43,085	32,415	29,935	27,186	186,646
1966	357,133	330,507	216,511	72,269	51,501	341,641	3121,719	47,466	34,414	32,334	28,637	194,615
1967	381,888	333,754	234,486	76,766	53,872	367,051	3473,377	51,855	36,476	34,204	30,393	206,504
1968	406,339	336,707	250,647	80,694	56,686	390,496	3871,097	54,291	38,381	36,988	32,181	216,022
1969	438,593	335,381	266,407	83,404	59,665	420,001	4212,338	55,612	40,002	39,244	34,489	237,688
1970	469,875	340,451	280,691	85,384	62,459	440,338	4536,841	56,892	41,868	41,464	35,783	276,055
1971	500,243	350,005	299,531	87,200	66,000	460,539	4958,854	60,097	44,915	43,628	38,189	356,566
1972	533,953	358,777	320,273	90,110	69,013	493,374	5275,528	62,414	47,286	45,701	38,851	520,017
1973	569,217	364,768	342,933	92,528	71,816	521,756	5578,832	65,344	49,450	47,349	40,764	700,032
1974	602,417	370,582	370,476	96,883	75,100	551,864	5946,877	68,305	51,544	50,020	43,677	870,608
1975	640,904	378,623	402,112	108,569	78,465	581,589	6267,152	71,980	53,238	52,372	46,819	1026,348
1976	677,207	387,322	436,532	125,367	82,136	604,887	6701,097	75,724	56,056	53,609	49,432	1100,918
1977	719,054	393,519	471,343	147,979	84,457	621,563	7020,949	76,102	58,201	54,239	51,198	1135,652
1978	744,119	398,070	504,108	173,682	85,501	638,259	7177,832	77,337	59,071	55,057	52,744	1159,155
1979	775,758	399,108	530,652	205,324	86,174	657,307	7211,471	76,868	60,912	55,980	54,102	1171,248

Продолжение таблицы А.17

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	800,101	396,482	544,217	241,711	85,098	667,813	6920,745	74,283	60,308	56,029	52,300	1170,996
1981	835,253	392,394	558,873	279,269	85,843	668,930	6957,139	76,369	60,937	56,204	54,178	1172,098
1982	868,678	387,149	561,158	317,269	86,874	665,993	7115,477	77,017	61,648	56,720	54,332	1165,146
1983	895,678	392,032	561,905	357,744	86,827	660,505	7295,521	75,397	61,677	56,662	53,907	1154,695
1984	931,007	391,616	560,656	399,924	88,012	662,595	7654,855	78,636	62,549	57,461	53,572	1156,520
1985	972,458	389,526	553,727	448,029	88,866	679,129	7905,744	79,557	62,945	57,729	52,636	1161,317
1986	999,272	400,090	534,771	496,810	90,377	701,460	8142,678	80,034	63,720	58,398	50,968	1162,171
1987	1035,879	413,379	552,637	540,614	92,991	723,434	8370,076	82,451	65,286	60,428	52,370	1155,707
1988	1077,975	419,618	559,460	581,597	94,221	729,911	8370,416	83,890	66,389	61,669	52,175	1152,176
1989	1092,545	422,166	550,382	621,421	94,001	725,164	8323,606	84,965	66,507	61,621	52,314	1132,931
1990	1092,257	404,645	517,325	645,948	91,022	688,349	7946,786	83,859	64,766	60,254	50,967	1077,598
1991	1081,632	381,645	464,947	661,865	85,473	655,291	7205,304	79,261	60,749	56,574	46,983	1076,053
1992	1047,274	342,309	401,603	659,224	73,838	588,011	6107,649	69,832	52,459	48,100	42,031	1014,887
1993	973,914	318,047	339,518	648,378	63,469	515,533	5211,032	51,552	44,827	43,957	30,936	955,609
1994	904,942	289,449	302,212	624,459	54,984	378,257	4115,916	40,822	40,482	39,412	26,177	925,789
1995	829,457	260,630	277,104	606,621	47,633	166,534	3267,355	29,586	35,617	36,103	23,832	841,998
1996	813,055	250,816	275,720	592,365	47,841	136,144	3551,352	31,273	37,190	37,184	25,569	863,594
1997	815,276	244,317	279,728	590,831	46,186	105,984	2937,451	22,234	36,901	35,851	25,099	891,101
1998	814,094	237,555	290,704	575,452	46,096	118,744	3073,871	24,362	36,699	36,361	26,046	958,837
1999	821,027	231,518	293,323	587,165	44,950	121,363	3353,793	25,188	36,398	35,968	25,536	907,679
2000	850,288	245,830	301,604	591,281	51,274	151,865	4247,132	29,588	41,475	40,798	26,405	975,848
2001	888,225	257,349	329,632	591,667	57,512	166,114	4961,675	34,176	46,424	44,262	27,686	996,464
2002	905,729	267,369	365,283	594,717	59,254	165,434	5375,977	37,491	47,505	45,686	28,342	1036,049
2003	909,207	262,808	402,496	607,806	60,909	173,008	5699,140	40,470	49,787	47,485	29,805	1027,512
2004	933,952	278,580	442,303	627,117	63,882	193,350	5908,506	44,732	52,164	49,453	30,364	1059,068

Продолжение таблицы А.17

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	958,003	289,897	470,918	640,840	66,939	208,530	6060,682	50,013	55,216	50,947	31,797	1141,876
2006	981,988	305,160	473,684	648,791	68,280	225,894	6091,941	52,770	56,570	50,527	33,180	1153,203
2007	1020,734	315,463	477,940	656,770	71,014	259,149	6070,006	58,061	58,820	51,887	35,286	1211,399
2008	1037,575	318,572	485,194	653,559	71,306	277,016	6071,065	59,738	59,051	50,730	36,115	1253,523
2009	1050,177	326,570	481,765	655,003	68,188	243,887	6143,639	50,049	56,600	48,156	36,422	1315,467
2010	1011,822	311,086	486,246	614,446	62,777	153,871	6261,261	43,677	53,082	45,648	36,596	970,848
2011	1043,389	326,478	491,826	649,969	67,158	192,103	7485,258	55,075	55,949	48,036	36,737	1380,806
2012	1065,634	341,753	496,537	664,720	68,742	200,821	7718,298	59,850	57,369	48,694	37,528	1740,313
2013	1069,178	358,159	501,015	657,964	70,593	198,933	7738,473	64,933	59,374	50,584	38,739	1903,249
2014	1056,715	357,131	498,605	662,107	69,847	187,617	7513,805	68,094	59,096	50,809	39,156	1827,057
2015	1059,453	364,796	502,967	647,290	70,061	147,958	7744,913	67,306	60,994	51,832	38,715	1658,284
2016	1072,930	381,775	507,623	643,548	68,438	132,106	8075,722	58,824	60,526	52,590	39,411	1315,416
2017	1094,906	399,800	523,634	648,723	66,262	136,627	8420,969	52,568	61,018	52,660	39,794	1226,759
2018	1104,321	425,200	528,146	676,681	56,193	153,641	8744,557	53,028	61,449	52,490	38,116	1356,173
2019	1119,152	447,609	566,666	654,278	57,891	147,564	8814,190	51,421	62,024	52,262	39,138	1435,619
2020	1131,555	460,171	588,246	656,460	57,147	142,372	8973,311	50,022	62,588	52,524	39,148	1455,224
2021	1143,577	471,544	612,283	658,081	56,446	137,293	9131,324	48,503	63,152	52,807	39,077	1472,913
2022	1155,987	482,069	636,748	659,761	55,778	132,228	9288,551	46,881	63,718	53,106	38,946	1489,258
2023	1168,391	491,989	660,825	661,875	55,134	127,164	9445,218	45,165	64,283	53,417	38,767	1504,656

