

Посвящается XX-летию конференции

Мягкие вычисления и измерения.

**Прикладные информационные
технологии и системы**

Под редакцией проф. С.В. Прокопчиной

Том II



Москва

Издательский дом
«НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА»

2017

УДК 519.6
ББК В 19л0 +3 965.07л0
М 43

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Кондрашкова Галина Анатольевна

*доктор технических наук, Санкт-петербургский национальный
исследовательский университет информационных технологий,
механики и оптики*

Котельников Валерий Григорьевич

*доктор технических наук, Финансовый университет
при Правительстве Российской Федерации*

АВТОРСКИЙ КОЛЛЕКТИВ:

*А.А. Аверкин, В.Б. Гисин, Е.С. Волкова, Ю.В. Ефимов, А.О. Недосекин,
З.И. Абдулаева, Е.И. Рейшахрит, А.Н. Козловский
А.В. Спесивцев, М.Ю. Шестопалов, Г.А. Щербаков*

Мягкие вычисления и измерения.

М 43

Прикладные информационные технологии и системы:
монография. Том II / под ред. проф. С.В. Прокопчиной. – М.:
ИД «НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА», 2017. – 414 с.

ISBN 987-5-9909931-9-8

Рассмотрено применение нечётких множеств и мягких вычислений в экономике и финансах, нечётко-логическая система сбалансированных показателей и оценка экономического риска, чистый приведенный доход и внутренняя норма доходности денежных потоков с нечетко определенными платежами. Кроме этого, проанализированы мягкие технологии нормирования на промышленных предприятиях в условиях неопределенности, взаимодействие циклов различной длительности в процессе экономического развития проблемы управления экономикой в условиях полицикличности и мягкие измерения и мягкие вычисления при моделировании состояния сложных объектов на базе экспертных знаний.

Монография предназначена для научных работников, аспирантов, студентов и других специалистов работающих в сфере мягких вычислений и измерений, в области создания методов и средств искусственного интеллекта.

**УДК 519.6
ББК В 19л0 +3 965.07л0**

ISBN 987-5-9909931-9-8

© Коллектив авторов, 2017

© ИД «НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА», 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Разработка методов восстановления систем управления	7
Введение	7
1.1. Интегрированный подход к разработке систем отказоустойчивого управления	16
1.2. Задачи разработки методов восстановления систем управления	20
1.3. Метод топологического синтеза восстановленных систем	24
1.4. Структурно-параметрический синтез восстановленных систем	28
1.5. Параметрическая оптимизация и анализ восстановленных систем	46
1.6. Синтез и восстановление сложных систем управления	52
1.7. Синтез логики принятия решений о реконфигурировании	65
1.8. Разработка средств компьютерной имитации систем отказоустойчивого управления	72
Список литературы	79
Глава 2. Применение нечётких множеств и мягких вычислений в экономике и финансах (обзор)	100
Введение	100
2.1. Экономика и финансы – специфические объекты научного исследования	101
2.2. Первые шаги научной школы (1999–2008)	104
2.5. Что же дальше? Вместо заключения по главе 2	130
Список литературы	131
Глава 3. Нечётко-логическая система сбалансированных показателей (НЛ ССП) и оценка экономического риска	139
Введение	139
3.1. Моделирование НЛ ССП	139
3.2. Моделирование рисков	148
Заключение	153
Список литературы	153

Глава 4. Чистый приведенный доход и внутренняя норма доходности денежных потоков с нечетко определенными платежами	155
Введение	155
4.1. Нечеткие величины и операции над ними	159
4.2. Внутренняя норма доходности инвестиционных проектов с нечетко определенными платежами	164
4.3. Суммирование нечетко определенных платежей с учетом зависимости	175
4.4. Цена информации в задачах оценки инвестиционных проектов с нечетко определенными денежными потоками	181
4.4.1. Мера неопределенности нечетких величин	182
4.4.2. Цена информации при выборе инвестиционного проекта с нечетко определенными платежами по критерию чистого приведенного дохода	185
Заключение	195
Список литературы	196
Глава 5. Мягкие технологии нормирования на промышленных предприятиях в условиях неопределенности	200
5.1. Классификация факторов неопределенности среды и оценка их влияния на деятельность предприятий	200
5.2. Применение регуляризирующего байесовского подхода для нормирования нормирование труда на предприятиях в условиях неопределенности	207
5.3. Особенности нормирования труда на судостроительных предприятиях	218
5.4. Методологические подходы к нормированию труда на судостроительных предприятиях в условиях неопределенности	224
Глава 6. Взаимодействие циклов различной длительности в процессе экономического развития: проблемы управления экономикой в условиях полициклическости	250
Введение	250
6.1. Методологические основы изучения экономических циклов различной длительности	252
6.2. Содержание и взаимосвязь экономических циклов различной длительности: полициклическая модель экономического развития	261
6.3. Источники формирования экономических циклов различной длительности: количественные и качественные процессы в экономике	278

6.4. Анализ и Прогнозирование в условиях полицикличности экономического развития: возможности и ограничения ...	295
Заключение	311
Список литературы	311
Глава 7. Мягкие измерения и мягкие вычисления при моделировании состояния сложных объектов на базе экспертных знаний	317
7.1. Проблемы моделирование сложных объектов в условиях неопределенности	317
7.1.1. Особенности сложных объектов и систем	317
7.1.2. Сложность как объект управления	321
7.1.3. Представление о накоплении знаний и выработке решений	323
7.1.4. Что мы знаем о знаниях	326
7.2. Эксперт как «интеллектуальная информационно- диагностическая система»	329
7.3. Теоретические исследования для построения логико- лингвистических моделей	334
7.3.1. Направления исследований	334
7.3.2 Методические и методологические основы синтеза логико-лингвистических моделей оценивания состояния СлО на основе ЭЗ	346
7.4. Успехи научного направления	346
7.5. Как представляется дальнейшее применение и развитие направления	355
Заключение	356
Список литературы	356
Глава 8. Нечеткие гибридные модели поддержки принятия решений	366
8.1. Методы моделирования слабоструктурированной ситуации в гибридных системах поддержки принятия решений	366
8.1.1. Иерархическая модель	366
8.1.2. Когнитивное моделирование	368
8.1.3. Многокритериальное ранжирование альтернатив ...	369
Заключение	370
8.2. Поддержка принятия решений в слабо структурированных ситуациях на основе нечеткой иерархической модели	371

8.2.1. Методы и алгоритмы построения и анализа нечеткой иерархической модели слабо структурированной ситуации	373
8.2.2. Методы и алгоритмы построения и анализа модели нечеткого многокритериального ранжирования альтернатив	377
8.2.3. Методология построения интегрированной модели слабо структурированной ситуации на основе нечеткой иерархической модели и нечеткого многокритериального ранжирования альтернатив ...	382
Заключение	385
Список литературы	386
8.3. Принятие решений в когнитивной экономике	387
8.3.1. Структура проблемной области	387
8.3.2. Интеллектуальные системы в экономике	390
8.3.3. Управление знаниями	393
8.3.4. Когнитивная экономика	394
Список литературы	402
Информация об авторах	405

ГЛАВА 1

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

М.Ю. Шестопалов

Введение

Современные технические системы и технологические объекты оснащаются все более сложными средствами управления, позволяющими поддерживать режимы нормального функционирования и повышать эффективность процессов при соблюдении требований безопасности. С усложнением систем растет и вероятность неисправностей, которые могут привести к отказам оборудования, остановке производства и авариям.

Потребности практики, а также эволюция принципов адаптации и развитие технической диагностики привели к идее построения систем управления, которые в случае неисправности сохраняют временную работоспособность и не допускают развития ситуации до отказов. Проблему обеспечения отказоустойчивости делают актуальной, по меньшей мере, два аспекта: во-первых, управление небезопасными установками, работающими вблизи критических режимов; во-вторых, управление процессами производства дорогостоящих продуктов, когда отказы приводят к существенным экономическим потерям.

Свойство системы управления (СУ) полностью или частично восстанавливать работоспособность в автоматическом режиме при неисправности ее элементов называется *отказоустойчивостью* [34], [44]. Отказоустойчивые системы сохраняют способность к достижению цели управления с приемлемым качеством процессов, прежде всего, с сохранением фундаментального свойства устойчивости движений.

В последние десятилетия по тематике толерантности СУ к неисправностям (англ. *Fault-Tolerant Control System – FTCS*) опубликовано

большое число научных работ, монографий и материалов конференций [34, 44, 145–148, 153, 156, 166, 168, 175–177, 180–184, 190, 192, 202, 205–209, 211, 213, 222, 230, 234, 235, 243, 249]. В обзорных статьях [34, 44] В.М. Глумова, С.Д. Землякова, В.Ю. Рутковского и А.В. Силаева дано определение понятия отказоустойчивости и обсуждается связь этого понятия с надежностью, работоспособностью и живучестью. Отмечается, что понятие «отказоустойчивость» обычно используют в вычислительных мультипроцессорных системах, однако его начинают применять и к непрерывным системам управления.

Современное состояние проблемы толерантности СУ можно оценить по публикациям таких специалистов как R. Isermann, M. Blanke, M. Staroswiecki, Y. Zhang, M. Witczak, J.M. Maciejowski, R. Patton, P. Frank, J. Korbicz, J. Kościelny и др. За последние десятилетия, подавляющее большинство исследований по реконфигурируемым СУ проводится зарубежными учеными, в публикациях которых практически отсутствуют ссылки на работы российских ученых. Научное направление, связанное с разработкой теоретических и прикладных основ отказоустойчивого управления техническими объектами, в нашей стране развито недостаточно.

Большинство исследований по проблематике отказоустойчивости управления является объектно-ориентированным и связано с авиационной техникой [44, 142, 149–151, 168, 180, 182, 190, 195–197, 199, 200, 202]. Значительное число публикаций посвящено отказоустойчивости управления в энергетике [141, 152, 156, 171, 183, 192, 204, 221, 234] и в управлении подвижными объектами [148, 166, 175, 177, 179, 198, 211, 232]. Вместе с тем, отсутствуют ссылки на разработки по отказоустойчивости СУ сложными техническими объектами и технологическими процессами в металлургической, нефтехимической, электротехнической и электронной промышленности, других важнейших отраслях народного хозяйства.

Не вызывает сомнений существование общих закономерностей, присущих системам отказоустойчивого управления (СОУ) различного назначения. Отсюда следует вывод о целесообразности разработки объектно-независимой теории и методов отказоустойчивого управления. Это предопределяет актуальность проблемы разработки теоретических и прикладных основ построения СОУ, ориентированных на *классы математических моделей* систем, на модели и методы, инвариантные к конкретике объектов и систем управления.

Адекватное описание неисправностей связано с резкими и значительными изменениями параметров, структур операторов и топологии математических моделей систем. «Пассивные» способы обеспечения отказоустойчивости по условиям малой чувствительности и параметрической инвариантности [25–28, 57, 71, 95, 99, 104, 137], синтез робастных и интервальных систем [21, 79, 80, 107, 108] имеют ограниченные возможности. Методы, структуры и алгоритмы адаптивного управления (см., например, [13, 15, 75, 80, 81, 95, 105]) даны в трудах Я.З. Цыпкина, А.А. Красовского, В.А. Якубовича, Л.А. Растригина, В.Н. Фомина, А.Л. Фрадкова, В.Ю. Рутковского, В.В. Солодовникова, А.Г. Ивахненко, Р.М. Юсупова, В.О. Никифорова и др., а также в работах многих зарубежных исследователей. Развиваются идеи и методы построения систем с обучаемыми многослойными нейронными сетями, выполняющими функцию адаптивного регулятора [102]. Вместе с тем, адаптация с использованием текущей идентификации и подстройки параметров регуляторов может компенсировать только медленные изменения характеристик объектов и систем.

Системы управления промышленными объектами рассчитаны на стабилизацию заданных режимов и ослабление последствий постоянно действующих возмущений *номинальной*, «штатной» среды объекта. Традиционные методы проектирования не гарантируют функционирование СУ при неисправностях – чрезвычайно *редких событиях*, которые вызывают внезапные и существенные изменения характеристик элементов. В том случае, когда потенциальные неисправности могут привести к отказам и авариям со значительными экономическими или катастрофическими последствиями, оправдываются затраты на реализацию специальных мер по обеспечению отказоустойчивости.

Современные системы управления представляют собой сложные *информационно-алгоритмические* комплексы. В соответствии с этой концепцией неисправности следует рассматривать как существенные изменения условий получения и передачи информации о состоянии объекта и ее обработки для принятия и исполнения управляющих решений. Несвоевременное устранение неисправностей или недостаточное ослабление их последствий способно привести к неполному выполнению компонентами СУ своих функций (отказам), что недопустимо ухудшает процессы и делает невозможным достижение цели управления.

Пассивные способы обеспечения отказоустойчивости СУ по условиям малой чувствительности и параметрической инвариантности, синтез робастных и интервальных систем, а также адаптивное управление имеют ограниченные возможности ослабления последствий неисправностей и недопущения отказов. Необходимы *активные* средства, основанные на диагностировании и радикальных мерах восстановления – реструктуризации и реконфигурировании неисправных СУ. К системам активного обеспечения отказоустойчивости наиболее близки самоорганизующиеся СУ, в которых в соответствии с изменениями внешней среды меняется структура, организация системы [94, 105].

Отказоустойчивость СУ достигается за счет *избыточности* – аппаратной (резервирование) или/и программной (алгоритмической). Важнейшей задачей проектирования СОУ является выбор рационального соотношения двух видов избыточности, поиск компромисса между ними. Предпочтение следует отдать алгоритмическому способу, более позднее развитие которого объясняется тем, что соответствующие методы достаточно сложны, а для их реализации требуются высокопроизводительные вычислительные средства [34]. Цифровой характер сигналов, быстроедействие и большой объем памяти устройств современных систем позволяют восстанавливать неисправные СУ программным способом, хранить множество вариантов реконфигурирования и реструктуризации СУ с потенциальными неисправностями.

Современные СУ с позиций обеспечения активной отказоустойчивости алгоритмическими средствами характеризуются рядом особенностей:

- представляют совокупности взаимодействующих подсистем, которые должны удовлетворять разнообразным требованиям к динамике (устойчивость, инвариантность к возмущениям, воспроизведение заданий) подсистем и систем в целом;
- имеют нетиповые структуры (многоконтурность, многосвязность, иерархичность организации), что делает нетривиальной задачи диагностирования и локализации неисправностей и оптимизацию средств восстановления;
- снабжены большим количеством измерительных элементов и исполнительных механизмов, что создает множество вариантов реконфигурирования топологии информационных связей, перестройки структур алгоритмов и подстройки параметров, т.е. активной отказоустойчивости за счет алгоритмической избыточности.

Необходимо развивать методы разработки СОУ – нового типа СУ техническими объектами гражданского назначения, для которого не накоплен достаточный опыт эксплуатации и практически отсутствуют аналоги и прототипы. Это ставит перед исследователями, инженерами и проектировщиками ряд задач, типичных для проблематики управления, но обладающих принципиальной новизной. Следует развивать инновационные подходы к проектированию систем отказоустойчивого управления.

Проблема отказоустойчивости управления оказывается одним из приоритетных направлений современной теории управления техническими системами и технологическими процессами.

Очевидна **актуальность** исследований по развитию теории и прикладных методов разработки систем отказоустойчивого управления.

Целью диссертации является разработка методологии, моделей и методов построения систем отказоустойчивого управления техническими объектами и технологическими процессами.

Задачи, решение которых обеспечивает достижение поставленной цели, можно сгруппировать следующим образом.

1. Системный анализ проблемы отказоустойчивости управления, принятие базовых концепций и обоснование принципов решения проблемы, формализация постановок задач и выбор методов решений с помощью современных инструментальных средств.

2. Выбор адекватных задачам отказоустойчивого управления математических моделей систем со сложной структурой, ориентированных на классы систем и инвариантных к конкретике объектов.

3. Разработка методов анализа фундаментальных свойств диагностируемости и восстанавливаемости систем управления.

4. Разработка алгоритмов обнаружения, локализации и идентификации системных и сигнальных неисправностей систем управления на базе методов искусственного интеллекта.

5. Разработка методов топологического, структурного и параметрического синтеза восстановленных систем управления по требованиям устойчивости и инвариантности.

6. Разработка методов синтеза супервизоров – управляющих устройств вышележащих уровней иерархии, принимающих решения о реконфигурировании неисправных систем.

7. Разработка системы отказоустойчивого управления технологическим процессом нанесения композиционных покрытий в вакууме.

Основные подходы к решению поставленных задач:

- исследуются и разрабатываются структурированные модели СУ, обеспечивающие достаточную глубину локализации неисправностей;
- теоретико-графовый подход к моделированию, позволяющий связать свойства устойчивости и инвариантности к возмущениям со структурой (топологией) СУ;
- комплексно-частотная область представления моделей и характеристик СУ;
- интеллектуализация плохо формализуемых процедур диагностирования и классификации технического состояния СУ;
- применение современных инструментальных средств расчета и компьютерной имитации.

Методы исследования. Используются модели и методы теории управления, линейной алгебры и математического анализа, методы теории сигнальных графов и структурной теории чувствительности, дискретной математики, методы искусственного интеллекта и теории конечных автоматов. Расчеты и компьютерное моделирование выполняются в среде *MATLAB/Simulink* и ее инструментальных средств, топологический анализ систем со сложной структурой проводится с помощью программы *CLASSiC*.

Основные научные результаты работы:

1. Методология построения систем отказоустойчивого управления техническими объектами и технологическими процессами.
2. Структурированные модели объектов и систем отказоустойчивого управления.
3. Топологические и матричные условия диагностируемости и восстанавливаемости систем управления со сложной структурой и критерии проверки их выполнения.
4. Методы ранжирования неисправностей, выбора точек измерений и оценки информативности диагностических признаков.
5. Методы обнаружения и локализации неисправностей на базе искусственных нейронных сетей и нечетких механизмов логического вывода.
6. Методы топологического и структурно-параметрического синтеза реконфигурированных систем в комплексно-частотной области.
7. Методика синтеза логики принятия решений управляющих устройств координирующего и супервизорного уровней.

Новизна научных результатов:

1. Методология построения систем отказоустойчивого управления основана на оригинальной системе концепций, базирующейся на принципах системного подхода. Предлагаемая методология ориентирована на класс математических моделей, что позволяет развить общий подход к обеспечению отказоустойчивости систем управления различными объектами.

2. Структурированные модели систем управления техническими объектами, в отличие от моделей со свернутой или типовой структурой, обеспечивают требуемую глубину локализации неисправностей, позволяют обосновать выбор точек измерений и средств восстановления.

3. Фундаментальные свойства объектов отказоустойчивого управления – условия диагностируемости и восстанавливаемости структурно-сложных систем – предложены впервые. Новыми являются топологические критерии проверки их выполнения путем анализа связности ориентированных графов, а также алгебраические (матричные) условия обнаружения, локализации и идентификации неисправностей в виде ранговых критериев, позволяющие локализовать и идентифицировать сигналы неисправностей.

4. Степень влияния неисправностей на качество процессов управления впервые предложено оценивать по модулям относительных функций чувствительности определителей и передач сигнальных графов, что позволяет формировать информационную структуру подсистем диагностирования по частотным характеристикам каналов передачи сигналов.

5. Оригинальные обучаемые *Neuro*- и *Fuzzy*-классификаторы позволяют обнаруживать и локализовать системные неисправности параметрического и структурного ранга по диагностическим признакам разных категорий – выборкам данных и их статистик, по коэффициентам идентифицированных моделей или собственным значениям.

6. Комплексно-частотный метод синтеза восстановленных систем управления реализует эволюционный подход, заключающийся в последовательном формировании топологии, выборе структур операторов и оптимизации параметров.

7. Разработанные дискретно-событийные модели подсистем отказоустойчивого управления в виде асинхронных конечных автоматов типа Мура сводят синтез управляющих устройств к формированию входного и выходного алфавитов, таблиц переходов и графов автоматов.

Достоверность научных результатов подтверждается принятием обоснованной совокупности концепций и принципов системного подхода к построению математических моделей систем отказоустойчивого управления (СОУ), корректностью формальных выкладок при разработке методов анализа, подтверждением упрощающих гипотез результатами многочисленных компьютерных экспериментов. Результаты разработки СОУ многостадийным процессом нанесения тонкопленочных покрытий в вакуумной установке, системы управления процессом подготовки паров тетракарбонила никеля, примеры диагностирования и восстановления неисправной системы управления частотой вращения турбоагрегата и других технических систем свидетельствуют о достоверности основных научных положений работы.