Источник: составлено автором

Таблица А.18 – Прогнозирование с использованием 2-й формулы Фишберна

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	266,135	-	-	29,973	317,464	1795,198	-	19,760	18,488	-	-
1958	165,002	275,226	-	13,992	30,171	317,133	1834,266	20,818	19,922	18,258	-	139,461
1959	180,611	289,153	100,245	17,939	31,771	320,829	1932,205	24,466	20,833	19,074	-	146,367
1960	199,863	294,261	116,618	23,286	34,510	315,096	2035,533	28,435	22,489	20,342	-	152,336
1961	219,145	294,074	134,445	30,308	37,639	329,871	2150,239	32,371	24,623	22,102	-	161,471
1962	243,396	292,512	150,844	38,482	40,912	337,188	2292,864	35,363	26,810	23,816	-	166,123
1963	272,192	298,450	167,346	47,586	43,790	335,305	2469,675	38,246	28,948	26,051	24,629	172,285
1964	300,747	309,378	183,849	57,131	46,160	334,496	2654,079	40,302	30,721	28,089	25,861	178,002
1965	329,601	321,402	199,819	65,326	48,868	338,657	2874,537	43,309	32,626	30,204	27,215	184,380
1966	357,305	330,414	216,634	71,920	51,687	345,753	3163,235	47,580	34,579	32,516	28,675	192,969
1967	382,152	333,343	234,358	76,344	54,068	371,305	3515,444	51,681	36,566	34,454	30,440	203,648
1968	407,319	335,830	250,418	80,130	56,868	394,937	3902,813	54,053	38,416	37,152	32,259	212,994
1969	439,145	335,544	266,080	82,824	59,829	422,952	4240,762	55,492	40,089	39,375	34,451	236,658
1970	470,311	341,100	280,813	84,804	62,688	442,873	4570,200	56,987	42,086	41,546	35,794	283,318
1971	500,924	350,382	299,753	86,595	66,119	463,958	4972,576	60,051	45,042	43,656	38,005	378,421
1972	534,372	358,852	320,706	89,272	69,091	496,178	5284,150	62,465	47,364	45,717	38,862	547,629
1973	569,408	364,912	343,847	92,115	71,962	524,695	5591,550	65,442	49,499	47,502	40,919	727,619
1974	603,145	371,000	371,588	97,697	75,274	554,389	5956,340	68,485	51,556	50,096	43,818	891,755
1975	641,353	379,047	403,236	110,210	78,679	582,699	6295,690	72,089	53,379	52,286	46,884	1030,763
1976	677,678	387,457	437,344	127,795	82,154	604,869	6715,690	75,491	56,101	53,457	49,388	1096,207
1977	717,404	393,480	471,435	150,803	84,258	621,495	7006,901	76,009	58,114	54,101	51,098	1128,159
1978	743,442	397,401	503,188	177,104	85,166	638,353	7131,254	77,029	59,022	54,909	52,540	1149,989
1979	774,516	397,881	528,549	208,838	85,654	656,317	7124,891	76,547	60,580	55,741	53,680	1161,941

Продолжение таблицы А.18

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	800,327	395,231	542,406	244,572	84,844	665,468	6877,943	74,549	60,126	55,840	52,359	1163,175
1981	835,025	391,411	556,405	281,452	85,643	665,630	6936,765	76,304	60,770	56,070	54,082	1164,302
1982	868,208	387,208	559,244	319,284	86,608	662,252	7113,198	76,880	61,437	56,549	54,206	1158,645
1983	896,360	391,194	560,127	359,856	86,747	658,223	7325,666	75,840	61,583	56,590	53,815	1151,341
1984	931,711	391,140	558,595	402,601	87,937	662,945	7675,465	78,637	62,424	57,349	53,406	1154,417
1985	971,902	391,021	552,393	450,316	88,960	681,493	7926,181	79,586	62,919	57,738	52,518	1160,162
1986	1000,561	401,723	538,123	498,165	90,634	704,455	8158,230	80,296	63,823	58,596	51,233	1160,791
1987	1036,804	414,413	554,373	541,800	93,140	724,651	8361,844	82,539	65,396	60,600	52,471	1154,340
1988	1075,718	419,835	559,373	582,431	94,225	728,251	8350,732	84,014	66,436	61,717	52,358	1147,872
1989	1089,723	419,564	548,049	620,199	93,594	719,272	8252,801	84,901	66,271	61,412	52,318	1125,089
1990	1088,856	401,205	513,210	643,687	90,060	683,758	7822,348	83,406	64,078	59,547	50,610	1076,639
1991	1075,395	376,694	460,398	657,236	83,634	647,812	7026,972	78,152	59,439	55,285	46,321	1066,874
1992	1038,048	339,301	399,035	653,625	72,110	576,507	5942,537	68,233	51,218	47,304	40,912	1005,730
1993	967,614	314,480	341,138	642,100	62,064	492,195	5040,658	51,309	44,011	43,200	30,895	946,919
1994	902,114	287,063	305,890	620,150	54,196	349,602	4032,185	40,748	39,983	39,113	26,684	912,704
1995	836,239	261,122	283,035	603,557	47,996	160,281	3315,230	30,609	36,033	36,426	24,699	845,807
1996	820,319	251,293	280,909	590,984	48,064	135,363	3510,893	30,915	37,430	37,248	26,053	870,174
1997	821,042	244,774	283,641	588,591	46,629	113,878	3009,373	23,409	37,172	36,153	25,537	898,870
1998	820,397	239,058	292,285	577,209	46,710	129,770	3191,662	25,067	37,157	36,734	26,187	953,879
1999	828,293	235,382	294,878	586,599	46,492	134,900	3543,559	26,076	37,472	36,934	25,735	917,689
2000	855,415	248,612	304,214	590,052	52,608	161,799	4408,336	30,154	42,382	41,503	26,548	977,979
2001	888,636	259,173	331,802	591,601	58,177	172,582	5067,649	34,372	46,839	44,684	27,694	998,341
2002	904,273	267,677	366,975	596,313	59,805	171,243	5447,091	37,571	47,965	46,086	28,367	1032,612
2003	909,704	265,425	403,580	610,120	61,396	178,201	5729,917	40,565	50,122	47,755	29,700	1028,848
2004	933,487	280,092	440,866	628,344	64,233	197,258	5913,848	44,808	52,475	49,569	30,360	1062,129

Продолжение таблицы А.18

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	958,623	291,947	466,691	642,234	67,225	213,809	6046,191	49,988	55,419	50,912	31,811	1144,665
2006	983,596	306,332	470,397	649,716	68,639	233,349	6051,980	52,981	56,793	50,595	33,236	1166,600
2007	1018,436	315,391	475,221	654,956	70,779	262,336	6018,168	57,321	58,601	51,501	35,160	1213,279
2008	1033,616	318,027	482,187	650,881	70,432	271,544	6035,350	58,001	58,360	50,109	35,924	1233,739
2009	1043,279	323,893	480,822	649,229	67,315	235,598	6170,479	49,805	55,947	47,708	36,242	1260,667
2010	1015,236	312,948	485,985	620,625	63,121	154,864	6417,195	45,106	53,190	45,812	36,484	1030,936
2011	1043,682	327,829	491,659	651,007	67,248	193,077	7507,115	55,130	55,993	48,094	36,761	1441,300
2012	1063,708	342,577	496,298	663,350	68,897	201,196	7695,091	60,305	57,535	48,936	37,582	1771,316
2013	1066,409	357,084	500,431	657,665	70,639	197,338	7682,834	65,135	59,377	50,674	38,690	1894,582
2014	1056,754	357,329	498,795	658,592	69,929	182,567	7506,651	67,545	59,243	50,966	39,068	1778,919
2015	1060,895	366,092	503,548	646,707	69,754	146,295	7752,762	66,247	60,869	51,895	38,758	1597,501
2016	1074,604	383,057	508,998	644,693	67,844	133,135	8089,609	58,651	60,496	52,533	39,357	1296,817
2017	1095,018	401,941	524,016	651,156	65,018	138,670	8440,721	52,898	60,994	52,588	39,598	1232,798
2018	1105,331	427,355	531,389	672,888	56,124	155,011	8742,576	52,642	61,391	52,382	38,264	1362,582
2019	1119,142	446,231	563,672	657,078	57,646	148,021	8818,880	51,385	61,944	52,247	39,163	1422,152
2020	1131,241	457,351	582,692	660,566	56,974	142,548	8969,718	50,250	62,483	52,498	39,212	1441,147
2021	1142,975	467,415	603,770	663,557	56,340	137,176	9119,572	49,021	63,022	52,769	39,194	1458,439
2022	1155,028	476,725	625,102	666,598	55,735	131,816	9268,726	47,712	63,562	53,054	39,130	1474,537
2023	1167,049	485,498	645,965	670,026	55,152	126,457	9417,384	46,331	64,102	53,349	39,029	1489,793