Практические результаты работы. Результаты исследований и разработок могут быть использованы на этапе предпроектных исследований по созданию принципиально новых СОУ техническими объектами, для которых отсутствуют аналоги и прототипы, не накоплен опыт проектирования и эксплуатации. Практическая ценность работы заключается в ее ориентированности на класс математических моделей, что позволяет использовать ее результаты для построения СОУ в различных отраслях народного хозяйства. Компьютерные модели СОУ, оформленные в виде «виртуального полигона», позволяют имитировать разнообразные неисправности систем управления, проводить активные и пассивные эксперименты по выявлению симптомов и формированию диагностических признаков, верифицировать методики диагностирования и восстановления неисправных систем управления, тестировать сценарии проектных решений. Разработанное математическое и методическое обеспечения, комплекс компьютерных моделей, методики и примеры их применения в совокупности образуют прикладную основу построения СОУ непрерывными и многостадийными технологическими процессами.

Реализация и внедрение результатов. Основные результаты диссертации получены в целом ряде НИР, проведенных в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ»: Разработка моделей непрерывных технологических процессов на базе Neuro-Fuzzy-технологии (грант для молодых ученых), АПУ-50, 1997 г.; Fuzzy-классификация диагностической информации (Минобразования РФ), ЧС-113, 1997 г.; Теория и методы проектирования сложных динамических систем (ЕЗН, Минобразования РФ), АПУ-33, 1997–1999 гг.; Теоретические основы идентификации сложных ди-

намических объектов на основе Neuro-Fuzzy-технологии (Минобразование РФ), АПУ-68, 2001–2002 гг.; Нейросетевые и Fuzzy-технологии обработки информации в интеллектуальных производственных системах управления (Минобразование РФ), АПУ-77, 2001–2002 гг.; Разработка методов исследования и проектирования многомерных динамических систем управления на основе нейроинформатики, нечеткой логики и теории гибридных систем (Минобразование РФ) АПУ-80, 2003–2005 гг.; Разработка теоретических основ и методов диагностики в технических системах с применением нечеткой логики и нейросетевых технологий 2009–2010 гг. (Минобразование РФ), НИЧ-118; Разработка принципов и методов диагностики в технических системах на базе нечетких гибридных классификаторов и сетевых моделей 2011–2013 гг. (Минобрнауки РФ); Исследование и разработка программного и технологического обеспечения информационно-аналитических систем для распределенных и высокопроизводительных вычислительных сред 2012–2014 гг. ПСР университета (Минобрнауки РФ).

Методические и программные средства внедрены в учебный процесс кафедры Автоматики и процессов управления Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета в рамках дисциплин: «Автоматизированные информационно-управляющие системы и комплексы», «Нечеткие системы управления», «Автоматизация процессов микроэлектронного производства», а также в Санкт-Петербургском государственном лесотехническом университете на кафедре Системного анализа и управления.

Апробация результатов работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на следующих международных и российских конференциях: Научные семинары «Автоматизированная техника» (Германия, Карлсруэ, 1999, 2001, 2003 гг.); Междунар. конф. «Методы и средства управления технологическими процессами» (Саранск, 1999 г.); Int. Techno-Sci. Conf. on Influence of Production Engineering on Stat of the surface layer – SL 96 (Gorzów Wlkp., Polska, 1996); Межреспубл. конф. «Управление в социальных, экономических и технических системах» (Кисловодск, 1998 г.); «Всерос. науч.-техн. конф. «Нейроинформатика-2003» (Москва, 2003 г.); Междунар. конф. «Мягкие вычисления и измерения» (Санкт-Петербург, 2000–2015 гг.); Всерос. науч. конф. «Управление и информационные технологии» (Санкт-Петербург, 2003 г.); Междунар. науч.-практ. конф. «Наука, образование и общество в XXI веке», СПбГЭТУ, 2006 г.; Data Pattern Recognition and

Information Processing (PRIP'2007): Processing of Ninth International Conference (22–24 May 2007, Minsk, Republic of Belarus); Междунар. конф. «Инновации-2008», Ташкент, Узбекистан, 2008 г.; Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальное состояние и тенденции развития физико-математических наук и информационных технологий, г. Новосибирск, 25 сентября, 2012 г.; XVIII Междунар. заочной науч.-практ. конф. «Технические науки – от теории к практике» (г. Новосибирск, СибАК, 2013 г.); «Системы управления техническими объектами» 8-й Всерос. науч.-техн. конф. ИТЭЭ-2012 Чебоксары, 2012, 2013 гг.; Научна конференция с международно участие «Компютърни науки и технологии», 27–28 септември, 2013 г., Варна, България; 7-й Российской мультikonф. по проблемам управления, СПб., ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 7–9 октября 2014 г.; North West Russia Section. Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (2015EIConRusNW). February 2–4, 2015; Всерос. науч. конф. по проблемам управления в технических системах, СПб., СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 28–30 октября 2015 г.

1.1. Интегрированный подход к разработке систем отказоустойчивого управления

Создание теоретических и прикладных основ построения СОУ связано с разработкой математических и компьютерных моделей (см. главу 2), методов анализа диагностируемости и восстанавливаемости (см. главу 3), алгоритмов диагностирования (см. главу 4) и синтеза в соответствии с принципами системного подхода и принятыми в работе концепциями. Системность подхода означает, что проектирование или модернизация собственно ТП, синтез «основной» СУ ТП, функционирование систем высших уровней иерархии, обеспечивающих отказоустойчивость, интегрируются в единый жизненный цикл [121, 128, 226].

Основные этапы интегрированного подхода к синтезу СОУ (рисунки 1) сводятся к решению следующих задач.

1. *Построение модели ТП как объекта управления.* Формы представления и примеры математических моделей СУ ТП обсуждены в главе 2.

2. *Анализ ТП.* Выявление несоответствия характеристик ТП требованиям технологических режимов интерпретируется как обнару-

жение неисправностей и относится к анализу констатирующего типа. Последующий этап анализа объекта управления должен *объяснить* причины отклонения характеристик от требований. Принятая идеология интегрированного подхода к построению СОУ такую процедуру интерпретирует как *локализация* «неисправностей» ТП.

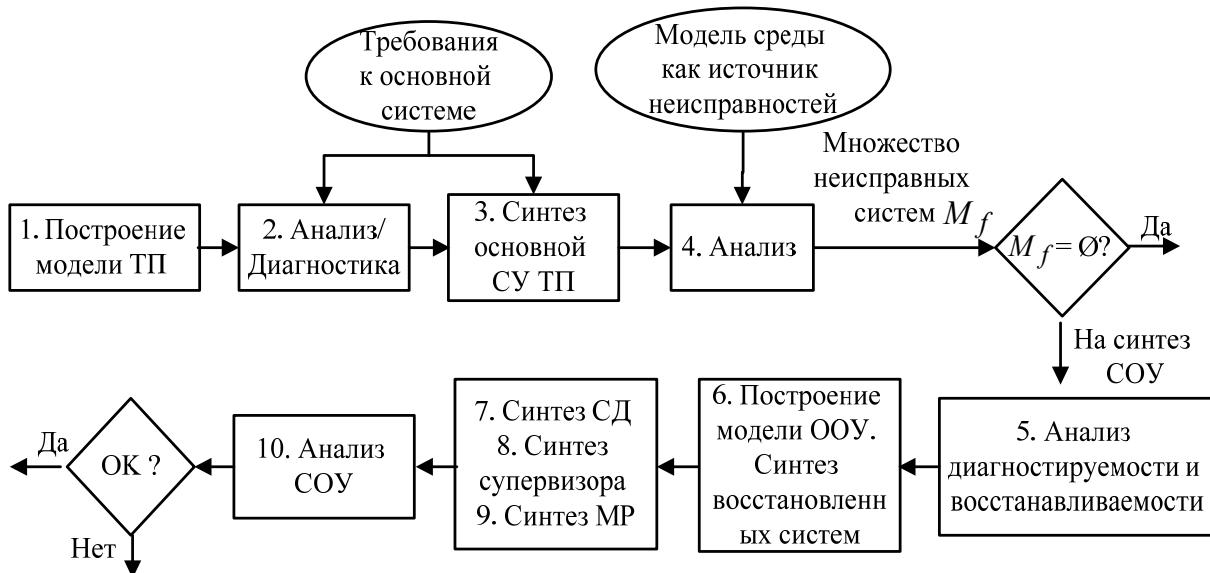


Рис. 1. Схема интегрированного подхода к синтезу СОУ

3. *Синтез СУ* в контексте интегрированного подхода интерпретируется как «восстановление» объекта с неудовлетворительными свойствами и решает задачи: *а* – стабилизации режимов; *б* – ослабления влияния возмущений; *в* – обеспечения малой чувствительности системы к неучтенной динамике объекта и малым вариациям характеристик элементов. Расширенная за счет описания «номинальной» среды функционирования M_F^0 модель ТП M_{RS}^0 рассматривается как система 0-го уровня иерархии ($L=0$). Если анализ соответствия ТП требованиям технологии M_Y^0 интерпретировать как *диагностирование*, а выявленные недостатки – как *неисправности* объекта, то синтез СУ M_{RS}^1 первого уровня иерархии ($L=1$) можно трактовать как принятие мер по *восстановлению* (реконфигурированию) объекта.

4. *Анализ влияния неисправностей на основную систему*. Создание СУ формирует среду вышележащего уровня $M_F^1 = M_i^0$; $i=1, 2, \dots$,

агрегирующую среды элементов, выполняющих информационные, алгоритмические, исполнительные и другие функции.

Традиционные подходы к синтезу полагают, что элементы СУ идеальны, сопровождающие их возмущения имеют незначительную амплитуду, а частоты лежат в области немоделируемой динамики объекта. В данной работе допускается, что агрегированная среда функционирования СУ M_F^1 является источником неисправностей. Основная система M_{RS}^1 не рассчитана на ослабление воздействий, генерируемых средой M_F^1 . По априорной информации о потенциальных неисправностях, модели системы, а также о допустимых отклонениях показателей собственной динамики основной системы $M_S(3)$, свойств передач $M_{YSF}(3)$ и расширенной системы $M_{RS}(3)$, выбираются существенные неисправности (см. главу 2). Если динамика основной системы недопустимо ухудшается при некоторых неисправностях, то необходимо разрабатывать СОУ – системы M_{RS}^L вышележащих уровней.

5. *Анализ диагностируемости и восстанавливаемости.* Методы анализа диагностируемости и восстанавливаемости СУ разработаны в главе 3. Результатом анализа диагностируемости является заключение о существовании решения задачи диагностирования, т.е. переменных, измерение которых позволяет обнаруживать и локализовать, а при возможности, идентифицировать параметры потенциальных сигнальных и системных неисправностей. Анализ восстанавливаемости отвечает на вопрос о существовании систем с приемлемым качеством, получаемых подстройкой параметров, реструктуризацией операторов или реконфигурированием топологии соответствующих неисправных систем.

6. *Формирование множества восстановленных систем.* Трудоемкий этап разработки восстановленных СУ заключается в подготовке систем, свойства которых восстановлены после первой неисправности и системы, скорректированные один, два и более раз. Быстродействие современных средств вычислительной техники позволяет во многих практических случаях синтезировать восстановленные системы в реальном времени. Вместе с тем, учитывая особую актуальность повышения быстродействия СОУ, предпочтителен вариант заготовки впрок множества восстановленных систем.

7. *Построение подсистемы диагностирования.* Принципам, методам и алгоритмам диагностирования посвящена глава 4.

8. *Синтез супервизора* представляет собой формирование логики принятия решений. Супервизор на основе текущего диагноза (символа неисправной системы) и текущего состояния (результата предыстории), выдает управляющий символ, отвечающий варианту восстановления, т.е. реконфигурированию, реструктуризации или подстройке параметров неисправной системы. Методика и примеры синтеза супервизора приводятся далее.

9. *Реализация механизма реконфигурирования МР* зависит от конкретного СУ. В модельных исследованиях принимается, что решения супервизора реализуются в точности и немедленно. Способы реконфигурирования для примера СОУ многостадийным ТП циклического действия приведены в **главе 6**.

Структура системы супервизорного уровня управления M_{RS}^2 изображена на рисунке 2. Функционирование СОУ M_{RS}^2 продолжает этапы моделирования объекта, синтеза и реализации СУ с тем отличием, что система супервизорного уровня должна диагностировать и восстанавливать неисправные системы в режиме *on-line* своевременно, не допуская развития ситуации до отказов и аварий.

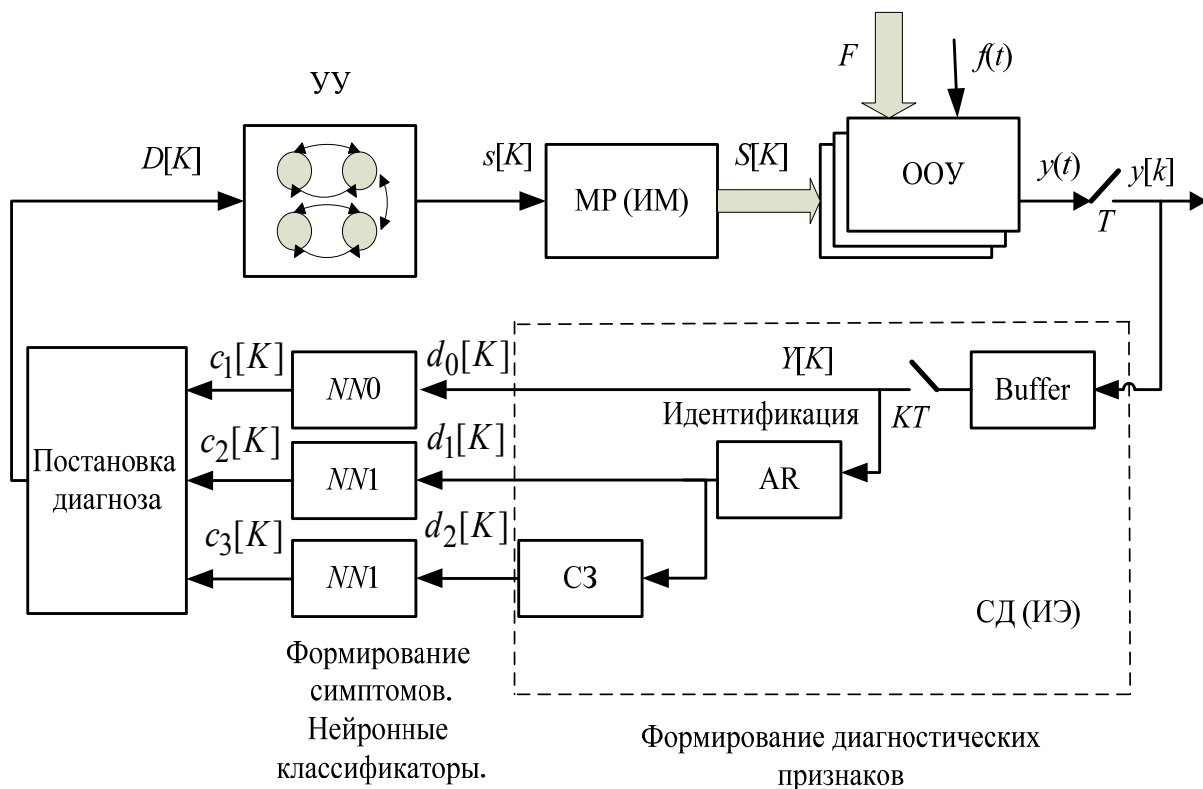


Рис. 2. Структура системы супервизорного уровня управления

Общность принципов действия систем двух уровней позволяет заключить, что разработку методов синтеза системы супервизорного уровня СОУ можно вести путем модификации известных моделей и методов теории управления.

1.2. Задачи разработки методов восстановления систем управления

В соответствии с принятой концепцией дискретно-событийного объекта отказоустойчивого управления для каждой диагностированной неисправности СУ супервизор подбирает восстановленную систему из подготовленного набора, что уместно назвать виртуальным «горячим» резервированием.

Предлагается систематизировать множество задач синтеза восстановленных систем по следующим признакам:

1 – восстанавливаемое свойство $\{\text{Устойчивость, Инвариантность, Селективная инвариантность}\}$ и соответствующая модель $\{M_S, M_{YSF}, M_{RS}\}$;

2 – тип неисправности $\tau = \{\tau_S \text{ «Системная»}, \tau_F \text{ «Сигнальная»}\}$;

3 – ранг неисправности $R_F = 1$ (топологический), 2 (структурный), 3 (параметрический);

4 – ранг средства восстановления $R_S = 1$ (топологический), 2 (структурный), 3 (параметрический).

На рисунке 3 изображен граф типа «дерево», пути в котором от вершин-истоков до стоков отвечают задачам восстановления неисправных систем в зависимости от признаков $\{M, \tau, R_F, R_S\}$.

Способ синтеза восстановленных систем управления зависит от глубины диагностирования. «Внешний» способ интерпретирует СУ в целом как объект, потерявший качественные показатели процессов, т.е. не требует локализации неисправного компонента. Иллюстрация «внешнего» подхода приведена на рисунке 4, *a*, где штриховой линией показана дуга (a, b) графа, введение которой должно восстановить запас устойчивости системы. Способ, в частности, является следствием *Data-based* диагностирования и рекомендуется для восстановления запасов устойчивости (восстановления собственно системы M_S).

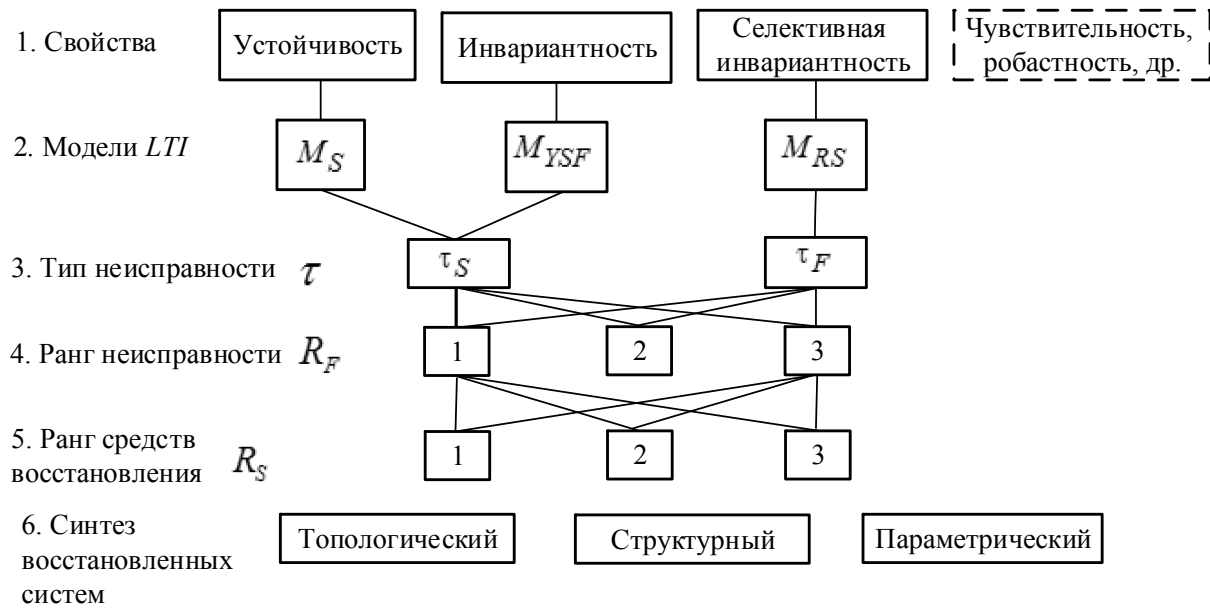


Рис. 3. Систематизация задач восстановления

Другой способ восстановления систем обеспечивает толерантность к локализованным неисправностям «внутренними» средствами: путем подстройки подсистем или компонентов, переключения или удаления существующих связей. Обеспечение толерантности «внутренними» средствами требует локализации и идентификации неисправной подсистемы или компонента (рисунок 4, б). Если локализован неисправный компонент, то принимается решение о замене неисправного компонента резервным или/и подстройке существующего компонента с близкими функциями с целью уменьшения последствий выключения неисправного. Действия по ослаблению неисправности в виде потери связи между компонентами иллюстрирует рисунок 4, в.