Источник: составлено автором

Таблица А.19 – Прогнозирование с использованием 3-й формулы Фишберна

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	268,695	-	-	29,837	319,849	1793,741	-	19,616	18,255	-	-
1958	160,520	280,531	-	13,258	31,104	322,979	1875,884	21,746	20,340	18,715	-	128,783
1959	178,063	291,269	101,919	17,629	33,162	326,702	1978,258	25,228	21,541	19,708	-	136,041
1960	198,520	294,040	117,912	23,379	35,957	327,265	2083,482	28,974	23,305	21,065	-	143,550
1961	220,601	293,329	134,842	30,400	38,978	337,207	2202,024	32,438	25,382	22,750	-	150,646
1962	246,239	294,292	151,331	38,610	41,920	340,526	2343,554	35,248	27,447	24,571	-	155,425
1963	274,640	301,301	167,719	47,662	44,497	338,253	2507,743	37,877	29,368	26,614	24,665	160,709
1964	302,951	312,214	183,867	56,619	46,870	336,763	2696,685	40,423	31,132	28,600	25,924	165,977
1965	330,618	322,925	200,037	64,382	49,439	341,280	2938,388	43,831	33,007	30,678	27,265	173,343
1966	357,065	329,777	216,836	70,553	51,999	354,428	3240,549	47,819	34,878	32,816	28,754	183,068
1967	382,513	332,420	233,865	75,135	54,485	378,791	3591,821	51,334	36,716	34,973	30,535	190,786
1968	409,455	334,093	249,908	78,891	57,261	403,199	3955,573	53,618	38,472	37,447	32,434	200,038
1969	439,991	336,328	265,509	81,809	60,186	427,853	4293,469	55,316	40,309	39,640	34,353	227,927
1970	470,862	342,736	281,374	83,922	63,221	448,082	4639,828	57,246	42,600	41,727	35,877	292,692
1971	502,255	351,078	300,149	85,652	66,368	471,722	4994,606	59,954	45,256	43,737	37,602	418,835
1972	535,077	358,807	321,330	87,670	69,292	501,816	5303,698	62,612	47,510	45,792	38,996	598,537
1973	569,606	365,175	345,476	91,305	72,354	531,238	5625,240	65,679	49,621	47,924	41,289	781,461
1974	604,747	371,981	373,534	99,364	75,713	560,159	5980,334	68,904	51,616	50,275	44,088	938,310
1975	642,231	379,990	405,137	113,318	79,202	585,494	6366,445	72,349	53,774	52,107	47,001	1047,905
1976	678,661	387,707	438,528	132,382	82,212	605,885	6747,245	75,015	56,196	53,212	49,323	1101,311
1977	713,580	393,430	471,546	156,004	83,910	623,127	6979,323	75,862	57,940	53,941	50,969	1128,519
1978	742,521	396,053	501,307	183,462	84,619	640,344	7042,654	76,402	59,041	54,715	52,185	1145,613
1979	772,400	395,457	524,535	215,401	84,726	655,477	6956,494	75,895	59,895	55,314	52,827	1155,845

Продолжение таблицы А.19

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	801,399	392,928	539,864	249,884	84,624	662,062	6831,165	75,140	59,950	55,565	52,712	1158,680
1981	834,650	389,756	552,101	285,637	85,405	660,704	6918,285	76,120	60,549	55,902	53,809	1157,754
1982	866,958	387,830	556,348	323,458	86,132	656,477	7117,507	76,559	61,061	56,249	53,919	1153,424
1983	898,099	389,334	557,043	364,554	86,731	655,720	7395,298	76,767	61,500	56,528	53,624	1151,296
1984	933,167	390,065	554,451	408,849	87,832	665,464	7707,990	78,573	62,194	57,132	53,014	1155,081
1985	970,121	394,448	549,857	456,049	89,233	687,017	7963,427	79,629	62,922	57,807	52,239	1161,793
1986	1003,588	404,997	546,571	502,139	91,219	710,613	8188,085	80,848	64,087	59,066	51,813	1161,206
1987	1038,878	416,047	556,473	545,355	93,388	726,721	8340,215	82,713	65,597	60,903	52,482	1154,192
1988	1070,136	419,890	557,256	584,926	94,215	725,110	8318,469	84,300	66,504	61,764	52,657	1140,394
1989	1084,148	413,671	541,994	618,256	92,755	707,633	8108,898	84,789	65,757	60,964	52,224	1109,664
1990	1082,982	394,340	505,461	639,370	88,148	677,710	7576,532	82,465	62,675	58,072	49,789	1075,907
1991	1063,170	366,942	453,333	647,929	79,913	634,094	6681,415	75,792	56,798	52,663	44,946	1044,416
1992	1019,564	334,380	395,643	642,324	69,038	555,055	5648,003	64,786	49,063	46,136	38,514	984,462
1993	956,831	307,639	344,653	629,684	59,629	443,373	4713,989	50,674	42,768	41,826	31,025	924,495
1994	897,471	282,410	311,713	612,266	52,890	293,330	3898,877	40,382	39,100	38,669	27,439	878,124
1995	850,464	262,570	293,246	598,882	49,042	160,186	3448,641	32,506	37,104	37,214	26,120	848,267
1996	833,139	251,742	289,073	590,174	48,132	130,599	3352,070	29,979	37,522	37,064	26,588	872,889
1997	829,103	244,645	289,671	585,866	47,181	125,913	3148,887	25,565	37,373	36,608	26,265	904,600
1998	830,985	241,250	293,806	581,946	47,596	145,445	3397,231	26,300	37,852	37,277	26,340	932,604
1999	841,959	242,948	297,807	585,765	49,586	157,374	3898,036	27,749	39,636	38,896	26,176	934,474
2000	864,520	253,144	310,138	586,769	54,798	175,155	4662,673	31,247	43,804	42,560	26,857	972,842
2001	887,746	261,562	336,114	589,875	58,853	180,826	5213,791	34,769	47,141	45,184	27,733	996,014
2002	900,939	267,072	369,782	597,899	60,649	180,901	5553,388	37,807	48,769	46,763	28,517	1019,168
2003	912,120	270,873	405,235	613,750	62,282	186,951	5770,749	40,916	50,700	48,212	29,550	1027,944
2004	933,270	282,765	437,637	630,425	64,829	202,899	5918,126	45,180	53,047	49,717	30,488	1063,305

Продолжение таблицы А.19

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	960,406	295,823	458,646	645,083	67,720	223,757	6017,812	50,178	55,737	50,790	31,937	1144,991
2006	987,735	308,247	465,990	651,711	69,433	248,554	5976,281	53,670	57,294	50,851	33,457	1193,167
2007	1013,392	314,810	471,554	651,172	70,169	266,624	5921,843	55,998	58,059	50,630	34,957	1212,727
2008	1025,571	316,883	476,730	644,965	68,550	257,805	5975,432	54,510	56,902	48,861	35,645	1188,600
2009	1029,436	318,074	479,602	636,642	65,731	220,500	6246,079	49,251	54,832	46,985	35,995	1142,279
2010	1025,428	318,093	485,538	632,779	64,477	172,425	6775,392	48,311	53,912	46,466	36,353	1173,625
2011	1044,755	330,926	491,283	653,867	67,332	193,968	7481,306	55,554	56,032	48,121	36,892	1550,410
2012	1058,142	343,927	495,676	661,415	69,136	200,344	7623,709	61,279	57,814	49,402	37,721	1828,307
2013	1060,553	354,111	498,883	657,177	70,627	193,126	7572,373	65,585	59,243	50,721	38,585	1883,284
2014	1057,685	357,974	499,286	650,786	70,162	171,513	7531,385	66,456	59,610	51,274	38,924	1693,378
2015	1064,459	369,257	504,706	644,432	69,075	145,472	7783,593	64,088	60,498	51,973	38,925	1485,543
2016	1077,649	385,752	511,827	646,196	66,633	136,254	8118,436	58,350	60,506	52,362	39,236	1272,204
2017	1094,339	406,348	523,913	655,979	62,391	141,892	8478,570	53,734	60,979	52,449	39,179	1240,662
2018	1107,180	431,566	538,301	665,259	56,662	155,705	8731,442	51,935	61,282	52,186	38,684	1361,691
2019	1119,022	442,632	555,222	662,638	57,059	148,420	8840,235	51,248	61,771	52,272	39,152	1390,194
2020	1130,331	450,688	566,996	668,086	56,449	142,185	8980,389	50,663	62,252	52,509	39,252	1405,471
2021	1141,469	458,264	579,673	673,307	55,856	135,995	9120,097	50,051	62,732	52,755	39,325	1419,975
2022	1152,746	465,498	592,432	678,552	55,277	129,811	9259,488	49,418	63,213	53,007	39,380	1433,936
2023	1164,002	472,488	604,946	683,972	54,707	123,627	9398,652	48,769	63,694	53,264	39,420	1447,516

Источник: составлено автором

Таблица А.20 – Прогнозирование с использованием метода попарных предпочтений

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1957	-	268,825	-	-	31,169	321,753	1803,935	-	20,217	18,547	-	-
1958	166,707	275,098	-	12,964	29,405	316,201	1860,425	20,752	19,745	18,355	-	130,124
1959	181,689	289,312	100,625	17,053	30,806	319,623	1960,609	24,421	20,611	19,208	-	135,947
1960	200,005	294,329	117,006	22,608	33,477	317,607	2065,434	28,488	22,236	20,519	-	141,712
1961	219,756	294,167	134,762	29,578	36,684	329,321	2183,260	32,454	24,360	22,235	-	149,966
1962	243,985	293,281	151,118	37,713	40,101	335,872	2325,446	35,466	26,577	24,068	-	155,015
1963	272,109	299,420	167,495	46,740	43,199	335,213	2493,662	38,245	28,756	26,190	24,469	160,835
1964	300,585	310,274	183,848	55,955	45,802	334,588	2681,712	40,307	30,612	28,250	25,818	166,430
1965	329,113	321,945	199,825	64,023	48,607	338,957	2917,255	43,348	32,555	30,382	27,201	172,770
1966	356,539	330,395	216,694	70,565	51,499	348,748	3215,150	47,619	34,526	32,604	28,677	181,057
1967	382,074	333,266	234,341	75,327	54,010	372,575	3566,447	51,682	36,523	34,744	30,440	190,956
1968	408,217	335,486	250,327	79,309	56,825	396,813	3937,335	53,972	38,399	37,271	32,281	200,797
1969	439,116	335,838	265,925	82,318	59,797	423,474	4276,121	55,375	40,122	39,516	34,422	224,517
1970	470,113	341,579	280,815	84,478	62,697	444,549	4618,032	56,927	42,133	41,658	35,880	272,457
1971	501,319	350,558	299,856	86,247	66,077	467,126	4986,862	60,020	44,986	43,724	37,966	368,304
1972	534,446	358,848	320,933	88,469	69,125	497,879	5297,777	62,518	47,344	45,801	39,020	534,565
1973	569,255	365,060	344,273	91,689	72,055	527,256	5615,610	65,525	49,516	47,842	40,994	720,077
1974	603,838	371,391	372,114	98,562	75,335	556,771	5973,367	68,612	51,590	50,217	43,793	898,842
1975	641,614	379,426	403,778	111,678	78,728	584,064	6345,731	72,214	53,471	52,185	46,862	1052,532
1976	678,044	387,626	437,766	129,961	82,178	606,149	6737,507	75,484	56,099	53,391	49,426	1131,733
1977	715,548	393,557	471,845	153,168	84,442	623,626	6988,179	75,871	58,126	54,141	51,208	1161,265
1978	743,651	397,088	503,057	180,038	85,537	640,622	7071,494	76,831	59,144	54,914	52,627	1177,396
1979	774,262	397,210	527,718	212,039	86,099	657,128	7010,788	76,310	60,605	55,572	53,696	1184,453

Продолжение таблицы А.20

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
1980	801,403	394,530	541,352	247,396	85,446	665,653	6851,264	74,419	60,336	55,806	52,689	1181,399
1981	834,997	390,820	555,028	284,060	86,010	665,726	6927,152	76,320	60,904	56,087	53,969	1178,307
1982	867,440	387,204	557,943	322,224	86,836	662,127	7117,320	76,902	61,513	56,437	54,163	1169,990
1983	897,363	390,453	558,924	363,355	87,021	659,398	7374,361	75,909	61,699	56,644	53,811	1160,042
1984	932,238	390,633	557,382	407,172	88,052	665,386	7696,463	78,769	62,461	57,242	53,330	1160,377
1985	970,538	391,900	551,495	454,910	89,052	683,874	7951,074	79,683	62,978	57,829	52,466	1165,137
1986	1002,068	402,639	538,927	501,944	90,624	706,440	8178,405	80,388	63,866	58,916	51,288	1165,053
1987	1037,739	414,914	555,254	545,038	92,984	724,926	8346,415	82,655	65,364	60,715	52,193	1157,756
1988	1072,654	419,961	559,728	584,545	94,194	727,484	8329,700	84,125	66,405	61,690	52,253	1149,649
1989	1087,999	417,994	547,368	619,770	93,753	715,952	8154,443	84,917	66,262	61,148	52,170	1125,939
1990	1088,047	399,223	511,346	641,373	90,558	684,880	7655,266	83,188	64,144	58,718	50,481	1076,087
1991	1071,728	373,662	457,892	651,988	84,477	644,895	6793,006	77,527	59,596	53,875	46,289	1059,731
1992	1032,026	337,332	396,678	646,805	73,605	571,589	5746,626	67,172	51,708	47,141	40,756	999,929
1993	966,259	311,711	340,084	634,644	63,382	475,706	4819,959	50,156	44,505	42,632	31,000	936,462
1994	900,715	284,741	306,892	615,017	55,036	333,868	3945,922	40,259	40,163	39,042	25,938	897,937
1995	838,829	260,592	286,012	600,824	48,341	171,807	3411,171	30,712	36,212	36,984	24,072	831,660
1996	821,337	250,612	284,687	590,847	47,328	130,968	3392,253	31,783	37,015	36,826	25,577	848,321
1997	819,967	244,099	287,280	587,977	45,859	113,956	3103,855	23,743	36,799	36,234	25,551	880,579
1998	822,639	239,324	294,982	579,566	45,841	128,486	3327,715	25,766	36,879	36,806	26,270	938,557
1999	833,191	237,441	296,873	586,493	45,741	137,287	3781,737	26,689	37,342	37,984	25,978	910,787
2000	858,896	249,981	306,068	587,954	51,152	159,700	4572,526	30,758	41,873	41,684	26,716	963,064
2001	888,380	260,041	333,515	589,559	56,765	170,660	5158,422	34,765	46,264	44,583	27,847	989,522
2002	904,102	267,839	368,507	595,988	59,106	172,284	5514,711	37,721	47,787	46,310	28,572	1024,123
2003	912,600	267,386	404,713	611,645	61,010	179,274	5754,966	40,642	49,986	47,905	29,834	1022,894
2004	934,499	281,253	440,833	629,882	63,884	196,907	5915,906	44,965	52,384	49,560	30,544	1053,089