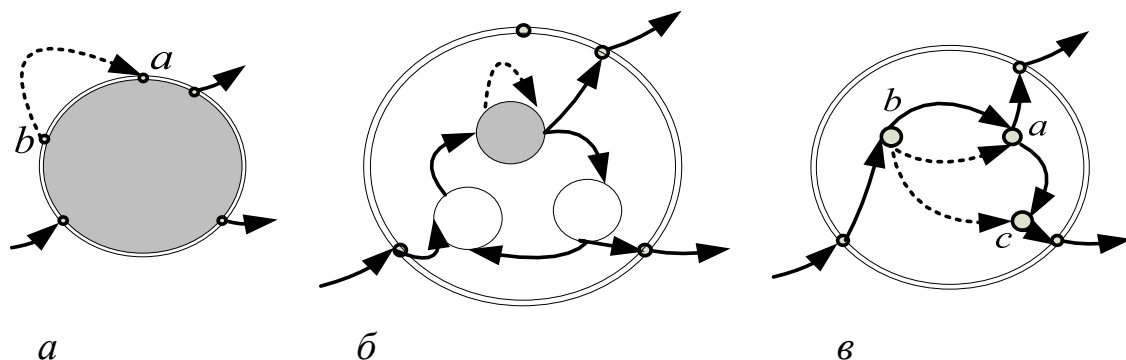


Рис. 4. Иллюстрация подходов к восстановлению неисправных систем

Методы восстановления систем со сложной структурой опираются на модели в форме графов и на представление характеристик систем в комплексно-частотной области. Постановки задач однотипны и содержат следующие исходные данные и требования к решению. Даны:

- достаточно глубоко структурированная модель номинальной СУ;
- модели потенциальных неисправностей;
- множества точек измерения и суммирования сигналов, т.е. множество топологий;
- ограничения на структуру и параметры звеньев коррекции (множества структур и параметров);
- требования к процессам в восстановленных системах;
- ограничения на переменные состояния и управления.

Необходимо:

- выбрать множество существенных неисправностей;
- установить, что неисправные СУ диагностируемы и восстанавливаемы;
- выбрать топологию системы, структуры операторов и параметры вводимых звеньев коррекции.

Синтез восстановленных систем предполагает последовательное формирование топологии, структур операторов и конкретизацию значений параметров собственно системы, системы со связями и расширенной системы:

$$M_S(1) \rightarrow M_S(2) \rightarrow M_S(3) \rightarrow M_{YSF}(1) \rightarrow M_{YSF}(2) \rightarrow M_{YSF}(3) \rightarrow M_{RS} \dots$$

«Эволюции» неисправной системы при различных ситуациях иллюстрирует рисунок 5.

Примеры разработки методов решения важнейших задач синтеза восстановленных систем приводятся далее.

Принцип минимальной сложности средств восстановления. Если для неисправной системы существует несколько вариантов восстановления, то ставится задача выбора наиболее «близкой» скорректированной системы. Формализация понятий «близости» систем и «расстояния» между системами основана на следующих соображениях. Если меры по восстановлению сводятся к подстройке параметров или к реструктуризации операторов, то при прочих равных условиях предпочтение следует отдать первому варианту. Если один из вариантов восстановления отличается от неисправной системы структурой

оператора, а второй – топологией, то предпочтителен первый вариант, так как реструктурировать оператор проще, чем реконфигурировать систему – вводить новые звенья и/или новые связи, т.е. устанавливать новые измерительные элементы и/или исполнительные устройства.

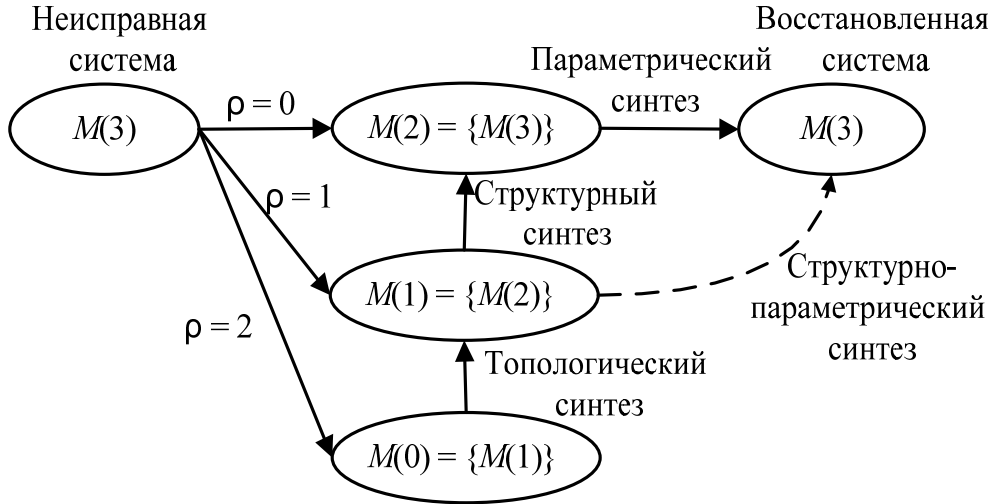


Рис. 5. Последовательность восстановления неисправных систем

Рассмотренные ситуации связаны с сопоставлением моделей различных рангов неопределенности $M(R)$. Поэтому представляется естественным связать оценку отличия неисправных и восстановленных систем с рангами неопределенности моделей – параметрическим, структурным и топологическим. За оценку «расстояния» между системами $\rho(S_i, S_j)$ в **главе 1** рекомендуется принять ранги неопределенности моделей. Расстояние между моделями одного и того же ранга равно нулю:

$$\forall R = 0, 1, 2, 3: \rho\{M_1(R), M_2(R)\} = 0.$$

Если модели имеют одинаковую топологию, но у одной конкретизированы структуры операторов, а у другой – нет, то расстояние между ними $\rho\{M_1(2), M_2(1)\} = 1$. Расстояние между полностью определенной системой $M_1(3)$ и системой с неопределенной топологией $M_2(0)$ максимально $\rho\{M_1(3), M_2(0)\} = 3$.

Критерий выбора:

$$\rho|R' - R''| \rightarrow \min$$

означает предпочтительность (при прочих равных условиях) варианта восстановления подстройкой параметров по сравнению с реструктуризацией операторов или варианта реструктуризации по сравнению с реконфигурированием топологии.

1.3. Метод топологического синтеза восстановленных систем

Пусть подсистема диагностики обнаруживает неисправность основной системы M_S в виде потери запаса устойчивости, вызванной неисправностями топологического, структурного или параметрического ранга. Локализован сильный компонент графа, потерявший запас устойчивости, а также идентифицированы недопустимо колебательные собственные значения (с.з.) $\{s_i\}$ системы или интервалы частот Ω , которым принадлежат их модули.

Согласно предлагаемой систематизации (см. рисунок 3) решаются задачи типа:

$$\{M = M_S; \tau = \tau_S; R_F = 1, 2, 3; R_S = 1\}.$$

Условие восстанавливаемости запасов устойчивости путем реконфигурирования топологии СУ – введения дуги (a, b) – равносильно условию *селективной* управляемости: неисправная система должна быть избирательно управляема по каналу $y_b \rightarrow u_a$. ПФ системы $\Phi_{ba}(s)$ не должна иметь нули, равные «плохим» полюсам. Практически, модули «плохих» нулей должны достаточно сильно отличаться от модулей «плохих» полюсов.

Если вариант восстановления единственный, то задача топологического синтеза решена. В случае нескольких вариантов реконфигурирования неисправной системы ставится задача поиска наилучшего места включения дуги коррекции. Принципиальной особенностью задачи топологического синтеза является то, что неизвестен оператор включаемой дуги $W_{ab}(s)$. Необходим критерий оценки вариантов до конкретизации их операторов.

Критерии потенциальной эффективности на множестве допустимых топологий. Предлагается два подхода к количественному сравнению вариантов топологий [133].

1. Критерий потенциальной эффективности вариантов коррекции, основанный на оценке функций чувствительности (ФЧ) определителя сигнального графа.

Восстановление запаса устойчивости, т.е. перемещение корней ХП системы рассматривается как формирование определителя графа. Определитель связывает топологию с ХП системы:

$$\Delta(s) = \frac{A(s)}{A_0(s)},$$

где $A(s)$ – ХП восстановленной системы; $A_0(s) = \prod_{\gamma} A_{\gamma}(s)$ – ХП разомкнутой системы; $A_{\gamma}(s)$ – ХП дуг. В силу линейной зависимости определителя графа от ПФ дуги (a, b) $\Delta(s) = \Delta_0 + T_{ab}^{\Delta}(s)W_{ab}(s)$ абсолютная ФЧ $T_{ab}^{\Delta}(s)$ не содержит ПФ дуги $W_{ab}(s)$, что позволяет выбрать место ее включения до конкретизации ее оператора [25–28].

Критерий потенциальной эффективности представляет собой условие максимизации функционала в виде оценок абсолютной ФЧ $T_{ab}^{\Delta}(s)$ определителя $\Delta(s)$ к дуге (a, b) :

$$\text{mod } T_{ab}^{\Delta}(j\omega) \xrightarrow{\Omega} \max, \quad (1)$$

где Ω – диапазон частот, определяющий «неисправную» собственную динамику системы, которому принадлежат модули «плохих» с.з., или:

$$\forall i: \text{mod } T_{ab}^{\Delta}(s_i) \rightarrow \max. \quad (2)$$

2. Критерий потенциальной эффективности топологий по условиям селективной управляемости каналов. Место включения дуги коррекции (a, b) предлагается выбирать по критерию потенциальной эффективности в виде оценок модулей ПФ $\Phi_{ba}(s)$:

$$\text{mod } \Phi_{ab}(j\omega) \xrightarrow{\Omega} \max, \quad (3)$$

где Ω – множество частот интервала, которому принадлежат модули «плохих» с.з. s_i . В том случае, когда идентифицированы «плохие» с.з. неисправной системы s_i , показатель эффективности варианта реконфигурирования представляет собой значения модуля ПФ на частотах, равных модулям с.з., а критерий топологического синтеза запишется так:

$$\text{mod } \Phi_{ba}(j|s_i|) \rightarrow \max. \quad (4)$$

В главе 3 показано, что критерии потенциальной эффективности (1)–(4) приводят к тому же результату.

Критерии потенциальной эффективности (1)–(4) отличны от нуля, если дуга (a, b) принадлежит контурной части, потерявшей устойчивость. Критерии не противоречат принципу минимальной сложности средств восстановления – в большинстве случаев выбор по критериям (1)–(4) означает предпочтение варианта дуги коррекции с минимальной полосой пропускания частот. Максимизация показателей потенциальной эффективности места включения дуги коррекции обеспечивает требуемое изменение системы при меньших усилениях дуги коррекции.

При выборе средств коррекции собственной динамики M_S следует минимизировать их влияние на свойства передач M_{YSF} . Дополнительные условия вытекают из топологической формулы (7) для передачи сигнального графа:

$$\Phi_{ba}(s) = \frac{P_{ba}(s)\Delta_{ba}(s)}{\Delta(s)}.$$

1) контуры, образуемые дугой (a, b) , не должны касаться пути передачи сигнала задания. Действительно, в этом случае: $\Delta_{ba} = \Delta$, что означает сохранение передачи пути: $\Phi_{ba} = P_{ba}$. Задача выбора по этому критерию решается по моделям топологического ранга $M_{YSF}(1)$;

2) желательно, чтобы контуры, образуемые дугой (a, b) , касались путей передачи возмущений. Это способствует дополнительному ослаблению влияния возмущений на управляемую переменную. Действительно, при этом растет определитель графа, а минор пути передачи возмущений $\Delta_{ba} = 1$, что уменьшает передачу $\Phi_{ba} = P_{ba}/\Delta$;

3) усиления новых контуров на частотах существенных с.з. должны быть малы. Это обеспечит малое изменение определителя графа на существенных для устойчивости частотах и, соответственно, корней ХП восстановленной системы. Задача по этому критерию решается на этапе структурно-параметрического синтеза по моделям $M_S(3)$.

Пример топологического синтеза. Пусть в системе управления частотой вращения турбоагрегата (см. рисунок 2) обнаружена и идентифицирована неисправность в виде исчезновения канала передачи информации на выходе усилительного звена с коэффициентом 0.9 (вход Sum3), что приводит к потере запаса устойчивости системы. Эта неисправность является наиболее опасной; система после ее обнаружения должна быть немедленно реконфигурирована.

На рисунке 6 приведены ЛАЧХ каналов (1-1), (1-2), (1-3) и (2-1), (2-2), (2-3). Модуль неустойчивой комплексной пары равен 0.28; на этой частоте виден пик ЛАЧХ характеристики.

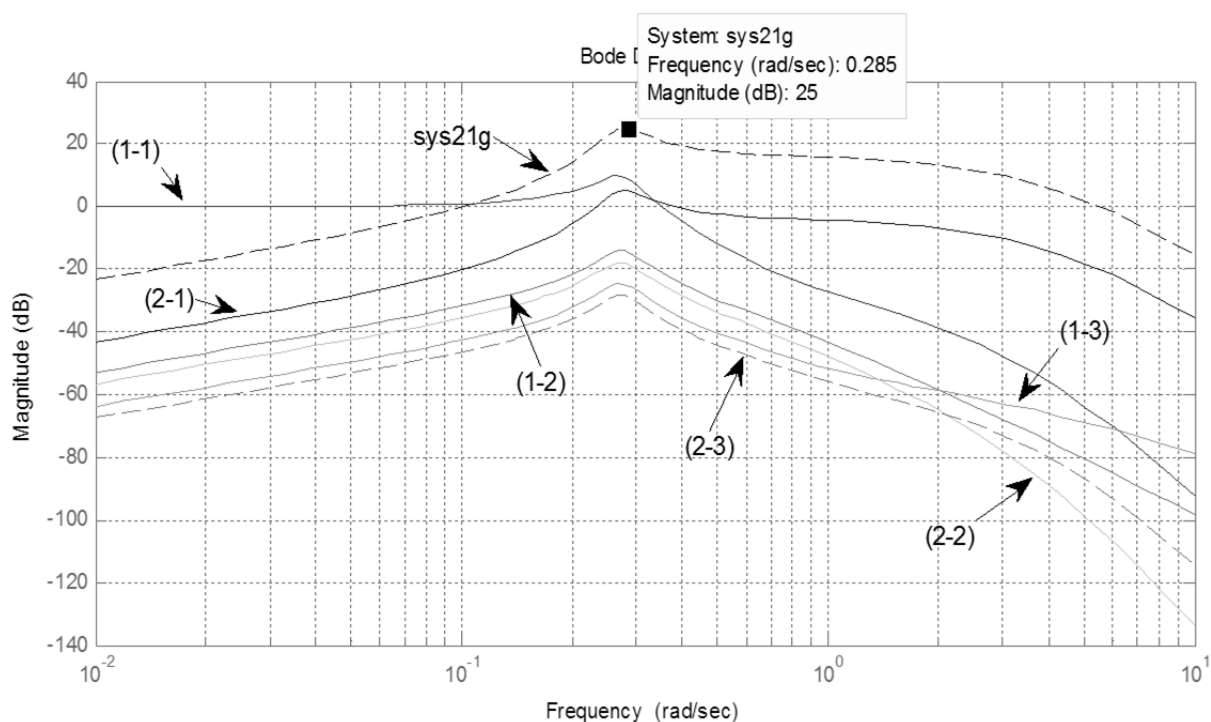


Рис. 6. ЛАЧХ каналов

По критериям (1)–(4) наиболее эффективным местом включения дуги коррекции является канал (1-1) с усилением 9.79 дБ на частоте модуля перемещаемой пары корней. Вместе с тем, канал (2-1) предпочтительнее, так как на низких частотах усиление эквивалентного

контура стремится к нулю. Это означает возможность стабилизации без существенного ухудшения свойств воспроизведения задания и инвариантности системы к низкочастотным возмущениям.

1.4. Структурно-параметрический синтез восстановленных систем

Следующий этап восстановления СУ должен определить оператор дуги (a, b) . Согласно предложенной систематизации (см. рисунок 3), решается задача типа:

$$\{M = M_S; \tau = \tau_S; R_F = 1, 2, 3; R_S = 2\}.$$

Задача восстановления, в отличие от известных задач синтеза СУ, не требует полной управляемости объекта. Необходимо обеспечить *селективную* (избирательную) управляемость неисправной системы. Для этого в ПФ W_{ab} дуги (a, b) предлагается вводить нули, компенсирующие «хорошие» полюсы, что обеспечивает их «неподвижность» при замыкании нового контура.

Средством, обеспечивающим «неподвижность» полюсов ПФ системы $\Phi_{ba}(s)$, является создание так называемых *диполей* – искусственная компенсация полюсов равными им нулями. Действительно, если числитель и знаменатель ПФ эквивалентного контура:

$$\Phi_{ba}(s)W_{ba}(s) = K_e(s) = \frac{B_e(s)}{A_e(s)}$$

имеют нетривиальный общий делитель $d(s)$, то определитель сигнального графа равен:

$$\Delta(s) = 1 + K_e(s) = \frac{d(s)[A'_e(s) + B'_e(s)]}{A_e(s)}.$$

Так как числитель определителя представляет собой ХП замкнутого контура, то все корни $d(s)$ окажутся корнями восстановленной системы. Те же корни имеет и ХП неисправной системы.

Принято, что одиночная (некратная) неисправность вызывает недопустимое перемещение одного или пары с.з.; соответственно, одна дуга коррекции восстанавливает приемлемое положение одного или пары с.з.

Задачу выбора структуры и параметров оператор дуги W_{ab} предлагается решать последовательно:

- 1) синтезировать компенсатор $W_{cb}^{\text{КОМ}}$, обеспечивающий селективную управляемость системы;
- 2) синтезировать корректор $W_{ac}^{\text{КОР}}$, обеспечивающий «желаемое» распределение перемещаемых с.з.

Декомпозиция задачи заключается в создании условий для неуправляемости «хороших» с.з. при управляемости «плохих» с.з. Структурно-параметрический этап восстановления начинается с компенсации «хороших» полюсов ПФ $\Phi_{ba}^H(s)$, в результате чего получается селективно управляемая система, потерявшая запас устойчивости. Далее следует этап коррекции с целью желаемого размещения «плохих» полюсов. Структура восстановленной системы частично определена при синтезе компенсатора $W_{cb}^{\text{КОМ}}$.

Методы *структурно-параметрического* этапа восстановления СУ предлагаются далее. Автоматизированные процедуры их применения с помощью современных инструментальных средств изложены на иллюстративных примерах неисправных систем.

1. **Метод корневых годографов.** Пусть обнаружена потеря устойчивости вследствие неисправности системы и идентифицировано неустойчивое с.з. $s_1 = 1$. Выбрано место введения дуги коррекции (a, b) и вычислена ПФ неисправной системы по выбранному каналу в факторизованном виде:

$$\Phi_{ba}^H(s) = \frac{1}{(s-1)\left(\frac{1}{16}s+1\right)\left(\frac{1}{32}s+1\right)}.$$

«Хороший» полюс $p_2 = -16$ следует оставить на месте путем компенсации равным ему нулем $z_2 = -16$. «Хорошие» полюсы $p_{3,4,5} = -32$ вдали от неустойчивого полюса также нежелательно сильно перемещать. Это достигается выбором коэффициента усиления

ния контура k_{ab} , что предлагается выполнить с помощью годографа корней (рисунок 7).

В результате получена структура дуги коррекции:

$$W_{ab} = k_{ab}(z_2s + 1),$$

представляющая ПД-закон регулирования.

Как видно из рисунка 7, при значении $k_{ab} = 6.5$ корни ХП восстановленной системы принадлежат левой полуплоскости, а доминирующая пара комплексных корней равна $-5.6 \mp 7.8i$. Определитель графа восстановленной системы, представляющая отношение ХП замкнутой (восстановленной) и разомкнутой (неисправной) систем:

$$\Delta(s) = \frac{(s+16)(s^2+11.3s+93.23)(s^2+83.7s+1937)}{(s+32)^3(s+16)(s-1)},$$

показывает, как процедура восстановления изменяет с.з. системы.

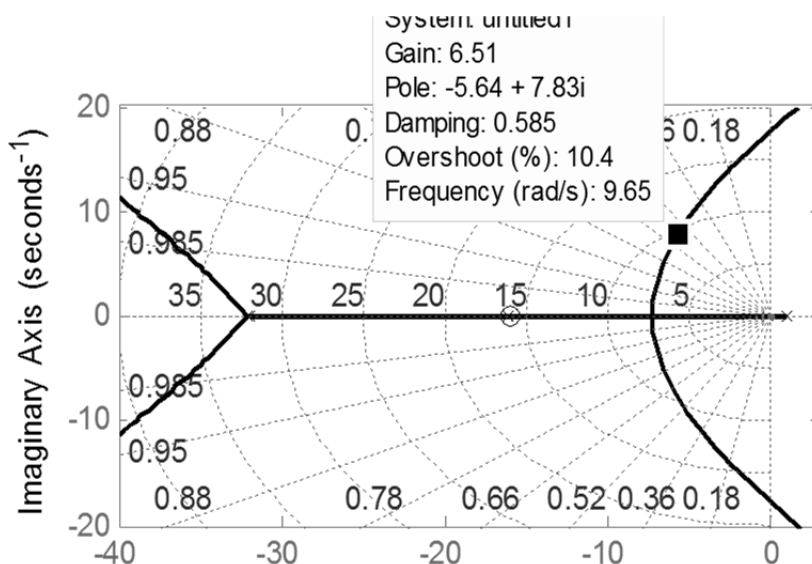


Рис. 7. Годограф корней к примеру с одним перемещаемым корнем

Пусть диагностирование обнаруживает, что система неисправна и идентифицирует пару неустойчивых с.з. $s_{1,2} = 0.05 \mp 1.0i$. Выбирается место включения реконфигурирующей дуги (a, b) и вычисляется ПФ неисправной системы:

$$\Phi_{ba}^H(s) = \frac{1}{(s+32)(s+16)(s^2 - 0.1s + 1)},$$

которая показывает, что имеются «хорошие» полюсы: $p_3 = -16$ и $p_4 = -32$. Компенсатор, обеспечивающий селективную неуправляемость плюса p_3 , дополняет ПФ нулем $z_3 = -16$, что дает ПФ скомпенсированной системы

$$\Phi_{ba}^{\text{КОМ}}(s) = \frac{s+16}{(s+32)(s+16)(s^2 - 0.1s + 1)}.$$

Попытка выбрать усиление контура таким образом, чтобы полюс p_4 был малоподвижным, не дает желаемого результата. Необходима коррекция контура – в ПФ компенсатора вводится нуль $z_2 = -2$, что дает ПФ скорректированного контура:

$$\Phi_{ba}^{\text{КОР}}(s) = \frac{(s+16)(s+2)}{(s+32)(s+16)(s^2 - 0.1s + 1)}.$$

Выбор коэффициент усиления $k_{ab} = 223$ по корневому годографу (рисунок 8) обеспечивает положение доминирующей пары с.з. восстановленной системы: $-4.3 \mp 1.43i$.

В результате получен оператор дуги (a, b) :

$$W_{ab}(s) = -k_{ab}(s+z_2)(s+z_3) = -223(s+2)(s+16),$$

в котором параметр $z_3 = -16$ выбран из условия компенсации «хорошего» полюса, $z_2 = -2$ – из условия коррекции, а коэффициент усиления $k_{ab} = 223$ – желаемого расположения перемещаемого полюса.

Определитель графа восстановленной системы:

$$\Delta(s) = 1 + 223 \Phi_{ba}^{\text{КОР}}(s) = \frac{(s+23.31)(s+16)(s^2 + 8.594s + 20.51)}{(s+32)(s+16)(s^2 - 0.1s + 1)}$$

равен отношению ХП замкнутой и разомкнутой систем; видно, как изменились корни ХП системы в результате восстановления.

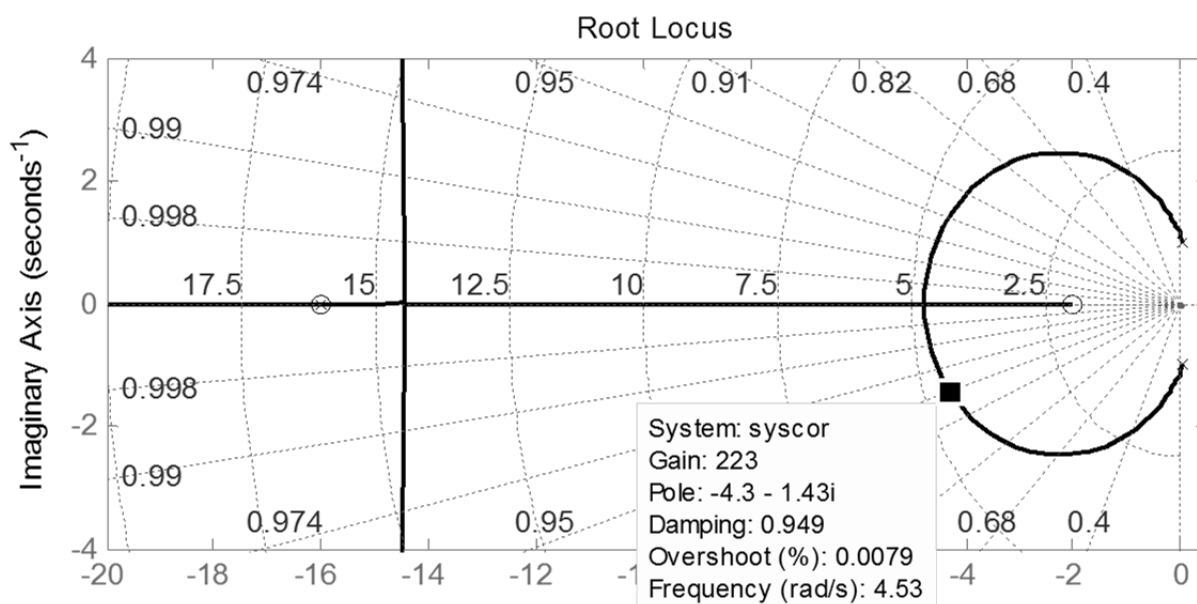


Рис. 8. Корневой годограф к примеру с двумя перемещаемыми корнями

Порядок восстановленной системы равен 4, так как компенсатор и корректор не вносят дополнительной инерционности.

2. Полиномиальный (операторный) метод коррекции. Пусть дифференциальное уравнение неисправной системы управления, полученное в результате компенсации «хороших» полюсов ПФ $\Phi_{ba}^H(s)$, записано в операторной форме:

$$A_0(p)y(t) = B_0(p)u(t), \quad p \equiv d/dt. \quad (5)$$

Положим, что степень $n_0 = \deg A_0$ операторного полинома A_0 выше степени $m_0 = \deg B_0$ полинома B_0 ; без потери общности примем, что коэффициент при старшей степени полинома A_0 равен единице. Полиномы A_0 и B_0 взаимно просты, т.е. не имеют нетривиальных общих делителей – описание (5) является *полным*. Для систем с одним входом и одним выходом полнота равносильна полной управляемости и наблюдаемости корректируемой части системы. Здесь условие восстанавливаемости равносильно условию селективной управляемости части системы, потерявшей запас устойчивости.

Требования к восстановленной системе представим в форме желаемого множества корней ХП. Необходимо найти алгоритм корректора, размещающего корни в назначенных местах комплексной плоскости [52, 100].

Искомое дифференциальное уравнение корректора в операторной форме имеет вид:

$$A_R(p)u(t) = -B_R(p)y(t). \quad (6)$$

Примем, что коэффициент при старшей степени полинома A_R равен единице. Степени полиномов $n_R = \deg A_R$ и $m_R = \deg B_R$ являются искомой структурой корректора, а коэффициенты полиномов – его параметрами.

Дифференциальное уравнение восстановленной системы получится, если исключить переменную $u(t)$ из уравнений (5) и (6):

$$A_{\text{вос}}(p)y(t) \equiv [A_0(p)A_R(p) + B_0(p)B_R(p)]y(t) = 0.$$

По желаемым корням p_i^* ($i=1, \dots, n$) строится операторный полином восстановленной системы:

$$A^*(p) = \prod_i (p - p_i^*).$$

Из тождества:

$$A_0(p)A_R(p) + B_0(p)B_R(p) \equiv A^*(p) \quad (7)$$

следует найти операторные полиномы корректора:

$$\begin{aligned} A_R(p) &= p^{n_R} + \dots + a_{1R}p + a_{0R}; \\ B_R(p) &= b_{m_R}p^{m_R} + \dots + b_{1R}p + b_{0R}. \end{aligned}$$

Заметим, что полиномиальные уравнения вида (7) называются *диофантовыми*, так как полиномы, как и целые числа, образуют алгебраическую структуру – *кольцо* с операциями сложения, вычитания и умножения (без деления).

Структурный синтез – поиск степеней n_R и m_R полиномов $A_R(p)$ и $B_R(p)$. Воспользуемся условием реализуемости корректора и для упрощения задачи примем степени равными: $m_R = n_R$. Число не-

известных параметров равно $2n_R + 1$. Таким же должно быть число уравнений, составленных из равенства коэффициентов полиномов в левой и правой частях тождества (7). Так как коэффициенты при старших степенях единичны, то число уравнений равно степени полиномов $n_0 + n_R$. Отсюда:

$$n_0 + n_R = 2n_R + 1,$$

что дает структуру корректора: $n_R = n_0 - 1$. Порядок восстановленной системы равен $n^{\text{вос}} = 2n_0 - 1$.

Параметрический синтез – определение коэффициентов полиномов A_R и B_R . Условие равенства коэффициентов полиномов $A_{\text{вос}}$ и A^* дает систему линейных алгебраических уравнений для определения искоемых коэффициентов полиномов A_R и B_R . Матрица системы формируется из коэффициентов полиномов A_0 и B_0 ; она оказывается так называемой матрицей Сильвестра. Ее определитель – *результант* полиномов A_0 и B_0 – отличен от нуля, так как полиномы взаимно просты. Следовательно, задача разрешима, если неисправная система селективно управляема – ПФ $\Phi_{ba}^H(s)$ является полной (невырожденной).

Методика восстановления неисправных систем управления полиномиальным (операторным) методом. Пусть дифференциальное уравнение неисправной системы в операторной форме имеет вид:

$$(p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0) y(t) = b_0 u(t),$$

где $y(t)$ – измеряемая переменная (сигнал в вершине b); $u(t)$ – восстанавливающий сигнал (в вершине a). Параметры системы: $a_3 = 47.9$; $a_2 = 508.2$; $a_1 = -3.08$; $a_0 = 518.28$; $b_0 = 1$. Один из коэффициентов операторного полинома отрицательный, следовательно, не выполняется необходимое условие устойчивости. Действительно, операторный полином имеет два действительных отрицательных корня и пару неустойчивых комплексно-сопряженных корней: -32 ; -16 ; $0.05 \mp 1.0i$.

Таким образом, рассматривается общий случай синтеза корректора, когда не все «хорошие» полюсы ПФ $\Phi_{ba}^H(s)$ скомпенсированы.

Структурный синтез сводится к анализу степеней полиномов. Степени операторных полиномов объекта A_0 , B_0 равны соответственно: $n_0 = 4$, $m_0 = 0$. Порядок корректора $n_R = m_R = n_0 - 1 = 4 - 1 = 3$, а его дифференциальное уравнение имеет вид:

$$(p^3 + a_{R2}p^2 + a_{R1}p + a_{R0})u(t) = -(b_{R3}p^3 + b_{R2}p^2 + b_{R1}p + b_{R0})y(t).$$

Поскольку порядок системы равен семи, назначим 7 желаемых корней в левой полуплоскости $p_i^* = \{-0.2; -0.4; -1; -1; -2; -16; -32\}$. Сохранены два «хороших» корня. По этим корням запишется желаемый полином:

$$A^*(p) = p^7 + a_6^*p^6 + a_5^*p^5 + a_4^*p^4 + a_3^*p^3 + a_2^*p^2 + a_1^*p + a_0^*.$$

Характеристический полином восстановленной системы:

$$\begin{aligned} A_{\text{вос}}(p) &= A_0(p)A_R(p) + b_0B_R(p) = (p^4 + a_3p^3 + a_2p^2 + a_1p + a_0) \times \\ &\times (p^3 + a_{R2}p^2 + a_{R1}p + a_{R0}) + b_0(b_{R3}p^3 + b_{R2}p^2 + b_{R1}p + b_{R0}) = \\ &= p^7 + (a_3 + a_{R2})p^6 + (a_{R1} + a_3a_{R2} + a_2)p^5 + (a_{R0} + a_3a_{R1} + a_2a_{R2} + a_1)p^4 + \\ &+ (a_3a_{R0} + a_2a_{R1} + a_1a_{R2} + a_0 + b_0b_{R3})p^3 + (a_2a_{R0} + a_1a_{R1} + a_0a_{R2} + b_0b_{R2})p^2 + \\ &+ (a_0a_{R1} + a_1a_{R0} + b_0b_{R1})p + (a_0a_{R0} + b_0b_{R0}). \end{aligned}$$

Из тождества (7) следует система уравнений в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} a_0 & 0 & 0 & b_0 & 0 & 0 & 0 \\ a_1 & a_0 & 0 & 0 & b_0 & 0 & 0 \\ a_2 & a_1 & a_0 & 0 & 0 & b_0 & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 & 0 & 0 & 0 & b_0 \\ 1 & a_3 & a_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & a_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a_{R0} \\ a_{R1} \\ a_{R2} \\ b_{R0} \\ b_{R1} \\ b_{R2} \\ b_{R3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0^* \\ a_1^* \\ a_2^* \\ a_3^* - a_0 \\ a_4^* - a_1 \\ a_5^* - a_2 \\ a_6^* - a_3 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Для численного решения системы уравнений введем желаемые корни в рабочее пространство MATLAB:

```
>> r=[-0.2 -0.4 -1 -1 -2 -16 -32];
```

Коэффициенты желаемого операторного полинома вычисляются с помощью команды:

```
>> poly(r)  
1 52.6 740.3 2719.6 4086.7 2800.8 826.9 81.9
```

Введем в рабочее пространство матрицу:

```
C =  
513.28 0 0 1 0 0 0  
-3.08 513.28 0 0 1 0 0  
508.2 -3.08 513.28 0 0 1 0  
47.9 508.2 -3.08 0 0 0 1  
1 47.9 508.2 0 0 0 0  
0 1 47.9 0 0 0 0  
0 0 1 0 0 0 0
```

и правую часть системы (8), составленную из коэффициентов желаемого и исходного полиномов:

```
a = [81.9 826.9 2800.8 4086.7-513.28 2719.6+3.08 740.3-508.2 52.6-47.9]';
```

Для решения воспользуемся командой:

```
>> R=C\a  
1.0e+03 *  
0.0003  
0.0070  
0.0047  
-0.0603  
-2.7498  
0.2691  
0.0325
```

Коэффициенты числителя и знаменателя ПФ корректора составляются по вектору **R**:

```
>> denR=[1 R(3) R(2) R(1)];
>> numR=[R(7) R(6) R(5) R(4)];
```

ПФ корректора в полиномиальном:

```
>>Cor=tf(numR,denR):
```

$$\frac{32.47 s^3 + 269.1 s^2 - 2750 s - 60.28}{s^3 + 4.7 s^2 + 6.97 s + 0.277}$$

и факторизованном виде:

$$\frac{32.474 (s+14.23) (s-5.964) (s+0.02187)}{(s+0.04086) (s^2 + 4.659s + 6.78)}$$

В результате дифференциальное уравнение корректора с учетом отрицательности обратной связи запишется в операторной форме так:

$$(p^3 + 4.7 p^2 + 6.97 p + 0.277)u(t) = -(32.47 p^3 + 269.1 p^2 - 2750 p - 60.28)y(t).$$

Определитель восстановленной системы в факторизованной форме:

```
>> zpk(1+Fsys*Cor)
      (s+32) (s+16) (s+2) (s+1) (s+1) (s+0.4005) (s+0.1998)
-----
(s+32) (s+16) (s+0.04086) (s^2 - 0.1s + 1.003) (s^2 + 4.659s + 6.78)
```

Числитель определителя представляет собой ХП восстановленной (замкнутой) системы, а знаменатель – ХП неисправной (разомкнутой) системы. Видно, что с.з. восстановленной системы равны заданным.

Порядок восстановленной системы равен 7.

Полиномиальный метод восстановления объединяет этапы компенсации нулями «хороших» полюсов неисправной системы и кор-

рекции. Как следует из выражения для определителя «хорошие» корни -16 и -32 остались на месте.

Недостаток операторного метода заключается в высокой чувствительности системы управления к неточной реализации алгоритма реконфигурирования. Причина кроется в том, что метод связан с выполнением операций вычитания больших по модулю чисел (коэффициентов операторных полиномов) одного порядка.

3. Матричные методы восстановления систем управления. Матричные критерии управляемости и наблюдаемости состояния, простейшими из которых являются ранговые критерии Калмана, не приспособлены для решения задачи топологического синтеза. В задачах восстановления достаточна селективная управляемость указанных составляющих вектора состояния. Поэтому этапы топологического синтеза и обеспечения селективной управляемости восстановленной системы необходимо выполнять в комплексно-частотной области.

Для структурно-параметрического синтеза корректора можно использовать методы пространства состояний [100]. Восстанавливается селективно управляемая неустойчивая часть неисправной системы, представленная в виде дифференциальных уравнений в векторно-матричной форме:

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{v}}{dt} &= \mathbf{A}\mathbf{v} + \mathbf{B}u_a, \mathbf{v}(0); \\ y_b &= \mathbf{C}\mathbf{v}. \end{aligned} \tag{9}$$

где u_a – восстанавливающее (корректирующее) воздействие; y_b – измеряемая переменная. Здесь решается задача *параметрического* синтеза – вычисления матрицы коэффициентов обратной связи по состоянию $u_a = \mathbf{K}\mathbf{v}$ и матрицы наблюдателя состояния $\mathbf{L}$. Регулятор и наблюдатель состояния образуют динамический регулятор, порядок которого равен порядку селективно управляемой части неисправной системы n_0 . Если воспользоваться редуцированным наблюдателем, то порядок восстановленной части системы равен $2n_0 - 1$, что совпадает с операторным методом.

Задачи решаются методом размещения с.з. (так называемое *модальное* управление) или аналитического конструирования оптимальных регуляторов.

Метод размещения с.з. иллюстрируется на том же примере восстановления системы управления, что и при синтезе полиномиальным методом. Введем в рабочее пространство MATLAB числитель и знаменатель ПФ:

```
>> num=1;den=[1 47.9 508.2 -3.08 513.3];
```

и вычислим матрицы:

```
>> [A,B,C,D]=tf2ss(num,den)
>> Fsys1=ss(A,B,C,D);
```

Неисправная система имеет пару неустойчивых с.з.:

```
>> eig(Fsys)
-32.0002 + 0.0000i
-15.9999 + 0.0000i
0.0500 + 1.0000i
0.0500 - 1.0000i
```

Система управляема и наблюдаема:

```
rank(ctrb(A,B)) = 4;
rank(observ(A,C)) = 4.
```

Назначим желаемые с.з., причем два устойчивых с.з. оставим на месте:

```
>> p=[-32 -16 -1+1.0i -1-1.0i];
```

Вычислим коэффициенты регулятора состояния:

```
>> k=place(A,B,p)
```

Для синтеза наблюдателя желаемые с.з. рекомендуется назначить несколько большими по сравнению с с.з. контура стабилизации:

```
>> po=3*p;
```

Вычислим матрицу наблюдателя:

```
>> L=place(A',C',po)
```

и ПФ корректора в факторизованном виде:

```
>> Cor1=reg(Fsys1,k,L)
>> zpk(Cor1)
      -1.9953e05 (s+32.02) (s+16) (s+0.06374)
-----
      (s+48.04) (s+95.99) (s^2 + 8.061s + 33.13)
```

Корректор имеет нули -16 и -32 , равные устойчивым с.з. неисправной системы. Следовательно, матричный метод объединяет этапы компенсации и коррекции, если их включить в состав желаемых с.з. Определитель восстановленной системы:

```
>> zpk(1-Fsys1*Cor1)
      (s+96) (s+48) (s+32) (s+16) (s^2 + 2s + 2) (s^2 + 6s + 18)
-----
      (s+32) (s+48.04) (s+95.99) (s+16) (s^2 - 0.1s + 1.003) (s^2 + 8.061s + 33.13)
```

Порядок восстановленной системы удвоился по сравнению с неисправной системой и равен 8.