Продолжение таблицы А.20

год	электроэн.	уголь	нефть	газ естест.	сталь	автомоб. груз.	тракторы для с/х	цемент	гот. прокат	чугун	бензин	автомоб. легковые
	млрд. квт. ч.	млн т.	тыс. т.	млн куб. м.	млн т.	тыс. шт.	тыс. шт.	млн т.	млн т.	млн т.	млн т.	тыс. шт.
2005	959,811	293,359	465,004	644,241	66,957	216,193	6026,935	50,192	55,306	50,794	31,926	1136,842
2006	985,883	307,203	467,970	651,076	68,588	238,134	6000,966	53,089	56,816	50,854	33,357	1164,254
2007	1016,469	315,535	472,662	653,181	70,664	261,667	5953,519	57,322	58,528	50,948	35,232	1207,015
2008	1030,732	317,973	479,706	647,308	70,648	264,865	5996,064	57,402	58,379	49,456	36,055	1230,800
2009	1038,436	322,414	479,158	642,073	68,018	232,495	6224,923	48,448	56,224	47,513	36,347	1260,466
2010	1020,687	314,491	485,045	624,713	64,051	174,576	6667,458	44,975	53,671	46,490	36,534	1044,665
2011	1043,947	328,752	491,155	653,702	67,042	192,357	7480,228	56,385	55,940	48,016	36,783	1406,744
2012	1059,641	342,906	496,007	663,696	68,701	199,453	7643,113	60,909	57,461	49,158	37,561	1770,622
2013	1064,009	356,283	500,168	657,326	70,445	195,137	7607,678	65,442	59,237	50,558	38,668	1923,814
2014	1057,466	357,673	498,739	654,160	70,002	178,399	7528,727	67,449	59,294	51,119	39,109	1815,701
2015	1062,398	367,226	503,787	644,103	69,798	148,379	7775,794	65,660	60,768	51,885	38,829	1623,284
2016	1075,111	384,010	509,624	644,475	68,103	135,050	8109,392	57,811	60,568	52,387	39,322	1304,756
2017	1094,081	403,407	524,619	653,576	65,405	138,822	8466,289	52,680	61,030	52,521	39,575	1205,755
2018	1105,965	428,890	532,825	670,142	57,273	153,311	8734,030	52,936	61,405	52,302	38,365	1330,019
2019	1119,304	445,569	563,607	659,153	57,609	147,661	8835,032	51,468	61,942	52,318	39,061	1419,153
2020	1131,175	456,156	582,539	662,743	56,766	141,774	8979,378	50,606	62,477	52,568	39,062	1435,315
2021	1142,982	466,047	603,554	666,071	55,945	135,945	9123,144	49,719	63,011	52,827	39,005	1450,667
2022	1155,047	475,441	624,859	669,426	55,141	130,122	9266,500	48,817	63,547	53,091	38,903	1465,450
2023	1167,205	484,480	645,733	672,984	54,350	124,299	9409,562	47,906	64,082	53,360	38,761	1479,834

Источник: составлено автором

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(информативное)

Таблица Б – Сравнение точности прогнозирования по используемым статистическим методам

Метод прогнозирования	Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
Электроэнергия, млрд. квт. час.			
MGV	7,735	5,334	0,582
MEKS	29,080	19,761	3,717
MAEKS	28,675	19,707	3,659
ARIMA	20,171	13,437	1,672
1 модель Бейтса и Грейнджера	9,328	5,891	0,703
2 модель Бейтса и Грейнджера	8,442	5,812	0,666
3 модель Бейтса и Грейнджера	10,045	6,425	0,932
4 модель Бейтса и Грейнджера	10,045	6,425	0,932
5 модель Бейтса и Грейнджера	13,468	8,602	1,058
1 модель Грейнджера и Раманатхана	6,808	4,455	0,531
2 модель Грейнджера и Раманатхана	6,799	4,443	0,529
3 модель Грейнджера и Раманатхана	6,806	4,447	0,530
Последовательное объединение	6,941	4,492	0,554
Объединение без ϵ	19,490	13,186	1,592
Объединение с ϵ	20,352	13,810	1,654
Объединение с гребневой регрессией	14,087	9,182	1,234
1 формула Фишберна	15,030	10,216	1,369
2 формула Фишберна	12,385	8,331	1,084
3 формула Фишберна	8,110	5,304	0,652
Метод попарных предпочтений	11,027	7,334	1,006
Коинтеграция	9,337	6,887	0,711
Уголь млн т.			
MGV	5,483	4,130	1,502

Продолжение таблицы Б

Метод прогнозирования	Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
MEKS	18,648	14,086	4,479
MAEKS	14,459	10,877	3,473
ARIMA	12,154	9,159	2,842
1 модель Бейтса и Грейнджера	7,550	4,908	1,578
2 модель Бейтса и Грейнджера	5,817	4,255	1,317
3 модель Бейтса и Грейнджера	5,612	4,156	1,290
4 модель Бейтса и Грейнджера	6,333	4,383	1,373
5 модель Бейтса и Грейнджера	13,418	7,482	2,405
1 модель Грейнджера и Раманатхана	4,315	3,022	0,942
2 модель Грейнджера и Раманатхана	4,315	3,020	0,941
3 модель Грейнджера и Раманатхана	4,251	3,015	0,939
Последовательное объединение	5,387	3,069	1,023
Объединение без ϵ	12,137	9,185	2,850
Объединение с ϵ	11,613	8,737	2,712
Объединение с гребневой регрессией	6,102	4,356	1,382
1 формула Фишберна	9,153	6,925	2,168
2 формула Фишберна	7,738	5,747	1,805
3 формула Фишберна	5,367	3,788	1,203
Метод попарных предпочтений	6,975	5,086	1,606
Нефть, млн т.			
MGV	4,426	2,537	0,634
MEKS	21,753	15,566	4,391
MAEKS	17,634	12,820	4,551
ARIMA	10,859	6,658	1,696
1 модель Бейтса и Грейнджера	6,470	3,591	0,836
2 модель Бейтса и Грейнджера	4,190	2,644	0,600
3 модель Бейтса и Грейнджера	4,282	2,513	0,591
4 модель Бейтса и Грейнджера	4,282	2,555	0,591