4. Комплексно-частотный метод восстановления. Классические частотные методы [100, 102] разработаны, главным образом, для синтеза систем с одним входом и одним выходом по требованиям к передаче канала воспроизведения сигнала задания, т.е. по модели M_{YSF} . Графоаналитические методики формирования асимптотических ЛАЧХ минимально-фазовых систем не могут быть применены к восстановлению систем управления M_S , потерявших устойчивость.

Применение современных программных средств создает предпосылки развития *комплексно-частотного* подхода к восстановлению неустойчивых систем управления. Рациональные ПФ неисправной и восстановленной систем, вводимых дуг, а также определителя графа представляются в факторизованной форме:

$$k \frac{\prod_j (s - z_j)}{\prod_i (s - p_i)},$$

что позволяет контролировать нули и полюсы, их точную или приближенную компенсацию.

Комплексно-частотный метод восстановления сводится последовательно к формированию ЛАЧХ эквивалентного контура $L_e(\omega)$, т.е. к выбору коэффициента усиления k_{cb} , нулей и полюсов ПФ компенсатора $W_{dc}^{\text{ком}}(s)$ и корректора $W_{ac}^{\text{кор}}(s)$, как показано на рисунке 9. Метод основан на управлении «подвижностью» с.з. при замыкании новых контуров графа, образуемых дугами усиления, компенсации (d, c) , коррекции (c, b) и путями в графе неисправной системы из вершины a в вершину b .

Структура средств восстановления определяется числом вводимых нулей и полюсов ПФ $W_{ac}^{\text{кор}}(s)$ и $W_{dc}^{\text{ком}}(s)$.

Не все с.з. при замыкании контуров перемещаются в одинаковой степени. Это зависит от усиления контура:

$$K_e(s) = \Phi_{ba}(s)W_{ad}^{\text{кор}}(s)W_{dc}^{\text{ком}}k_{cb}$$

на частотах, равных модулям корней.

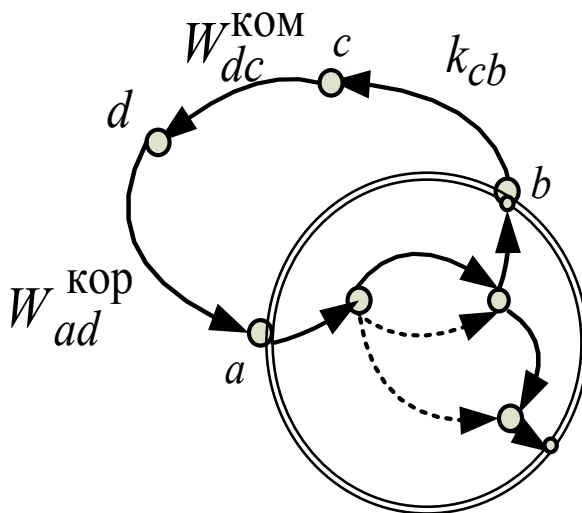


Рис. 9. Восстановление неисправной системы

1. На частотах перемещаемых полюсов усиление эквивалентного контура должно быть достаточно высоким (не ниже 12...16 дБ).

2. Если на некотором интервале частот $20 \lg \text{mod } K_e(j\omega) < -16$ дБ, то с.з., модули которых принадлежат этому интервалу, перемещаются

мало при замыкании/размыкании контура. Нули ПФ $\Phi_{ba}(s)$ в области малых усиления практически не влияют на с.з. замкнутой системы.

3. Полюсы ПФ $\Phi_{ba}(s)$ «неподвижны», если их компенсируют равные им нули, т.е. на комплексной частоте полюсов усиление контура равно нулю.

4. Полюсы из области больших усиления при замыкании контура приближаются к нулям в этой области частот.

5. Полюсы из области больших усиления при замыкании контура оказываются в окрестности так называемой частоты среза, т.е. в области, где усиление контура близко к единице $\text{mod } K_e(j\omega) \cong 1$, т.е. $L_e(\omega) \cong 0$. Действительно, из условия:

$$K_e(s_i) = \frac{B_e(s_i)}{A_e(s_i)} = -1$$

следует: $A_{\text{зам}}(s_i) = A_e(s_i) + B_e(s_i) = 0$ – ХП замкнутой системы имеет такие корни.

Пусть диагностирование выявляет «плохие» с.з. системы управления или идентифицирует интервал частот Ω , которому они принадлежат.

Методика восстановления систем в комплексно-частотной области складывается из следующих операций.

1. Топологический синтез – определение места включения дуги (a, b) в граф неисправной системы.

2. Анализ ЛАЧХ неисправной системы $L_{ba}(\omega) = 20 \lg \text{mod } \Phi_{ba}(j\omega)$ на частотах с.з., подлежащих перемещению. Условием достаточной подвижности с.з. является усиление эквивалентного контура $L_e(s)$ не менее 16...20 дБ в области частот Ω , содержащих модули перемещаемых с.з.

3. Если усиления $L_{ba}(\omega)$ на частотах Ω недостаточно (или избыточно), то выбирается минимально необходимое усиление дуги k_{ab} . В результате ЛАЧХ эквивалентного контура:

$$L_e^{\text{НСК}}(\omega) = 20 \lg k_{ab} + L_{ba}(\omega)$$

смещается вверх или вниз.

4. Анализ корней ХП замкнутой системы, т.е. корней полинома $A^{\text{НСК}}(s)$ числителя определителя эквивалентной одноконтурной системы:

$$\Delta^{\text{HCK}}(s) = 1 + K_e(s) = 1 + k_{ab}\Phi_{ba}(s) = \frac{A^{\text{HCK}}(s)}{A_0(s)}.$$

Если повышение усиления контуров недопустимо приближает некоторые корни к границе устойчивости (приводит к неустойчивости), то необходимо корректировать эквивалентный контур.

5. Дуга (a, b) «подразбивается» на усилитель k_{cb} и дугу с ПФ $W_{ac}^{\text{КОМ}}(s)$, обеспечивающей неподвижность «хороших» полюсов (см. рисунок 7). Для этого ПФ $W_{ac}^{\text{КОМ}}(s)$ должна иметь нули $\{z_j\}; j=1, 2, \dots$, компенсирующие «хорошие» полюсы $\Phi_{ba}(s)$.

6. Если скомпенсированная система имеет неприемлемые с.з., то необходим этап коррекции, придающей ЛАЧХ типовой вид. В окрестности частоты среза ЛАЧХ $L_e(\omega)$ должна иметь асимптоту с наклоном -20 дБ/дек достаточной протяженности, что обеспечивает желаемое размещение доминирующих с.з. Формирование типового вида ЛАЧХ достигается дополнением ПФ контура дуги нулями и полюсами без существенного снижения усиления на частотах модулей перемещаемых с.з.

7. Наличие правых нулей, близких к правым полюсам, существенно затрудняет или даже делает невозможным синтез систем стабилизации частотным методом.

Таким образом, формирование желаемой типовой ПФ сводится к выбору полюсов и нулей в окрестности частоты среза. Типовому расположению корней ХП восстановленной системы отвечает типовое соотношение усиления, нулей и полюсов передаточной функции $W_{ab}(s)$, а следовательно, типовой вид ЛАЧХ $L_e(\omega)$ в области частоты среза. Типовые ЛАЧХ характеризуются частотой среза $\omega_{\text{ср}}$ и двумя параметрами L_2 и L_3 . Частота среза определяет масштаб на плоскости корней – среднегеометрическое корней, имеющих типовое расположение. Чем больше $\omega_{\text{ср}}$, тем больше модули корней и выше быстродействие восстановленной системы. В зависимости от соотношения параметров L_2, L_3 может быть различным тип расположения с.з. системы.

В задаче формирования свободных движений желаемые ЛАЧХ целесообразно формировать по специальным диаграммам связи корней ХП замкнутой системы с нулями и полюсами ПФ разомкнутой системы [27]. В условиях применения программных средств для автоматизации процедур восстановления систем управления диаграммы могут помочь

в выборе начальных значений нулей и полюсов. Далее в режиме оперативного взаимодействия с компьютером эти параметры уточняются.

Пример восстановления неисправной системы. На ЛАЧХ неисправной системы (рисунок 10) видно, что на частоте неустойчивой пары с.з. усиление мало.

Введем в новые контуры усилитель $k_{cb} = 2000$. Для коррекции вводим нуль -2.0 , т.е. $W_{ac}^{кор}(s) = 0.5s + 1$. Это восстанавливает запас устойчивости системы управления. Числитель определителя сигнального графа, т.е. ХП восстановленной системы:

$$\begin{aligned} &>> \text{zpk}(1+2000*\text{Com}*F_{\text{sys}}2) \\ &\quad (s+33.59)(s+12.61)(s^2 + 1.707s + 5.936) \\ &\quad \text{-----} \\ &\quad (s+32)(s+16)(s^2 - 0.1s + 1.003) \end{aligned}$$

показывает, что система устойчива.

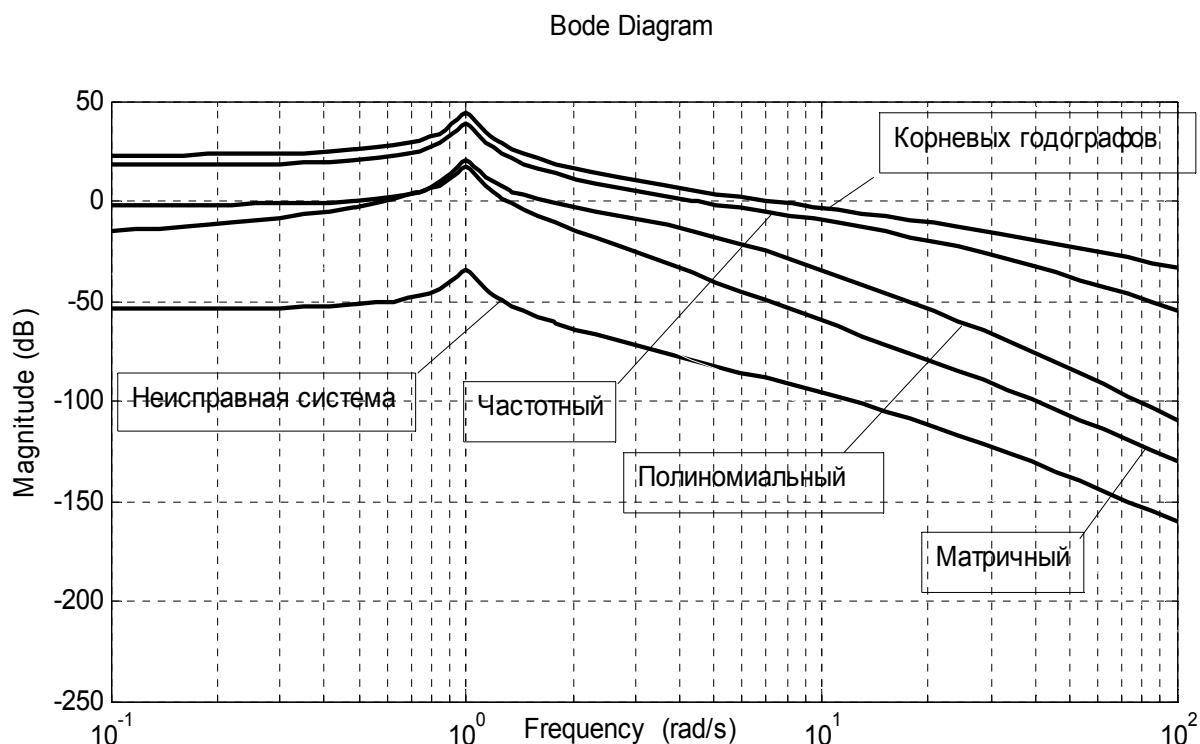


Рис. 10. ЛАЧХ систем, восстановленных разными методами

В результате восстановления систем управления комплексно-частотным методом получается не только структура, но также при-

ближенные значения параметров (коэффициент усиления, нули и полюсы ПФ дуг).

На рисунке 10 представлены ЛАЧХ систем, восстановленных разными методами.

Сравнительный анализ методов восстановления. Преимущества методов пространства состояний, заключающиеся в возможности полной формализации и автоматизации расчетов в стандартных постановках задач синтеза регуляторов, несколько теряются при решении задач восстановления неисправных систем управления. Методы имеют ряд недостатков:

- анализ управляемости и наблюдаемости по критериям Калмана не позволяет решать задачу топологического синтеза в полном объеме и контролировать селективную управляемость;
- устройства восстановления запасов устойчивости имеют высокий порядок, что ставит дополнительную нетривиальную задачу редукции;
- нельзя контролировать условия невмешательства реконфигурирующих обратных связей на свойства инвариантности к возмущениям;

При выборе для восстановления неисправных систем управления матричных методов рекомендуется метод размещения с.з. (так называемое модальное управление). Это обосновывается тем, что альтернативный метод аналитического конструирования регуляторов предполагает, что требования устойчивости и качества процессов можно описать в неявной форме как экстремали обобщенного интегрального квадратичного функционала. Формализация требований к динамике восстановленной системе в виде весовых матриц крайне затрудняет задачу минимизацию сложности системы.

Полиномиальный метод также решает задачу размещения с.з. Подбором операторных полиномов $B_R(p)$ и $A_R(p)$ можно получить любой желаемый характеристический полином восстановленной системы и даже добиться понижения степени за счет взаимного уничтожения старших коэффициентов. При этом часть корней полинома уходит в бесконечность. Поскольку неточная компенсация может дать полиномы с малыми отрицательными коэффициентами, то часть корней переходит в правую полуплоскость. Системы, полученные таким образом, оказываются негрубыми – при малейшей неточности в реализации регулятора или несоответствии объекта модели система будет катастрофически неустойчивой – характеристический полином A_3 будет иметь большие по модулю правые корни. Недостатком полиномиального метода является

высокая чувствительность результатов к выбору желаемых с.з., что может привести к неустойчивым решениям.

Комплексно-частотный метод восстановления учитывает собственные свойства неисправной системы. Формирование «желаемой» восстановленной системы с учетом динамики неисправной системы позволяет минимизировать сложность восстановленной системы. Современные программные средства снимают известное ограничение минимально-фазовости ПФ, так как позволяет контролировать компенсацию полюсов нулями. Метод естественным образом продолжает этап топологического синтеза разработанного в 3. Частотные характеристики позволяют относительно независимо формировать свойства подсистем различных уровней по диапазонам частот, что является предпосылкой декомпозиции процедур синтеза основной и супервизорной систем.

Метод корневого годографа дает результат, близкий к комплексно-частотному методу (см. ЛАЧХ на рисунке 10). Действительно, в основе обоих методов лежит теория функций комплексного аргумента и модели в форме рациональных ПФ. Метод корневого годографа связан с размещением нулей и полюсов ПФ контура на комплексной плоскости и выбором усиления, а комплексно-частотный метод – сводится к формированию ЛАЧХ в условиях контроля нулей и полюсов ПФ.

Вывод: для синтеза восстановленных СУ рекомендуется комплексно-частотный подход, объединяющий в едином базисе топологический и структурно-параметрический этапы синтеза.

1.5. Параметрическая оптимизация и анализ восстановленных систем

Предлагаемые в 4 методы синтеза дают не только структуру, но также приближенные значения параметров реконфигурирующих средств, обеспечивающих минимально необходимые показатели качества процессов в восстановленных системах управления. Во многих практических случаях не требуется полного восстановления неисправных систем. Вместе с тем, оптимизация параметров по практически обоснованным критериям улучшает динамику восстановленных систем без усложнения структуры операторов и топологии системы.

Рассмотрим пример восстановления неисправной СУ турбоагрегатом (см. рисунок 2) комплексно-частотным методом. Заметим (см. рисунок 6), что усиления выбранного на этапе топологического синтеза канала (2-1) недостаточно для существенного перемещения неустойчивых с.з. – на частоте 0.27 рад/с усиление контура составляет около 5 дБ. Введем в контур обратной связи звено с усилением 10, в результате чего ЛАЧХ канала поднимется, как это показано на рисунке 5.6 штриховой линией sys21g. Для формирования типового вида ЛАЧХ в окрестности частоты среза в контур коррекции введем нуль $z_1 = 5$ и полюс $p_1 = 0.2$, в результате чего дуга коррекции будет описываться ПФ:

$$k \frac{\tau s + 1}{Ts + 1} = 10 \frac{0.2s + 1}{5s + 1}. \quad (10)$$

На рисунке 11 приведена компьютерная модель восстановленной системы управления. Обрыв связи на выходе усилительного звена с коэффициентом 0.9 (вход сумматора Sum3), имитируется подсистемой Fault-Generation Subsystem. Подсистема Recnfiguration Subsystem после локализации неисправности (на что требуется примерно 30 с) реконфигурирует СУ путем ввода корректирующей обратной связи.

Результаты компьютерной имитации приведены на **рисунке 11**. До момента наступления неисправности система, функционирующая в нормальных условиях случайных возмущений среды, имеет типовую реакцию на ступенчатое задающее воздействие. Неисправность на 50-й секунде приводит к потере устойчивости системы и к расхождению процессов. Реконфигурирование системы на 80-й секунде стабилизирует систему – колебания затухают.

Однако реконфигурированная система заметно теряет в качестве процессов, которые становятся более колебательными.

Оптимизация параметров восстановленных систем. Разработка методик параметрического синтеза связана с выбором: начальной точки поиска, критерия оптимизации, метода поиска экстремумов функционалов качества, инструментальных средств автоматизации поиска. Если принято решение об оптимизации параметров поисковыми методами, то в качестве начальных значений параметров принимаются результаты структурного этапа синтеза. Это гарантирует, что поиск начнется в области устойчивости пространства параметров.

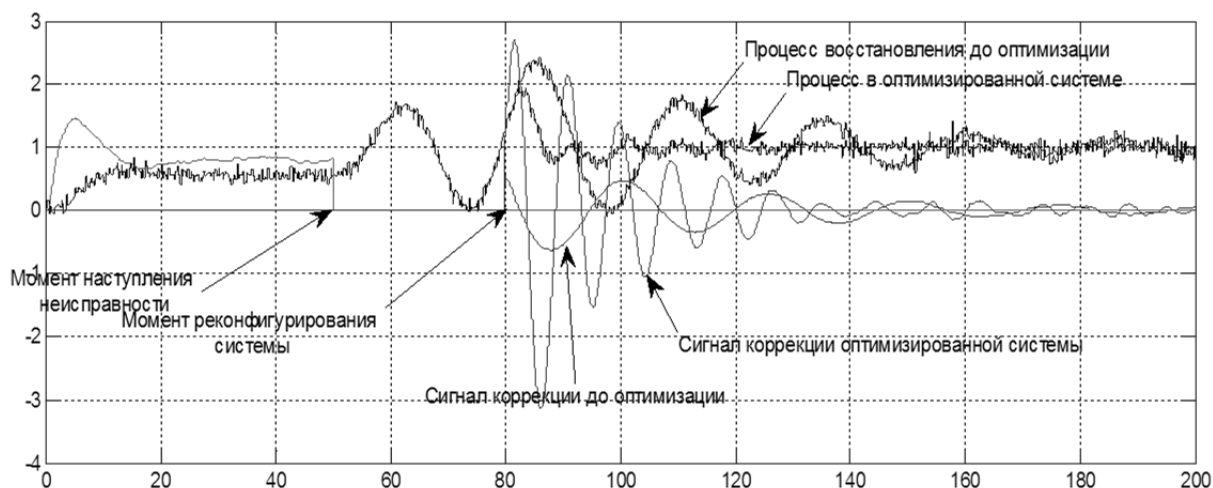


Рис. 13. Сравнение процессов восстановления

Оптимизация системы по критерию минимума взвешенного интеграла модуля ошибки (первого момента модуля ошибки):

$$J_1 = \int t [abc(y(t) - 1)] dt$$

дает: $k = 5.76$; $\tau = -2.12$ с; $T = 9.45$ с. Процессы при этом несколько уступают по качеству по сравнению с коррекцией (12).

Результаты оптимизации позволяют сформулировать некоторые **выводы**: 1) наилучшими являются процессы, когда параметры звеньев коррекции оптимизируют функционал (11); 2) оптимизация параметров ускоряет действие контура реконфигурирования.

Анализ восстановленных систем. В общем случае вновь образуемые контуры изменяют характеристики передач СУ. Как видно из рисунка 13, смещается рабочая точка системы стабилизации, процессы затухают к иному значению. Это объясняется тем, что обратная связь с передаточной функцией (10) имеет ненулевое усиление по постоянному сигналу.

Анализ примера восстановления системы управления турбоагрегатом позволяет сделать некоторые **выводы**:

- 1) одновременно с коррекцией динамики следует корректировать и задающее воздействие на систему;
- 2) при необходимости следует восстановить свойство инвариантности к возмущениям;
- 3) важнейшее значение имеет время обнаружения и локализации неисправности, принятия решения и реконфигурирования системы.

Необходимость подстройки задающего воздействия возникает в случае, когда дуга динамической коррекции со значительным усилением на частотах воздействия образует контур, касающийся путей передачи воздействия. Простейшим является решение, когда восстановление динамики неисправной системы сопровождается подстройкой задающего воздействия. Поправка на задающее воздействие вводится после некоторого времени, так как скачкообразное изменение задания одновременно с коррекцией динамики может вызвать потерю устойчивости восстановленной системы. На рисунке 14 приведены процессы, связанные с неисправностью на 50-й секунде, коррекцией на 80-й секунде и подстройкой задания на 100-й секунде.

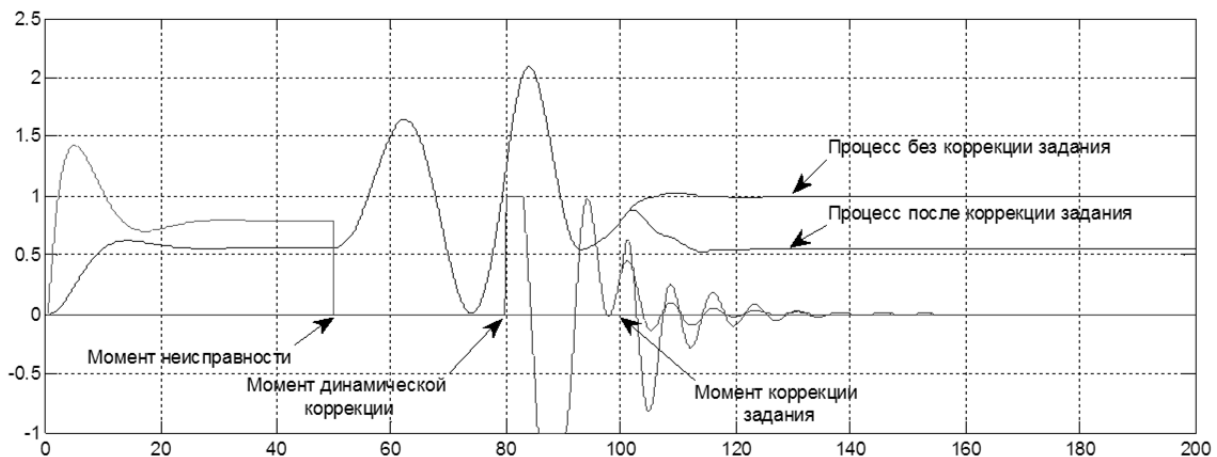


Рис. 14. Процессы динамической коррекции с последующей подстройкой задания

Необходимые топологические условия инвариантности переменных y_q к возмущениям f_r детально разработаны в 8. Восстановление условий инвариантности достигается реконфигурированием СУ, т.е. введением в граф дуг, образующих:

- 1) новые пути $P_{qr}^p(s)$ от возмущений до выхода системы, т.е. каналы компенсации возмущения;
- 2) контуры отрицательной обратной связи с большим усилением на частотах возмущения и малым усилением на частотах, которым принадлежат доминирующие с.з.;
- 3) контуры положительной обратной связи за счет введения дуги в *третьей позиции* по отношению к пути.

Первый, наиболее предпочтительный, вариант реконфигурирования не затрагивает свойства устойчивости, если дуга компенсации не

входит в контурную часть системы. Второй вариант реконфигурирования более реален по сравнению с первым и на практике может быть рекомендован как основной. Третий вариант применяется редко и только в специальных системах с «косвенным измерением» возмущений, причем, для обеспечения селективной инвариантности [71].

Суммарный период времени, необходимый для обнаружения и локализации неисправности, принятия и исполнения решения о реконфигурировании системы является важнейшим параметром СОУ. Для оценки максимально допустимого периода следует построить зависимости устойчивости и качества процессов от этого параметра. В силу гибридного характера модели СОУ искомая зависимость может быть построена только с помощью компьютерной имитации. На рисунке 15 приведены примеры процессов в СУ частотой вращения турбоагрегата, где неисправность вызывает потерю устойчивости режима. Чем позже срабатывает контур супервизорного управления, тем хуже процессы реконфигурирования. Предельное значение периода диагностирования неисправностей и реконфигурирования системы для рассматриваемого примера равно 40 с.

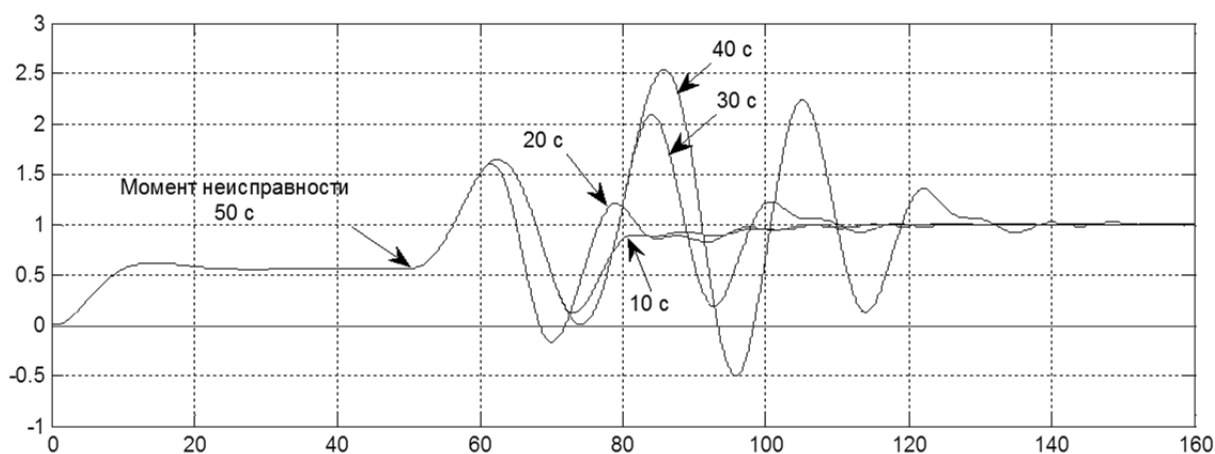


Рис. 15. Процессы реконфигурирования

Более позднее реагирование СОУ на неисправность приводит к тому, что процессы не удается стабилизировать.

1.6. Синтез и восстановление сложных систем управления

Современные СУ имеют иерархическую организацию и образованы взаимодействием подсистем со своими и общесистемными функциями и

целями и представляют сложные системы управления (ССУ) [25]. Решение о создании ССУ принимается из-за того, что сложный объект имеет неудовлетворительную динамику, а о создании СОУ – необходимости повышения надежности опасных технологических установок.

В соответствии с интегрированным подходом к построению СОУ (см. 1) на этапе синтеза СУ недостатки объекта рассматриваются как *поток неисправностей*, следующих в произвольном порядке. Синтез СУ аналогичен действиям систем супервизорного уровня с тем отличием, что проектирование СУ ТП происходит в режиме *off-line*.

При разработке ССУ решаются задачи синтеза СУ подсистем, а также задачи отказоустойчивости отдельных подсистем и в целом ТП. Решение этих задач упрощается, если связи между элементами подсистем значительно сильнее взаимосвязей между подсистемами [25, 27].

Проблемы, вызванные большой неопределенностью и высокой размерностью моделей преодолеваются распределением целей управления между подсистемами, а также декомпозицией процедуры синтеза ССУ. Декомпозиция также обеспечивает децентрализацию управления, что уменьшает риск отказов СУ в целом при неисправностях подсистем.

Синтез ССУ сводится к поочередному устранению недостатков объекта, локализованных с точностью до подсистем. Методика последовательного синтеза ССУ иллюстрируется на примере ТП подготовки паров ТКН (см. рисунок 6), образованного взаимосвязанными подсистемами $\{M_{S1} M_{S2} M_{S3} M_{S4}\}$ (см. рисунок 8). Анализ динамики каждой из них выявляет неполное соответствие динамики требованиям технологии.

«Восстановление» ТП сводится к последовательному устранению недостатков подсистем в любом порядке, например: $M_{S1} \rightarrow M_{S2} \rightarrow M_{S3} \rightarrow M_{S4}$. Первый этап синтеза должен ослабить влияние «неисправности», локализованной с точностью до подсистемы S_1 . Уровень жидкой фазы ТКН $h_{нб}$ в напорном баке НБ подвержен сильному влиянию возмущений среды. Целью подсистемы управления является обеспечение селективной инвариантности переменной $h_{нб}$ к низкочастотным возмущениям при улучшении показателей качества свободных и вынужденных составляющих процессов.

Поскольку нет возможности получения текущей информации о причинах возмущений для компенсации их последствий, реконфигурирование сводится к реализации принципа обратной связи, т.е. охва-

ту объекта обратными связями. На языке теории ориентированных графов это означает добавление в граф новой дуги (a, b) . Выбор предопределен технологией процесса и конструкцией аппарата. Как точку приложения управляющего воздействия целесообразно выбрать положение $u_{нб}$ регулирующего клапана КН (см. рисунок 6), когда соблюдаются необходимые топологические условия ослабления возмущений и воспроизведения задания:

- контур регулирования касается пути передачи возмущений к управляемой переменной;
- дуга (a, b) с большим усилением не входит в пути передачи возмущений на выход подсистемы S_1 ;
- дуга (a, b) с большим усилением входит в путь, образующий канал воспроизведения задания.

Структурно-параметрический этап синтеза выполняется комплексно-частотным методом. Вначале необходимо добиться ослабления возмущений с известными частотными спектрами, т.е. *обеспечить селективную инвариантность до ε* управляемой переменной $h_{нб}$. Пусть приведенные к выходу объекта эквивалентные низкочастотные сигналы из расширенного диапазона $0 \dots 0.0001$ рад/с должны ослабляться более 10 раз. Это означает, что на частотах возмущений усиление создаваемого контура должно быть не менее 20 дБ. ЛАЧХ объекта в целом по каналу вход-выход $(1, 1)$ подсистемы S_1 приведена на рисунке 16 (кривая 1).

На низких частотах усиление канала управления мало (около 3 дБ), что не обеспечивает требуемой степени ослабления возмущений. Для реализации инвариантности в контур регулирования вводится так называемый внутренний компенсатор возмущений с коэффициентом усиления 10. Это поднимает ЛАЧХ на 20 дБ (кривая 2 на рисунке 16).

Далее выполняется *коррекция инвариантной системы*. В области средних частот асимптота ЛАЧХ с наклоном -20 дБ/дек обеспечивает необходимый запас устойчивости системы. Задачу решает П-регулятор $R1$; при этом порядок системы равен порядку объекта 16. Установившаяся реакция системы в результате коррекции подсистемы S_1 не превосходит значения 0.005 м вместо 0.08 м в объекте. Ускоряется и время процесса: вместо $150\,000$ с процесс практически затухает за 8000 с.

На втором, третьем и четвертом этапах последовательного синтеза в качестве объекта рассматриваются системы, полученные в результате первого, второго и третьего этапа. Методики синтеза аналогичны. В ре-

зультате система децентрализованного управления PP_TKN_SS_S имеет порядок 18, так как порядок объекта равен 16, регуляторы $R1$ и $R2$ безынерционны, а регуляторы $R3$ и $R4$ подсистем S_3 и S_4 соответственно имеют передаточные функции первого порядка:

$$R3(s) = \frac{5000s + 1}{100s + 1}; \quad R4(s) = \frac{2000s + 1}{50s + 1}.$$

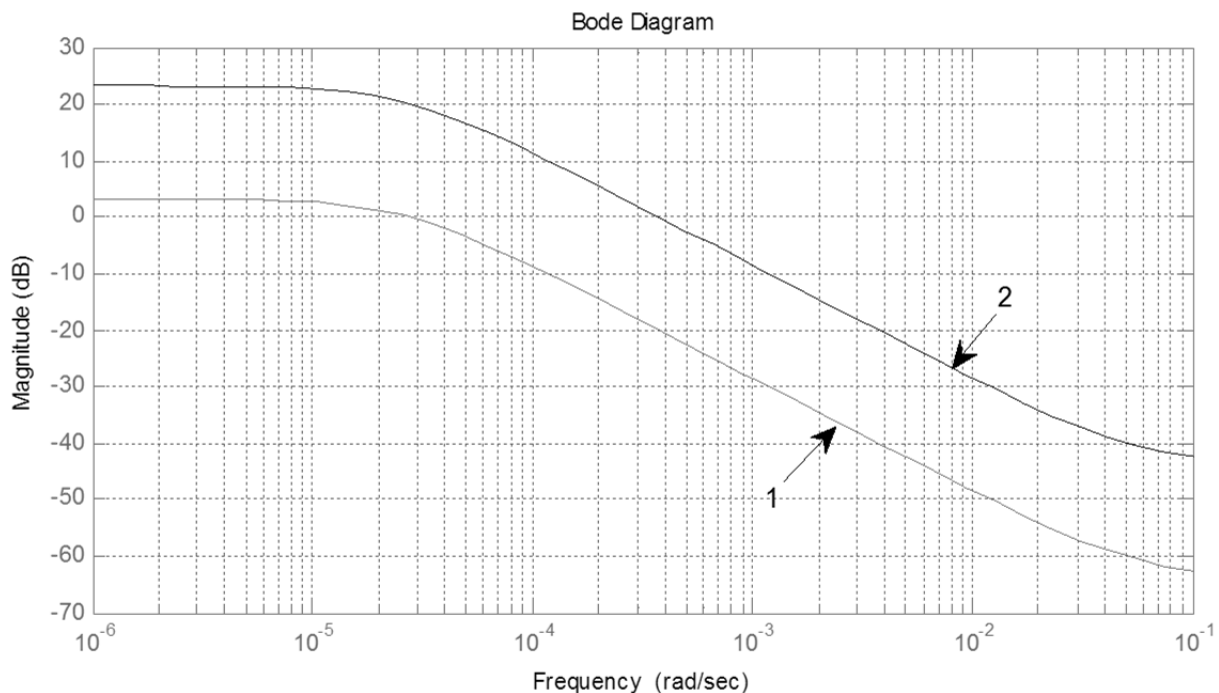


Рис. 16. ЛАЧХ контура до (1) и после (2) «внутренней» компенсации возмущений

Таким образом, в результате последовательности синтеза из четырех этапов получена сложная система децентрализованного управления – рисунок 17. Порядок системы равен 18, так как порядок объекта равен 16, а регуляторы $R3$ и $R4$ имеют первый порядок.

Анализ ССУ ТП позволяет констатировать, что построена устойчивая модель с корневыми показателями качества: $\eta_4 = 0.0002$; $\mu_4 = 3.5$. Результаты свидетельствуют об ускорении процессов в 10 раз по сравнению с объектом ($\eta_0 = 0.000026$). Вместе с тем, система склонна к повышенной колебательности по сравнению с объектом ($\mu_0 = 0.34$).

Синтез СОУ ССУ ТП с применением Data-based подхода. Предполагается, что информация о состоянии ССУ содержится в данных из-

мерений только выходов $y(t)$, изменяющихся под воздействием номинальной среды, т.е. диагностируется система M_{RS} в среде функционирования. В предположении о стационарности среды M_F и связей системы со средой на входе M_{SF} данные измерений $y[k]$, в принципе, позволяют обнаруживать неисправности при условии диагностируемости системы M_S . Анализ диагностируемости СУ детально проведен в 6.

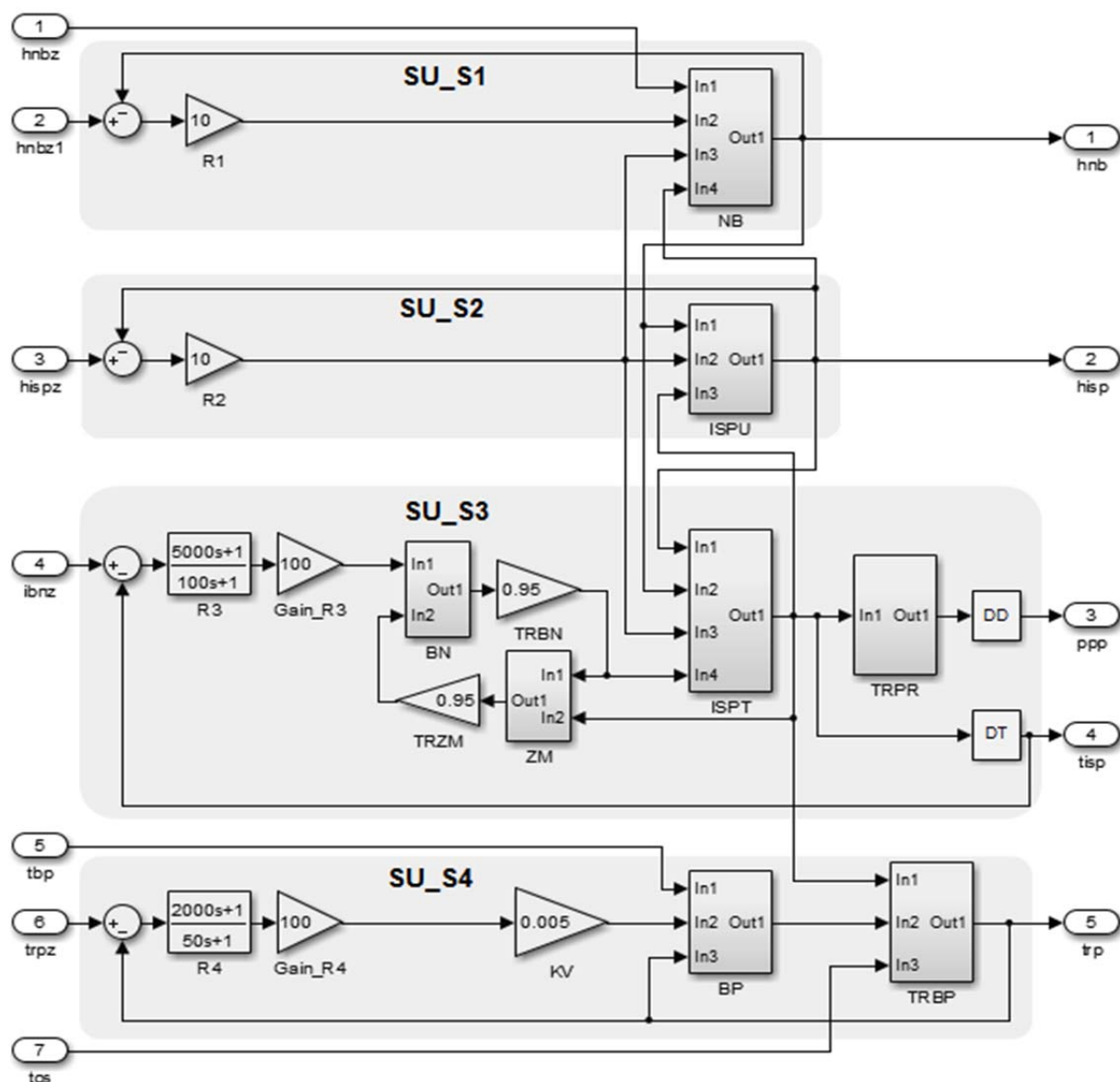


Рис. 17. Система децентрализованного управления ТП подготовки паров ТКН

Диагностическая модель CCY ТП SUB_TKN_SS представлена на рисунке 18. Расширенная система включает модель среды функционирования в режиме нормальной эксплуатации – подсистему

ENVIRONMENT, образованную блоками, генерирующими случайные процессы типа «белый шум» с ограниченной полосой частот. Диагностические признаки различных категорий получаются с помощью специально спланированных компьютерных «экспериментов». Для получения ДП второй и третьей категории построены *AR*-модели номинальной (исправной) системы стабилизации технологических переменных и четырех систем с выбранными неисправностями.

Коэффициенты операторного полинома разностного уравнения – ДП второй категории – оцениваются блоком *AR*, подключенного к выбранному выходу диагностируемой системы (см. рисунок 18). Далее вычисляются модули корней полиномов, т.е. ДП третьей категории (таблица 1).