Продолжение таблицы Б

Метод прогнозирования	Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
5 модель Бейтса и Грейнджера	7,897	4,840	1,179
1 модель Грейнджера и Раманатхана	3,467	2,200	0,517
2 модель Грейнджера и Раманатхана	3,476	2,187	0,511
3 модель Грейнджера и Раманатхана	3,442	2,222	0,553
Последовательное объединение	3,533	2,229	0,552
Объединение без ϵ	10,498	6,696	1,663
Объединение с ϵ	11,072	7,209	1,800
Объединение с гребневой регрессией	6,107	4,091	1,054
1 формула Фишберна	8,688	6,006	1,532
2 формула Фишберна	6,828	4,527	1,140
3 формула Фишберна	4,062	2,516	0,612
Метод попарных предпочтений	5,900	3,837	0,959
Газ естественный, млрд. куб. м.			
MGV	10,211	5,790	1,639
MEKS	27,236	20,087	7,545
MAEKS	26,431	16,703	7,509
ARIMA	20,949	14,112	5,332
1 модель Бейтса и Грейнджера	13,928	7,364	1,578
2 модель Бейтса и Грейнджера	13,426	6,986	1,404
3 модель Бейтса и Грейнджера	12,863	6,515	1,385
4 модель Бейтса и Грейнджера	13,661	7,138	1,496
5 модель Бейтса и Грейнджера	16,505	8,979	2,162
1 модель Грейнджера и Раманатхана	8,422	5,286	2,227
2 модель Грейнджера и Раманатхана	8,429	5,256	2,220
3 модель Грейнджера и Раманатхана	8,352	5,206	1,817
Последовательное объединение	9,201	5,604	2,323
Объединение без ϵ	21,005	13,978	5,598
Объединение с ϵ	19,265	13,149	4,199

Продолжение таблицы Б

Метод прогнозирования	Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
Объединение с гребневой регрессией	14,806	9,599	2,684
1 формула Фишберна	16,180	10,569	2,880
2 формула Фишберна	14,283	9,080	2,407
3 формула Фишберна	10,926	6,117	1,532
Метод попарных предпочтений	12,380	7,325	2,129
Сталь млн т.			
MGV	2,631	1,275	1,829
MEKS	6,036	4,239	7,805
MAEKS	5,999	4,222	7,739
ARIMA	4,146	2,693	4,458
1 модель Бейтса и Грейнджера	2,730	1,413	2,354
2 модель Бейтса и Грейнджера	2,211	1,315	2,158
3 модель Бейтса и Грейнджера	2,204	1,223	2,027
4 модель Бейтса и Грейнджера	2,295	1,315	2,201
5 модель Бейтса и Грейнджера	3,124	1,918	3,243
1 модель Грейнджера и Раманатхана	1,598	1,005	1,671
2 модель Грейнджера и Раманатхана	1,588	1,000	1,669
3 модель Грейнджера и Раманатхана	1,582	1,021	1,670
Последовательное объединение	0,905	0,565	0,923
Объединение без ε	4,145	2,724	4,579
Объединение с ε	3,999	2,613	4,378
Объединение с гребневой регрессией	1,733	1,059	1,767
1 формула Фишберна	3,270	2,203	3,843
2 формула Фишберна	2,757	1,814	3,150
3 формула Фишберна	1,936	1,207	2,040
Метод попарных предпочтений	3,100	2,106	3,745

Продолжение таблицы Б

Метод прогнозирования	Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
Автомобили грузовые, тыс. шт.			
MGV	19,307	10,843	4,512
MEKS	63,856	44,427	18,650
MAEKS	63,445	43,424	18,335
ARIMA	43,042	23,968	10,024
1 модель Бейтса и Грейнджера	23,870	12,099	5,418
2 модель Бейтса и Грейнджера	21,860	11,625	5,110
3 модель Бейтса и Грейнджера	23,571	11,979	5,254
4 модель Бейтса и Грейнджера	25,964	14,724	6,067
5 модель Бейтса и Грейнджера	31,845	17,193	7,330
1 модель Грейнджера и Раманатхана	15,207	8,727	3,528
2 модель Грейнджера и Раманатхана	15,039	8,685	3,476
3 модель Грейнджера и Раманатхана	15,025	8,705	3,478
Последовательное объединение	12,842	8,377	3,763
Объединение без ε	37,274	21,457	8,735
Объединение с ε	45,726	27,345	10,942
Объединение с гребневой регрессией	19,914	10,483	4,317
1 формула Фишберна	32,129	18,706	7,701
2 формула Фишберна	26,453	14,845	6,123
3 формула Фишберна	18,073	10,430	4,360
Метод попарных предпочтений	24,556	14,318	6,150
Целлюлоза, тыс. т.			
MGV	274,553	139,723	2,567
MEKS	640,039	456,247	10,065
MAEKS	637,854	454,226	9,935
ARIMA	459,202	276,791	5,390
1 модель Бейтса и Грейнджера	302,998	150,374	2,857
2 модель Бейтса и Грейнджера	241,296	135,750	2,575

Продолжение таблицы Б

Метод прогнозирования	Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
3 модель Бейтса и Грейнджера	220,608	122,853	2,370
4 модель Бейтса и Грейнджера	333,218	180,984	4,054
5 модель Бейтса и Грейнджера	319,006	191,002	3,754
1 модель Грейнджера и Раманатхана	171,402	99,063	1,924
2 модель Грейнджера и Раманатхана	171,444	99,420	1,926
3 модель Грейнджера и Раманатхана	170,673	98,285	1,926
Последовательное объединение	189,801	101,898	1,940
Объединение без ϵ	460,338	282,964	5,610
Объединение с ϵ	432,371	260,122	5,099
Объединение с гребневой регрессией	194,404	109,906	2,180
1 формула Фишберна	355,209	230,366	4,777
2 формула Фишберна	299,413	185,549	3,800
3 формула Фишберна	208,603	119,065	2,380
Метод попарных предпочтений	233,960	138,516	2,813
Цемент, млн т.			
MGV	1,711	1,254	1,950
MEKS	5,832	3,991	9,559
MAEKS	5,913	3,895	9,476
ARIMA	3,737	2,422	5,128
1 модель Бейтса и Грейнджера	2,254	1,324	2,576
2 модель Бейтса и Грейнджера	1,659	1,136	2,199
3 модель Бейтса и Грейнджера	1,822	1,152	2,240
4 модель Бейтса и Грейнджера	2,290	1,341	2,613
5 модель Бейтса и Грейнджера	2,714	1,718	3,672
1 модель Грейнджера и Раманатхана	1,299	0,899	1,837
2 модель Грейнджера и Раманатхана	1,299	0,897	1,834
3 модель Грейнджера и Раманатхана	1,295	0,901	1,843
Последовательное объединение	1,581	1,184	1,880

Продолжение таблицы Б

Метод прогнозирования	Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
Объединение без ϵ	3,760	2,474	5,299
Объединение с ϵ	3,538	2,429	5,213
Объединение с гребневой регрессией	3,900	2,511	5,515
1 формула Фишберна	2,601	1,796	3,970
2 формула Фишберна	2,175	1,506	3,286
3 формула Фишберна	1,508	1,020	2,095
Метод попарных предпочтений	1,960	1,319	2,894
Прокат готовый, млн т.			
MGV	1,147	0,805	1,406
MEKS	3,912	2,723	6,701
MAEKS	3,894	2,719	6,674
ARIMA	2,490	1,674	3,557
1 модель Бейтса и Грейнджера	1,334	0,859	1,816
2 модель Бейтса и Грейнджера	1,213	0,816	1,689
3 модель Бейтса и Грейнджера	1,218	0,770	1,618
4 модель Бейтса и Грейнджера	1,683	0,940	2,317
5 модель Бейтса и Грейнджера	1,837	1,220	2,663
1 модель Грейнджера и Раманатхана	0,943	0,632	1,365
2 модель Грейнджера и Раманатхана	0,940	0,629	1,303
3 модель Грейнджера и Раманатхана	0,945	0,631	1,312
Последовательное объединение	1,038	0,705	1,039
Объединение без ϵ	2,352	1,582	3,382
Объединение с ϵ	2,562	1,720	3,762
Объединение с гребневой регрессией	1,355	0,900	1,927
1 формула Фишберна	1,986	1,365	3,114
2 формула Фишберна	1,641	1,122	2,526
3 формула Фишберна	1,112	0,734	1,582
Метод попарных предпочтений	1,737	1,202	2,770