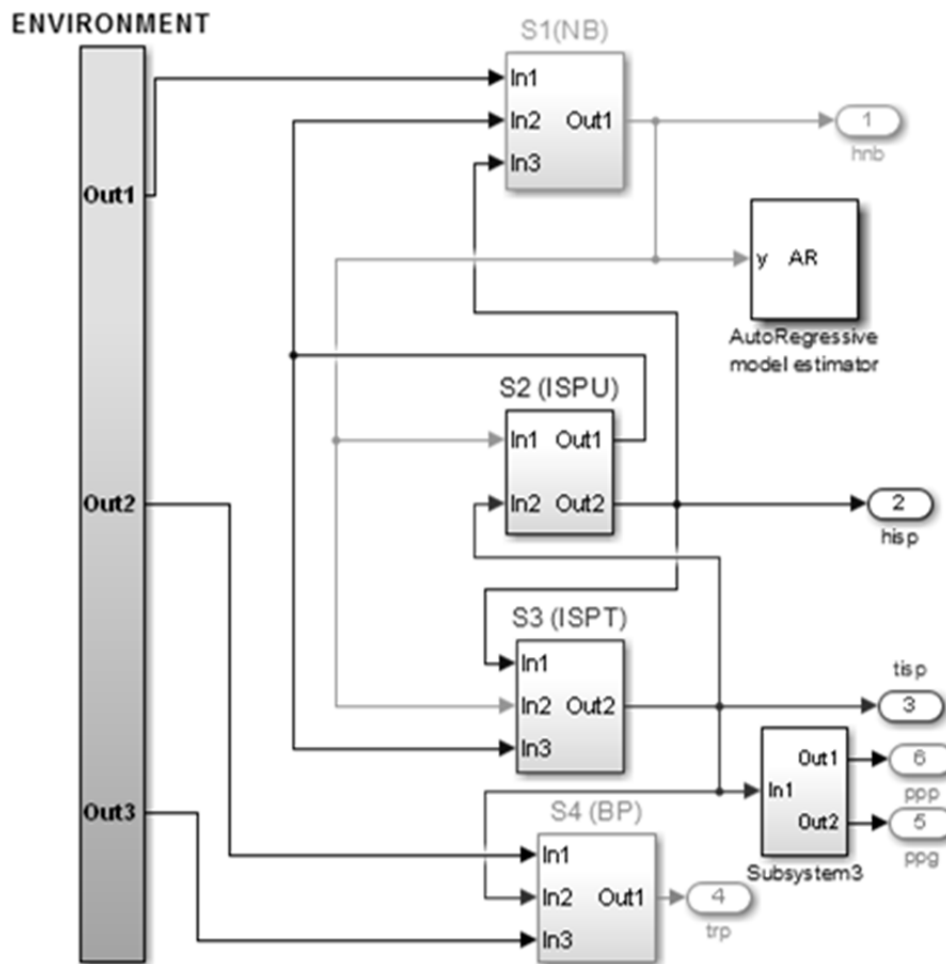


Рис. 18. Диагностическая модель CCY ТП SUB_TKN_SS на языке *Simulink*

Подсистема диагностирования образована четырьмя комплектами идентификаторов, формирователей ДП и нейроклассификаторов,

каждый из которых обрабатывает данные измерений «своей» подсистемы. Это обеспечивает не только обнаружение неисправности, но также ее локализацию с точностью до подсистемы, т.е. постановку диагноза техническому состоянию ССУ.

Таблица 1

Коэффициенты полинома	Модули корней
0. ДП исправной системы SUB_TKN_SS	
$p_{04} = [0.951 \ 0.126 \ -0.0722 \ -0.029786]$	$r_{04} = [0.9354 \ 0.3950 \ 0.3950 \ 0.2040]$
1. Диагностические признаки системы SUB_TKN_SS1 с неисправным клапаном КН подачи жидкого ТКН в напорный бак НБ	
$p_{14} = [-1.021 \ 0.1289 \ -0.0791 \ -0.0237]$	$r_{14} = [0.9951 \ 0.3713 \ 0.3713 \ 0.1730]$
2. Диагностические признаки системы с неисправным клапаном КИ подачи жидкого ТКН в испаритель SUB_TKN_SS2	
$p_{24} = [-2.0243 \ 1.4049 \ -0.71213 \ 0.33285]$	$r_{24} = [0.9917 \ 0.9917 \ 0.5818 \ 0.5818]$
3. Диагностические признаки системы с неисправным электронагревателем в баке нагрева (БН) SUB_TKN_SS3	
$p_{34} = [-2.2479 \ 2.094 \ -1.1436 \ 0.32069]$	$r_{34} = [0.6616 \ 0.6616 \ 0.8559 \ 0.8559]$
4. Диагностические признаки системы с неисправным блоком клапана водяного пара, подаваемого в бак подогрева SUB_TKN_SS4	
$p_{44} = [-1.0379 \ 0.0743 \ 0.0208 \ -0.043];$	$r_{44} = [0.986 \ 0.3726 \ 0.3726 \ 0.3150]$

Методика обучения нейроклассификаторов [132] состоит из следующих пунктов: 1) выбор категории ДП и проведение цикла компьютерных экспериментов с образцами исправной и неисправных систем для формирования соответствующего признака; 2) выбор типа и архитектуры нейронной сети; 3) формирование обучающих последовательностей; 4) обучение (тренировка) сети; 5) анализ сети.

Восстановление неисправной ССУ ТП. Пусть обнаружена и локализована неисправность подсистемы S_2 – не закрывается клапан КИ подачи жидкого ТКН в испаритель. На рисунке 19 приведены графики изменения уровня в испарителе $h_{исп}$ в номинальной (кривая 1) и неисправной (кривая 2) системах при ступенчатом изменении задания $h_{исп. зад}$. Естественно, неисправность регулирующего клапана испарителя $u_{исп}$ вызывает полную неуправляемость переменной $h_{исп}$.

Анализ восстанавливаемости системы управления сводится к поиску исправного регулирующего органа, способного воздействовать на уровень жидкой фазы ТКН в испарителе. Необходимым топологиче-

ским условием восстанавливаемости является существование пути в графе системы от вершины выхода исправного исполнительного механизма до вершины, соответствующей уровню ТКН в испарителе $h_{\text{исп}}$. На уровень ТКН в испарителе влияют положение регулирующего клапана напорного бака $u_{\text{нб}}$ и сила тока бака электронагрева воды $i_{\text{бн}}$. Поскольку второй путь значительно длиннее, то выбирается потенциально более эффективный путь меньшей длины. Таким образом, на этапе анализа восстанавливаемости решается задача топологического синтеза: реконфигурирование сводится к созданию нового контура регулирования. Регулятор, воздействующий на клапан напорного бака $u_{\text{нб}}$, принимает решения на основе информации об уровне в испарителе $h_{\text{исп}}$.

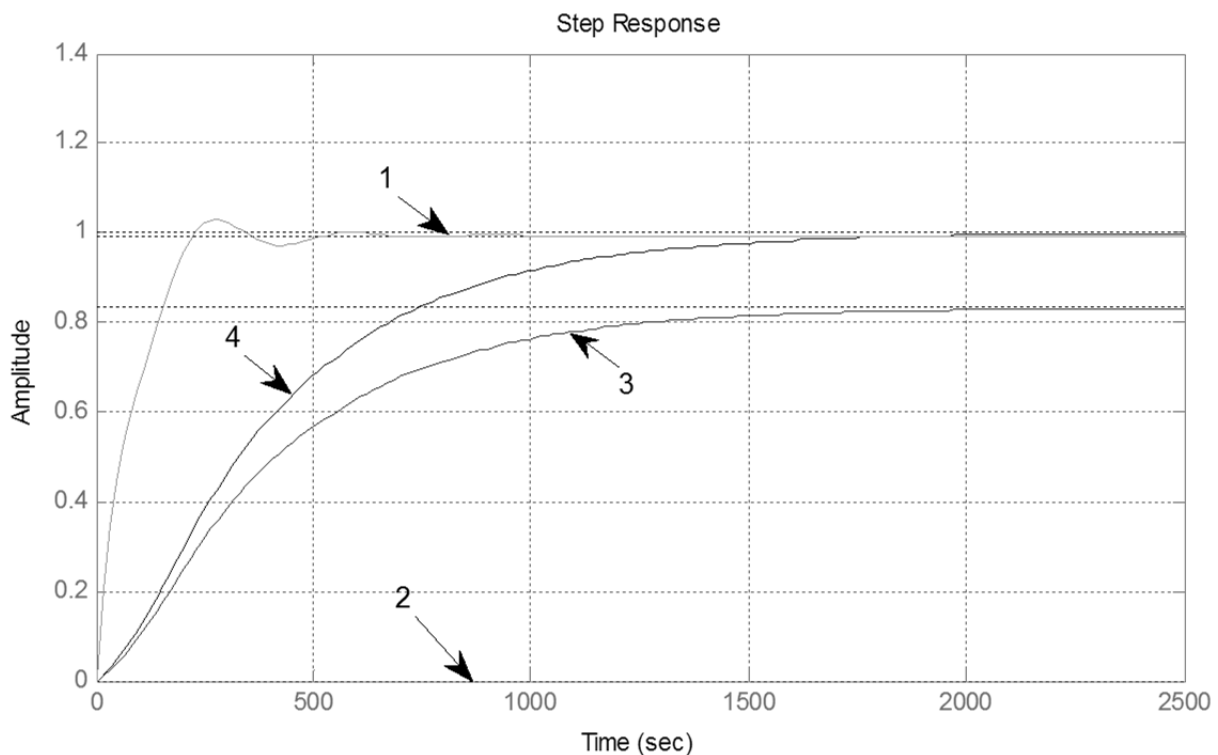


Рис. 19. Изменение уровня ТКН в испарителе в номинальной (1), неисправной (2), восстановленной (3) системах и в системе с коррекцией задания (4)

Достаточное условие восстанавливаемости оценивается по усилению канала передачи $u_{\text{нб}} \rightarrow h_{\text{исп}}$ на частотах, существенных как для воспроизведения задания и подавления возмущений, так и для устойчивости системы. Как показывает ЛАЧХ неисправной системы SUB_TKN_SS2, усиление по каналу $u_{\text{нб}} \rightarrow h_{\text{исп}}$ весьма мало. Поэтому новый контур регулирования должен иметь большое усиление.

Для повышения эффективности нового контура его усиление повышается до 10000.

Анализ с.з. системы показывает, что замыкание контура, образованного в результате реконфигурирования, не приводит к заметному изменению запасов устойчивости, что избавляет от необходимости коррекции с целью восстановления собственной динамики системы в целом. Реконфигурирование частично восстанавливает свойство передачи по каналу управления – вместо заданного значения 1, процесс устанавливается на уровне 0.8. На рисунке 19 приведен график изменения уровня в испарителе при ступенчатом изменении задания в восстановленной системе (кривая 3). Неполное восстановление установившейся составляющей процесса может быть приемлемым временным решением. Поскольку значение уровня в испарителе не полностью отвечает заданию, при необходимости реконфигурирование дополняется подстройкой задающего устройства. Реакция восстановленной системы с коррекцией задающего воздействия на рисунке 19 представлена кривой 4.

Проблема восстановления в рассмотренном примере усугубляется тем, что один и тот же клапан напорного бака используется для достижения двух различных целей: регулирования уровня жидкого ТКН в напорном баке $h_{\text{нб}}$ и испарителе $h_{\text{исп}}$. Необходим анализ степени противоречивости команд от двух регуляторов и, при необходимости, следует принять дополнительные меры по реконфигурированию системы.

Специфика рассматриваемой системы управления заключается в значительной автономности подсистем: процессы в подсистеме регулирования уровня в напорном баке S_1 практически не зависят от технического состояния подсистемы S_2 .

Реконфигурирование нарушает автономность подсистем. Ухудшаются свойства канала передачи задания на уровень ТКН в напорном баке. Подстройка задания подсистемы S_1 отвечает восстановленной системе.

Синтез СОУ ССУ ТП с применением Model-based подхода. Методика синтеза иллюстрируется на примере СУ подсистемой S_3 ТП подготовки паров ТКН (см. рисунок 19). Для анализа вызванных неисправностью изменений передач объекта или системы требуется модель M_{YSF} со связями со средой.

Анализ объекта (см. рисунок 8) показывает сильное взаимодействие подсистем вследствие отсутствия контуров обратных связей в самих подсистемах S_1 и S_2 или «слабых» контуров в подсистемах S_3

и S_4 . В результате по модели M_{YSF} можно сформировать достаточное количество поддающихся контролю передач. На **рисунке 8** показаны 7 входных и 5 выходных портов, что может породить 35 передач, т.е. моделей «вход-выход». Проведен отбор 12-ти комбинаций передач, что позволяет диагностировать неисправности большинства блоков и связей, локализовать неисправностей с точностью до подмножеств из нескольких элементов, а в ряде случаев – до одного элемента.

Для подсистемы S_3 при одном управляющем воздействии можно сформировать две контролируемые передачи – по давлению паров ТКН и по температуре жидкой фазы испарителя. На рисунке 20 представлена укрупненная схема СУ подсистемой S_3 .

Объект управления – подсистема PS_S3 – образован блоками 2 – ISP и 3 – $TRPR$ (см. рисунок 20). Блок 2 включает в себя испаритель $ISPT$, бак нагрева BN , трубопровод бака нагрева $TRBN$, змеевик ZM и трубопровод змеевика $TRZM$. СУ SU_S3 образована датчиком давления DD и температуры DT (блоки 4 и 5), а также управляющим устройством UU (блок 1), включающим в себя регулятор $R3$ и исполнительный механизм; управляющий сигнал – ток i_{bn} бака нагрева испарителя. Основной контур управления образован отрицательной обратной связью от датчика температуры испарителя.

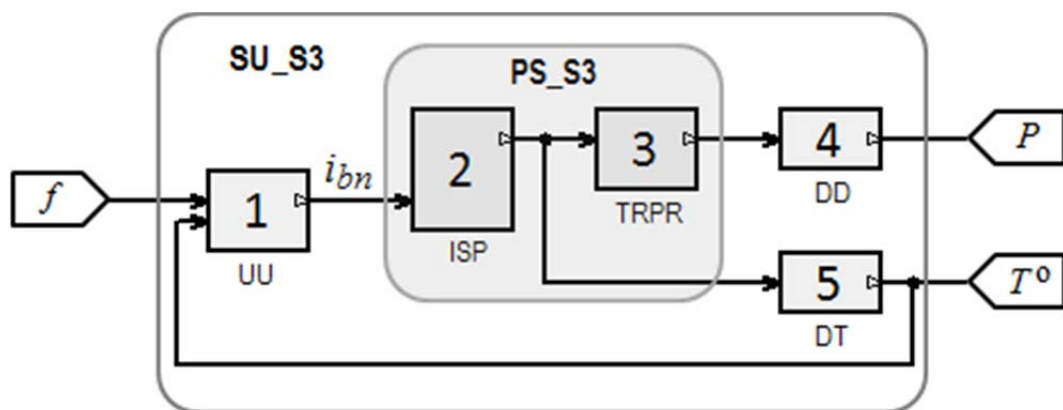


Рис. 20. Укрупненная схема СУ подсистемой S_3

Анализ показывает, что вариации коэффициентов передач блоков 1, 2, 5 в диапазоне $\pm 25\%$ несут существенны, так как приводит к вариациям коэффициентов передач ($f \rightarrow P$) и ($f \rightarrow T$) в пределах $< 2\%$. Су-

ществленные системные неисправности блоков и связей вызывают вариации топологии.

Имеются две передачи для обнаружения и локализации СУ. Топологический анализ (таблица 2) основан на исследовании характера влияния на передачи неисправностей элементов. Символ «++» означает принадлежность элемента пути передачи. Символ «+» означает, что элемент в путь не входит, но принадлежит контурной части системы. Пустая ячейка соответствует отсутствию влияния элемента на передачу.

Таблица 2

Объекты модели		Диагностируемые передачи	
		$\Phi(f \rightarrow P)$	$\Phi(f \rightarrow T)$
		Φ_P	Φ_T
Блоки M_s	1	++	++
	4	++	
	5	+	+
Связи M_s	$(1 \rightarrow 2)$	++	++
	$(2 \rightarrow 5)$	+	++
	$(3 \rightarrow 4)$	++	
	$(5 \rightarrow 1)$	+	+
Среда на входе	f	++	++
	$(f \rightarrow 1)$	++	++
Среда на выходе	P	++	
	$(4 \rightarrow P)$	++	
	T		++
	$(5 \rightarrow T)$		++

Сформированы отношения «Симптом→Диагноз» (таблица 3) по симптомам, выявляемым с высокой степенью достоверности.

Таблица 3

Номер симптома	Симптом → Диагноз	
1	$(\Phi_{\bar{P}} \wedge \Phi_{\bar{T}})$	$\{(5 \nrightarrow 1)\}$
2	$(\Phi_P^0 \wedge \Phi_T^0)$	$\{BL_1^0 \vee (1 \nrightarrow 2)\}$
3	$(\Phi_{\bar{P}} \wedge \Phi_T^0)$	$\{BL_5^0 \vee (2 \nrightarrow 5)\}$
4	Φ_P^0	$\{BL_4^0 \vee (3 \nrightarrow 4) \vee BL_P^0 \vee (4 \nrightarrow P)\}$

5	$\Phi_T^0 \{BL_T^0 \vee (5 \nrightarrow T)\}$

Симптом 1. Одновременные вариации обеих передач возможны только при неисправности главной обратной связи ($5 \rightarrow 1$). На рисунке 21 показаны графики изменения коэффициентов передач по давлению и температуре.

Симптом 2. Одновременная неисправность обеих передач при отказе управляющего устройства.

Симптом 3. Неисправность блока 5 (датчика температуры) приводит к разрыву обратной связи (симптом 1) и изменению коэффициента передачи по давлению (верхний график на рисунке 21).

Симптом 4. Неисправна передача по давлению. Диагноз – отказ датчика давления или линии передачи сигнала к датчику или от него.

Симптом 5. Неисправность передачи по температуре при сохранении номинальной передачи по давлению может иметь место только при отказе линии получения информации от датчика температуры при исправности самого датчика.

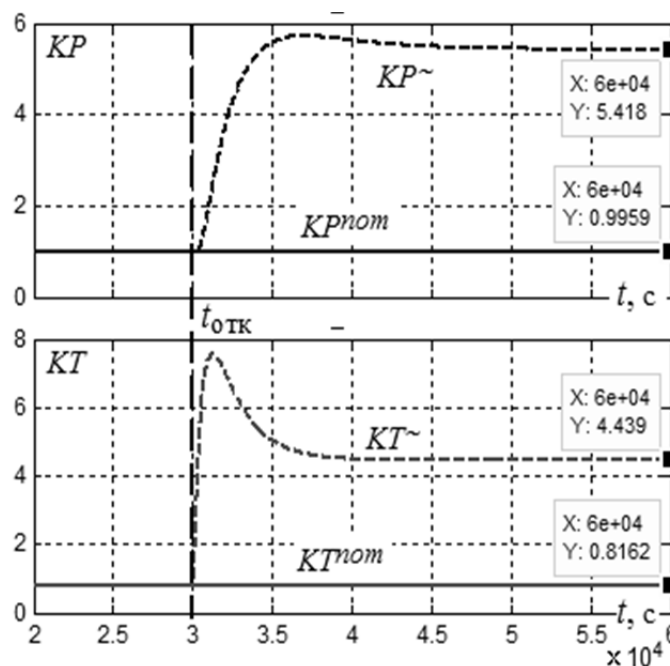


Рис. 21. Графики изменения коэффициентов передач по давлению KP и температуре KT

Результаты анализа положены в основу разработки СОУ для SU_S3 . Имеется единственный вариант реконфигурирования системы: перенос обратной связи на выход датчика давления DD при отказах

датчика температуры DT или главной обратной связи ($5 \rightarrow 1$). Перенос обратной связи на датчик давления сопровождается включением в контур управления дополнительных существенных инерционностей подсистемы $TRPR$. Это может потребовать коррекции усиления контура обратной связи и масштабирования каналов передач системы.