Продолжение таблицы Б

Метод прогнозирования	Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
Чугун, млн т.			
MGV	0,971	0,767	1,934
MEKS	3,448	2,533	6,675
MAEKS	3,427	2,526	6,634
ARIMA	2,312	1,524	3,565
1 модель Бейтса и Грейнджера	1,506	0,854	1,900
2 модель Бейтса и Грейнджера	1,229	0,807	1,787
3 модель Бейтса и Грейнджера	1,406	0,790	1,882
4 модель Бейтса и Грейнджера	1,390	0,784	1,737
5 модель Бейтса и Грейнджера	1,859	1,186	2,865
1 модель Грейнджера и Раманатхана	0,863	0,549	1,236
2 модель Грейнджера и Раманатхана	0,853	0,549	1,235
3 модель Грейнджера и Раманатхана	0,854	0,562	1,253
Последовательное объединение	0,898	0,694	1,609
Объединение без ε	2,331	1,568	3,739
Объединение с ε	2,187	1,459	3,448
Объединение с гребневой регрессией	1,918	1,541	3,738
1 формула Фишберна	1,825	1,266	3,149
2 формула Фишберна	1,523	1,031	2,538
3 формула Фишберна	1,041	0,697	1,624
Метод попарных предпочтений	1,276	0,887	2,182
Бензин, млн т.			
MGV	0,735	0,625	1,360
MEKS	2,499	1,497	4,776
MAEKS	2,476	1,489	4,375
ARIMA	1,918	1,106	3,248

Продолжение таблицы Б

Метод прогнозирования	Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
1 модель Бейтса и Грейнджера	1,312	0,691	1,834
2 модель Бейтса и Грейнджера	0,940	0,548	1,480
3 модель Бейтса и Грейнджера	1,176	0,562	1,573
4 модель Бейтса и Грейнджера	1,337	0,644	1,712
5 модель Бейтса и Грейнджера	1,355	0,798	2,193
1 модель Грейнджера и Раманатхана	0,655	0,460	1,131
2 модель Грейнджера и Раманатхана	0,600	0,402	1,032
3 модель Грейнджера и Раманатхана	0,622	0,406	1,077
Последовательное объединение	0,750	0,524	1,633
Объединение без ε	3,789	1,526	2,895
Объединение с ε	1,904	1,155	3,097
Объединение с гребневой регрессией	0,833	0,520	1,399
1 формула Фишберна	3,548	1,227	2,208
2 формула Фишберна	1,124	0,661	1,829
3 формула Фишберна	0,755	0,477	1,303
Метод попарных предпочтений	1,148	0,681	1,897
Автомобили легковые, тыс. шт.			
MGV	90,373	53,661	4,844
MEKS	210,295	121,854	7,73
MAEKS	216,839	122,524	7,68
ARIMA	178,687	111,299	6,99
1 модель Бейтса и Грейнджера	145,253	66,607	5,408
2 модель Бейтса и Грейнджера	153,511	74,131	5,996
3 модель Бейтса и Грейнджера	146,078	66,003	6,723
4 модель Бейтса и Грейнджера	149,139	75,968	6,945
5 модель Бейтса и Грейнджера	149,802	74,670	6,541
1 модель Грейнджера и Раманатхана	83,667	45,411	4,31
2 модель Грейнджера и Раманатхана	84,096	46,208	4,191

Продолжение таблицы Б

Метод прогнозирования	Среднее квадратическое отклонение	Среднее абсолютное отклонение	Среднее относительное отклонение, %
3 модель Грейнджера и Раманатхана	82,714	47,546	4,067
Последовательное объединение	93,874	52,323	7,612
Объединение без ϵ	157,598	96,960	7,364
Объединение с ϵ	181,646	103,666	7,256
Объединение с гребневой регрессией	101,751	50,952	6,106
1 формула Фишберна	141,947	75,426	6,975
2 формула Фишберна	127,191	66,608	6,876
3 формула Фишберна	102,336	51,169	6,11
Метод попарных предпочтений	131,482	68,733	5,793

Источник: составлено автором

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(информативное)

Таблица В.1 – Весовые коэффициенты, полученные по методам Бейтса и Грейнджера, используемые для прогнозирования.

Метод	1 метод	2 метод	3 метод	4 метод	5 метод
Электроэнергия, млрд. кв. час					
MGV	0,683	0,692	0,692	0,697	0,370
MEKS	0,080	0,085	0,085	0,083	0,194
MAEKS	0,065	0,095	0,095	0,091	0,325
ARIMA	0,171	0,128	0,128	0,129	0,111
Уголь, млн т.					
MGV	0,991	0,638	0,667	0,932	0,713
MEKS	0,002	0,143	0,130	0,025	0,078
MAEKS	0,004	0,101	0,093	0,020	0,098
ARIMA	0,003	0,118	0,109	0,023	0,111
Нефть, млн т.					
MGV	0,730	0,818	0,886	0,574	0,248
MEKS	0,210	0,105	0,081	0,379	0,538
MAEKS	0,027	0,031	0,012	0,022	0,088
ARIMA	0,033	0,046	0,022	0,026	0,126

Продолжение таблицы В.1

Метод	1 метод	2 метод	3 метод	4 метод	5 метод
Газ естественный, млрд. куб. м.					
MGV	0,445	0,567	0,515	0,449	0,313
MEKS	0,173	0,147	0,158	0,172	0,285
MAEKS	0,167	0,145	0,154	0,166	0,197
ARIMA	0,215	0,141	0,174	0,214	0,206
Сталь, млн т.					
MGV	0,671	0,614	0,670	0,671	0,337
MEKS	0,106	0,105	0,106	0,106	0,178
MAEKS	0,106	0,105	0,106	0,106	0,178
ARIMA	0,117	0,176	0,118	0,117	0,308
Автомобили грузовые, тыс. шт.					
MGV	0,318	0,717	0,755	0,624	0,352
MEKS	0,072	0,111	0,084	0,095	0,171
MAEKS	0,072	0,111	0,084	0,095	0,171
ARIMA	0,538	0,062	0,077	0,185	0,306
Целлюлоза, тыс. т.					
MGV	0,680	0,785	0,785	0,775	0,447
MEKS	0,089	0,078	0,078	0,080	0,184
MAEKS	0,089	0,078	0,078	0,080	0,184
ARIMA	0,142	0,058	0,059	0,065	0,185
Цемент, млн т.					
MGV	0,717	0,659	0,693	0,588	0,635
MEKS	0,012	0,025	0,018	0,016	0,098
MAEKS	0,040	0,071	0,052	0,052	0,086
ARIMA	0,230	0,245	0,237	0,343	0,181

Продолжение таблицы В.1

Метод	1 метод	2 метод	3 метод	4 метод	5 метод
Прокат готовый, млн т.					
MGV	0,726	0,603	0,611	0,602	0,429
MEKS	0,124	0,078	0,076	0,081	0,138
MAEKS	0,124	0,078	0,076	0,081	0,138
ARIMA	0,025	0,241	0,237	0,235	0,294
Чугун, млн т.					
MGV	0,438	0,573	0,624	0,586	0,554
MEKS	0,042	0,075	0,066	0,075	0,139
MAEKS	0,042	0,075	0,066	0,075	0,139
ARIMA	0,478	0,278	0,243	0,264	0,169
Бензин, млн т.					
MGV	0,692	0,586	0,730	0,692	0,322
MEKS	0,102	0,112	0,088	0,102	0,293
MAEKS	0,100	0,091	0,086	0,100	0,186
ARIMA	0,106	0,211	0,096	0,106	0,199
Автомобили легковые, тыс. шт.					
MGV	0,720	0,569	0,646	0,712	0,322
MEKS	0,060	0,152	0,106	0,064	0,249
MAEKS	0,067	0,129	0,098	0,070	0,136
ARIMA	0,153	0,150	0,150	0,154	0,294

Источник: составлено автором

Таблица В.2 – Весовые коэффициенты, полученные по методам Грейнджера и Раманатхана, использующиеся для прогнозирования.

Метод	1 метод	2 метод	3 метод
Электроэнергия, млрд. кв. час			
MGV	1,051	1,050	1,055
MEKS	-0,058	-0,057	-0,060
MAEKS	0,041	0,041	0,045
ARIMA	-0,034	-0,034	-0,038
Уголь, млн т.			
MGV	1,120	1,120	1,141
MEKS	-0,007	-0,008	-0,022
MAEKS	-0,084	-0,084	-0,116
ARIMA	-0,029	-0,028	0,013
Нефть, млн т.			
MGV	0,995	0,992	1,006
MEKS	-0,049	-0,047	-0,057
MAEKS	0,061	0,059	0,062
ARIMA	-0,006	-0,004	-0,008
Газ естественный, млрд. куб. м.			
MGV	1,274	1,271	1,291
MEKS	0,029	0,032	0,027
MAEKS	-0,062	-0,060	-0,080
ARIMA	-0,240	-0,243	-0,234

Продолжение таблицы В.2

Метод	1 метод	2 метод	3 метод
Сталь, млн т.			
MGV	1,127	1,126	1,153
MEKS	-0,023	-0,025	-0,154
MAEKS	0,014	0,016	0,116
ARIMA	-0,118	-0,118	-0,100
Автомобили грузовые, тыс. шт.			
MGV	0,976	0,974	0,992
MEKS	-0,225	-0,248	-0,291
MAEKS	0,108	0,132	0,160
ARIMA	0,143	0,142	0,152
Целлюлоза, тыс. т.			
MGV	1,117	1,116	1,128
MEKS	0,020	0,016	-0,136
MAEKS	-0,038	-0,034	0,105
ARIMA	-0,098	-0,098	-0,088
Цемент, млн т.			
MGV	0,995	0,994	1,006
MEKS	0,005	0,007	-0,006
MAEKS	0,141	0,143	0,135
ARIMA	-0,141	-0,144	-0,128
Прокат готовый, млн т.			
MGV	1,046	1,045	1,073
MEKS	-0,084	-0,086	-0,262
MAEKS	0,030	0,032	0,183
ARIMA	0,008	0,009	0,020

Продолжение таблицы В.2

Метод	1 метод	2 метод	3 метод
Чугун, млн т.			
MGV	1,111	1,110	1,136
MEKS	0,013	0,011	-0,175
MAEKS	-0,024	-0,022	0,137
ARIMA	-0,100	-0,099	-0,086
Бензин, млн т.			
MGV	1,059	1,057	1,085
MEKS	-0,116	-0,115	-0,139
MAEKS	0,086	0,086	0,098
ARIMA	-0,029	-0,028	-0,033
Автомобили легковые, тыс. шт.			
MGV	1,244	1,235	1,248
MEKS	-0,306	-0,302	-0,292
MAEKS	0,051	0,053	-0,006
ARIMA	0,019	0,013	0,088

Источник: составлено автором

Таблица В.3 – Весовые коэффициенты, полученные с применением гребневой регрессии уравнения, используемые для прогнозирования.

	MVG	MEKS	MAEKS	ARIMA
Электроэнергия, млрд. кв. час	0,488	0,143	0,125	0,248
Уголь, млн т.	0,736	0,105	0,012	0,147
Нефть, млн т.	0,719	0,163	0,074	0,044
Газ естественный, млрд. куб. м.	0,504	0,190	0,062	0,244
Сталь, млн т.	0,936	0,017	0,007	0,040
Автомобили грузовые, тыс. шт.	0,696	0,026	0,025	0,253
Целлюлоза, тыс. т.	0,881	0,009	0,007	0,103
Цемент, млн т.	0,332	0,174	0,178	0,316
Прокат готовый, млн т.	0,614	0,009	0,011	0,366
Чугун, млн т.	0,422	0,008	0,202	0,347
Бензин, млн т.	0,747	0,038	0,023	0,192
Автомобили легковые, тыс. шт.	0,827	0,016	0,034	0,123

Источник: составлено автором

Таблица В.4 – Весовые коэффициенты, полученные с применением метода попарных предпочтений, используемые для прогнозирования.

	MVG	MEKS	MAEKS	ARIMA
Электроэнергия, млрд. кв. час	0,651	0,071	0,151	0,127
Уголь, млн т.	0,620	0,079	0,125	0,176
Нефть, млн т.	0,587	0,055	0,093	0,265
Газ естественный, млрд. куб. м.	0,695	0,074	0,091	0,140
Сталь, млн т.	0,502	0,027	0,318	0,153
Автомобили грузовые, тыс. шт.	0,638	0,016	0,196	0,150
Целлюлоза, тыс. т.	0,732	0,031	0,079	0,157
Цемент, млн т.	0,591	0,095	0,130	0,184
Прокат готовый, млн т.	0,536	0,033	0,238	0,194
Чугун, млн т.	0,705	0,016	0,171	0,109
Бензин, млн т.	0,555	0,085	0,204	0,156
Автомобили легковые, тыс. шт.	0,548	0,123	0,203	0,127

Источник: составлено автором

Таблица В.5 – Весовые коэффициенты, полученные с применением формул Фишберна, используемые для прогнозирования (для всех временных рядов одинаковые весовые коэффициенты).

	MVG	MEKS	MAEKS	ARIMA
1 формула Фишберна	0,400	0,100	0,200	0,300
2 формула Фишберна	0,533	0,133	0,067	0,267
3 формула Фишберна	0,821	0,029	0,029	0,121

Источник: составлено автором

Таблица В.6 – Весовые коэффициенты, полученные с применением нормировки без константы, используемые для прогнозирования.

	MVG	MEKS	MAEKS	ARIMA
Электроэнергия, млрд. кв. час	0,889	0,048	0,034	0,028
Уголь, млн т.	0,903	0,006	0,068	0,022
Нефть, млн т.	0,900	0,043	0,054	0,004
Газ естественный, млрд. куб. м.	0,791	0,020	0,038	0,151
Сталь, млн т.	0,876	0,019	0,013	0,091
Автомобили грузовые, тыс. шт.	0,651	0,166	0,088	0,095
Целлюлоза, тыс. т.	0,883	0,012	0,027	0,077
Цемент, млн т.	0,772	0,006	0,111	0,112
Прокат готовый, млн т.	0,892	0,073	0,027	0,007
Чугун, млн т.	0,893	0,009	0,018	0,080
Бензин, млн т.	0,822	0,089	0,067	0,021
Автомобили легковые, тыс. шт.	0,770	0,188	0,033	0,008

Источник: составлено автором

Таблица В.7 – Весовые коэффициенты, полученные с применением нормировки с константой, используемые для прогнозирования.

	MVG	MEKS	MAEKS	ARIMA
Электроэнергия, млрд. кв. час	0,899	0,001	0,080	0,020
Уголь, млн т.	0,899	0,058	0,001	0,043
Нефть, млн т.	0,872	0,001	0,090	0,037
Газ естественный, млрд. куб. м.	0,767	0,140	0,093	0,001
Сталь, млн т.	0,844	0,063	0,092	0,001
Автомобили грузовые, тыс. шт.	0,613	0,001	0,191	0,196
Целлюлоза, тыс. т.	0,871	0,082	0,047	0,001
Цемент, млн т.	0,721	0,097	0,182	0,001
Прокат готовый, млн т.	0,840	0,001	0,088	0,071
Чугун, млн т.	0,864	0,080	0,056	0,001
Бензин, млн т.	0,801	0,001	0,138	0,060
Автомобили легковые, тыс. шт.	0,696	0,001	0,160	0,143

Источник: составлено автором