Структура СОУ подсистемы S_3 представлена на рисунке 22, где SUPERVISOR_SOU_S3 – супервизор; SD_ISPT – подсистема диагностики; THRESH – подсистема задания порогов опасных и критичных значений управляемых переменных в соответствии с режимом функционирования ТП; MR – механизм реконфигурации; UU – управляющее устройство системы управления с функцией реализации сигналов от MR. Затемненная часть схемы указывает на принадлежность к реконфигурированной системе.

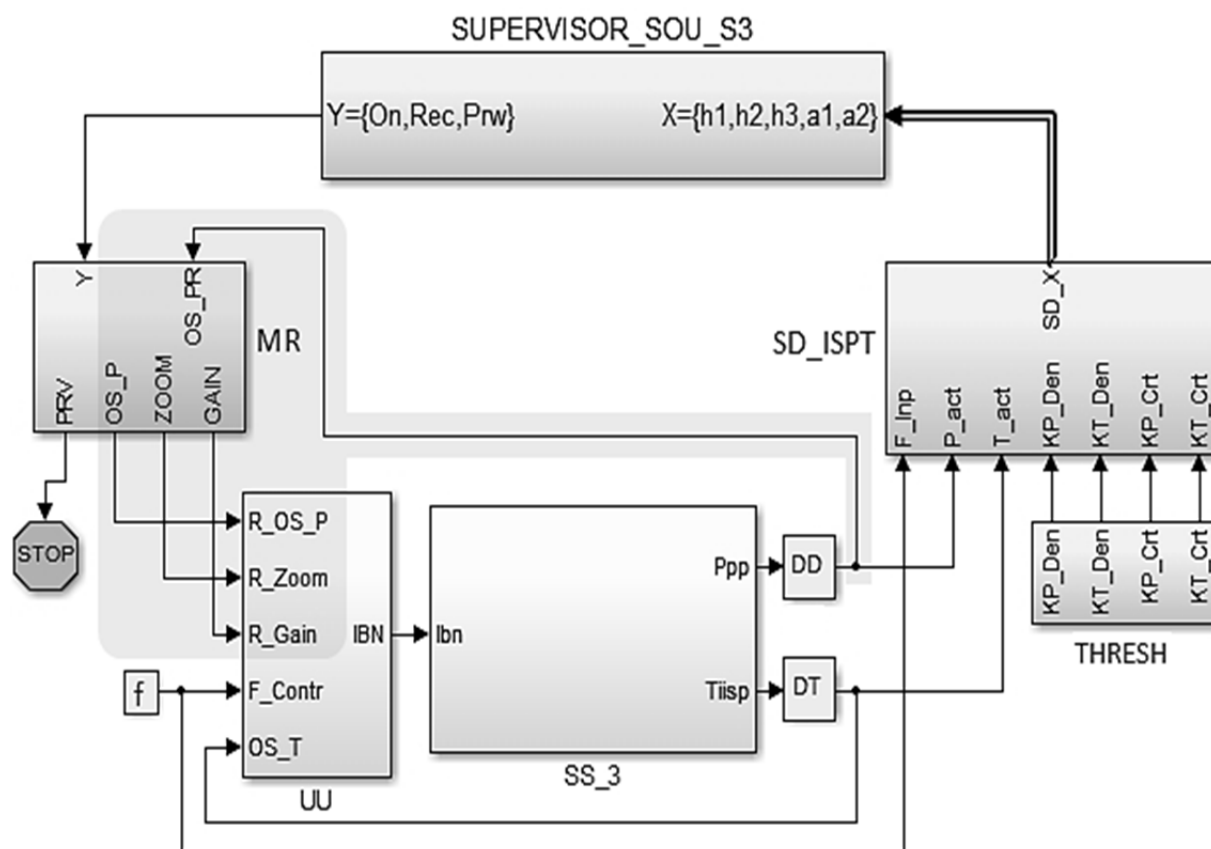


Рис. 22. Структура СОУ подсистемы S_3 ТП приготовления паров ТКН

На рисунке 23 представлены графики изменений коэффициентов передач по давлению KP и по температуре KT :

- 0...20000 с – номинальная система;

- 20000...40000 с – восстановленная система;
- > 40000 с – после начала нарастающей неисправности датчика температуры.

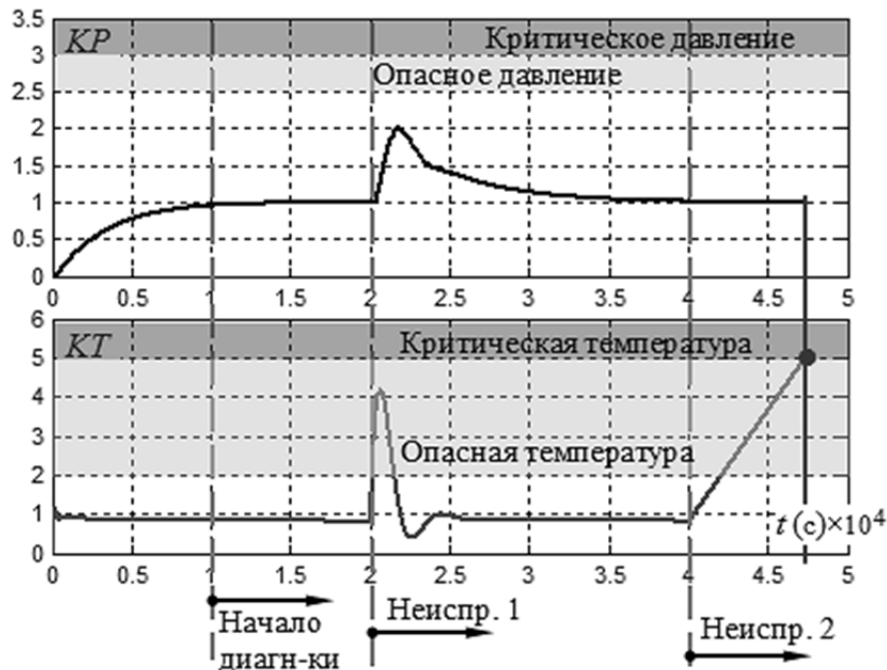


Рис. 23. Графики изменений коэффициентов передач по давлению KP и по температуре KT

Агрегирование СОУ подсистем. Анализ показывает, что при агрегировании СОУ в единую систему путем восстановления исходных связей между подсистемами сохраняются как показатели качества СУ подсистемами, так и функционирование СОУ подсистем. При этом статические режимы подсистем S_1 , S_2 и S_4 практически не изменяются. Интегрирование СОУ S_3 в систему приводит к увеличению коэффициентов передач KP и KT на 10 % из-за добавления трех связей от подсистем S_1 и S_2 , что незначительно смещает режим $ISPT$.

1.7. Синтез логики принятия решений о реконфигурировании

Концептуальные модели систем управления вышележащего, супервизорного уровня иерархии предложены в 1.4. Контур обеспечения активной отказоустойчивости образован ООУ и логическим управляющим устройством – супервизором.

В работе рекомендуются эвристические приемы синтеза логики управления супервизора. Математические модели супервизора, принимающего решения о реконфигурировании неисправной системы управления, разработаны в **главе 2**. Для формализации описания логики супервизора выбраны асинхронные конечные автоматы (КА). Далее для определенности выбран автомат типа Мура, выходы которого зависят только от состояния s и не зависят напрямую от входа $\tilde{x}$:

$$\begin{aligned} s' &= \delta(s, \tilde{x}); \quad s_0, \\ \tilde{y} &= \lambda(s). \end{aligned} \quad (13)$$

Задача синтеза супервизора ставится как перечисление множества состояний S и задание функции переходов δ и функции выходов λ КА (13). Множества символов входа X (диагнозы состояния основной системы) и выхода Y (восстановленные системы) задаются при формировании СД и МР.

Диаграмма графа КА типа Мура для потока из трех потенциальных неисправностей изображена на рисунке 24. Вершинам графа отвечают состояния и соответствующие им выходы, разделенные символом «/». Дугам графа соответствуют диагнозы о неисправностях – входные символы. Граф имеет вид дерева, что определяет топологию, т.е. отношение на множестве вершин.

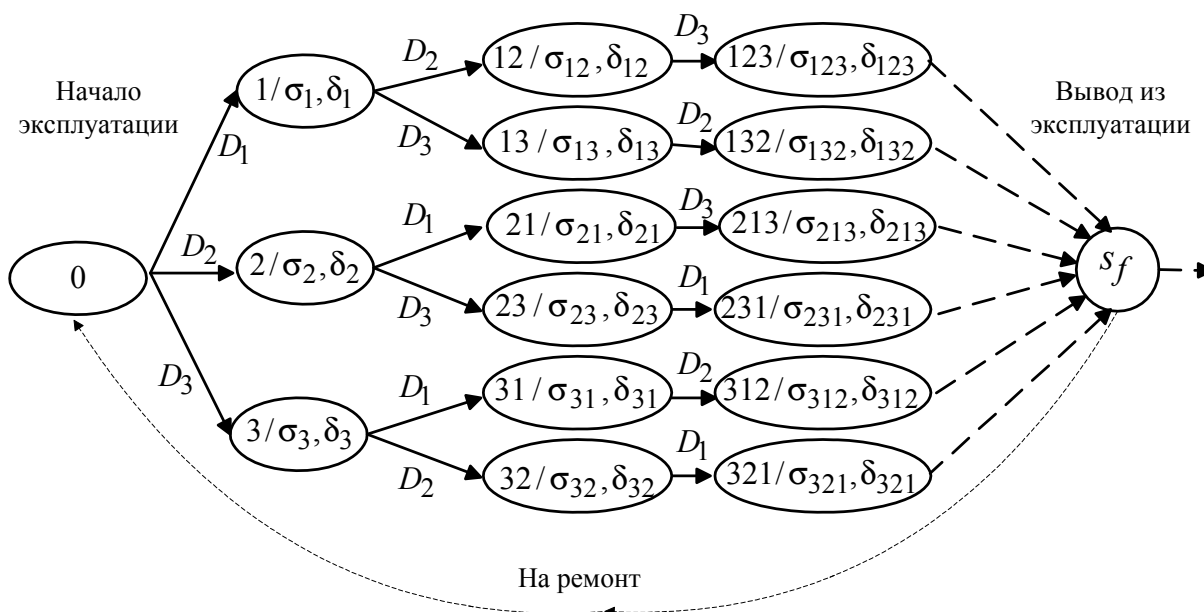


Рис. 24. Граф КА супервизора

Синтез устройства принятия решений сводится к перечислению множеств вершин подграфов, соответствующих различным шагам смены событий, т.е. состояний основной системы. Формула для вычисления мощности множества состояний S имеет вид:

$$\begin{aligned} |S| &= l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_L = L + L(L-1) + L(L-1)(L-2) + \dots = \\ &= L(1 + (L-1)(1 + (L-2)(1 + \dots))) = \sum_{m=1}^{m=L} l_m. \end{aligned} \quad (14)$$

Первое слагаемое суммы l_1 равно числу систем с одной (первой по очереди) неисправностью, второе слагаемое l_2 – числу систем с двумя неисправностями, третье l_3 – с тремя и т.д. Формула не учитывает начальное состояние – исправную систему и конечное состояние, когда СУ ТП выводится из эксплуатации. Более удобна рекуррентная процедура расчета числа вершин графа по мере роста числа неисправностей:

$$\begin{aligned} l_1 &= L; \\ l_2 &= (L-1)l_1; \\ l_3 &= (L-2)l_2; \\ &\dots\dots\dots; \\ l_{m+1} &= (L-m)l_m; \\ &\dots\dots\dots; \\ l_L &= L_{L-1} - 1. \end{aligned}$$

Для вычисления общего числа вершин результаты суммируются:

$$N_L = \sum_{m=1}^L l_m.$$

Результаты подсчета числа вершин, отвечающих системам с одним и тем же числом неисправностей, в зависимости от максимально возможного числа неисправностей L :

$$\begin{aligned} L = 2; l(m) &= 2 + 2 = 4 \\ L = 3; l(m) &= 3 + 6 + 6 = 15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L = 4; l(m) &= 4 + 12 + 24 + 24 = 64 \\ L = 5; l(m) &= 5 + 20 + 60 + 120 + 120 = 325 \end{aligned}$$

Можно видеть, что число вершин графа, отвечающих состояниям объекта управления техническим состоянием, быстро, как говорят, комбинаторно, растет с увеличением числа неисправностей L , на которое рассчитана эксплуатация СУ между ремонтами.

Ситуация меняется при условии эквивалентности систем после одних и тех же неисправностей независимо от их очередности. Это означает выполнение равенств:

$$\begin{aligned} S_{ab} &= S_{ba}; \\ S_{abc} &= S_{acb} = S_{bac} = S_{bca} = S_{cab} = S_{cba} \end{aligned}$$

и т.д. Тогда число систем с одной неисправностью из L возможных равно $C_L^1 = L$, с двумя неисправностями — C_L^2 , с тремя — C_L^3 и т.д., а со всеми неисправностями — $C_L^L = 1$.

Число состояний автомата равно сумме сочетаний:

$$|S| = \sum_{l=1}^L C_L^l.$$

Если записать формулу (14) несколько иначе:

$$|S| = L/1! + L(L-1)/2! + L(L-1)(L-2)/3! + \dots + 1, \quad (15)$$

то из сопоставления выражений (14) и (15), можно видеть значительное уменьшение числа состояний автомата, следовательно, и числа систем, которые необходимо диагностировать и реконфигурировать в случае неисправностей. В этом случае число состояний автомата вычисляется по формулам (14) или (15):

$$\begin{aligned} L = 2; l(m) &= 2 + 1 \quad (3) \\ L = 3; l(m) &= 3 + 3 + 1 \quad (7) \\ L = 4; l(m) &= 4 + 6 + 4 + 1 \quad (15) \\ L = 5; l(m) &= 5 + 10 + 10 + 5 + 1 \quad (31) \end{aligned}$$

При выполнении оговоренного условия диаграмма графа переходов-выходов автомата устройства принятия решений для $L = 3$ изображена на рисунке 25. В объединенных вершинах графа указаны только индексы эквивалентных систем, числа которых равны соответствующим сочетаниям $C_3^1 = 3$; $C_3^2 = 3$; $C_3^3 = 1$.

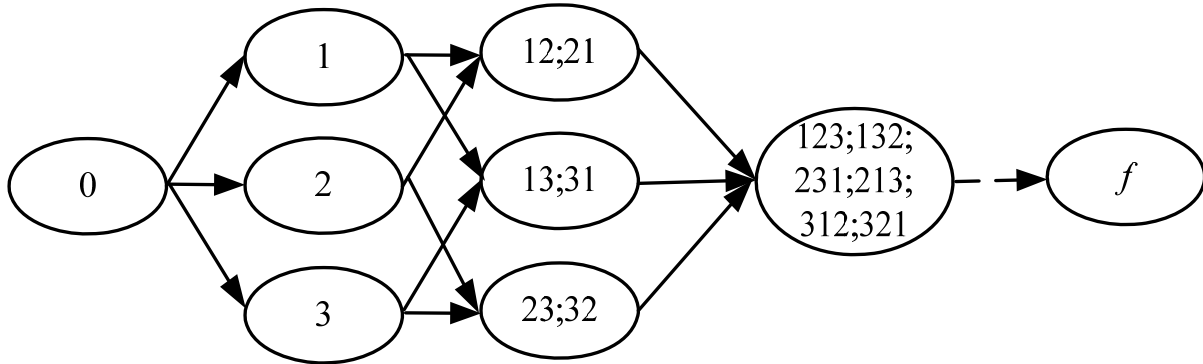


Рис. 25. Диаграмма графа автомата

Число систем с одной и двумя неисправностями равно 3, системы со всеми тремя неисправностями равносильны.

Началу эксплуатации СУ ТП соответствует исправное состояние основной системы s_0 , которое на диаграмме графа переходов-выходов обозначено как «0». Функционирование автомата после получения информации о первой по очереди неисправности опишется в форме следующих уравнений перехода состояний и выхода:

$$s_a = \alpha(s_0, D_a);$$

$$(\sigma_a, \delta_a) = \lambda(s_a); \quad a = 1, 2, 3.$$

Выход σ_a – это команда на реконфигурирование СУ ТП с неисправностью a , выход δ_a – команда на перестройку подсистемы диагностики для диагностирования восстановленной системы. В результате реализации команды σ_a получается восстановленная основная система. Действия автомата после второй по очереди неисправности описываются следующим образом:

$$s_{ab} = \alpha(s_a, D_{ab});$$

$$(\sigma_{ab}, \delta_{ab}) = \lambda(s_{ab}); \quad a = 1, 2, 3; \quad b \neq a.$$

Аналогично запишутся уравнения автомата в случае последующих неисправностей и процедур восстановления.

Супервизор рассчитан на поток неисправностей конечной длины. После того, как будет выявлена последняя неисправность, автомат переходит в конечное состояние s_f . Дальнейшие решения требуют вмешательства обслуживающего персонала, в этом случае СУ необходимо вывести из эксплуатации для ремонта или утилизации.

Предусматривается переход к конечному состоянию из любого состояния после обнаружения неисправности СУ, которая не была предусмотрена при проектировании супервизора. Дуги графа, соответствующие таким переходам, на рисунке 24 указаны штриховыми линиями только для конечных состояний. Если исчерпано множество потенциальных неисправностей, то система переходит в конечное состояние f . Здесь решение об остановке СУ на ремонт или ее утилизации принимает более высокая инстанция.

Граф автомата (см. рисунок 25) можно интерпретировать как формальное описание жизненного цикла СУ. Автомат супервизора хранит в памяти «историю болезни» СУ – каждое его состояние соответствует одной из систем, а единственный путь от вершины 0 до определенной вершины дает информацию о конкретном потоке неисправностей и мер, принятых по ослаблению их воздействия.

В соответствии с интегрированным подходом к построению СОУ (см. 1) жизненный цикл системы включает и этап проектирования, если за начальное состояние S_0 принять ТП, свойства которого не устраивают. Проектирование СУ ТП представляет собой реконфигурирование, связанное с выбором точек измерения, обеспечивающих наблюдаемость состояний, точек введения управляющих воздействий, которые удовлетворяют условию управляемости, и синтез УУ. С другой стороны, восстановление неисправной системы можно рассматривать как проектирование и реализацию решений в режиме реального времени.

Синтез логики управления многостадийными ТП циклического действия. Концептуальные модели систем четвертого S_4 и пятого S_5 уровня иерархии изображены на рисунке 7. Процедура синтеза СОУ многостадийным ТП циклического действия включает: формирование логики координатора, организующего взаимодействие ТП и локальных СОУ на всех стадиях процесса; выбор детек-

торов ситуаций. Дополнительными задачами синтеза являются оценки риска и прогнозирование отказов в результате потока неисправностей.

Методика синтеза логических алгоритмов управления на четвертом и пятом уровнях иерархии не отличается от второго и третьего уровней, что отвечает принципу рекуррентного объяснения системологии. Из-за специфичности задач диагностирования (см. 5) и реконfigurирования в СОУ четвертого и пятого уровней иерархии способы их решения отнесены к примеру ТП напыления в вакууме (глава 6).

Процессы в контуре управления супервизорного уровня. Последовательность событий в контуре супервизорного уровня СОУ складывается следующим образом.

0. Исходная исправная (номинальная) СУ ТП S_0 . Управляющий автомат находится в состоянии s_0 (см. рисунок 24), система диагностирования СД подготовлена для обнаружения первой по очереди неисправности из L потенциально возможных.

1. Неисправность F_a ; $a=1, \dots, L$, изменяет техническое состояние системы S_a . Система диагностирования обнаруживает неисправность и передает соответствующий диагноз в супервизор УУ.

2. Супервизор УУ переходит в новое состояние s_a , а на его выходе появляется сигнал σ_a – информация о необходимости оказания на СУ ТП реконfigurирующего воздействия Σ_a .

3. В результате коррекции неисправной системы $\bar{S}_a$ получается система с удовлетворительной динамикой S_a .

4. Цикл завершается сменой СД по сигналу δ_a на выходе УУ. Новая СД должна быть готова к диагностированию новой системы. При необходимости перестраивается и МР.

После второй по очереди неисправности F_b , $b \neq a$ процессы аналогичны с той разницей, что неисправности не повторяются. На рисунке 26 приведена соответствующая иллюстрация.

Процессы в контуре управления супервизорного уровня в виде смены состояний объекта отказоустойчивого управления ООУ, автомата и интерфейса представляют собой асинхронную последовательность символов. Промежутки реального времени между символами событий заранее не определены и обусловлены моментами выявления неисправностей.

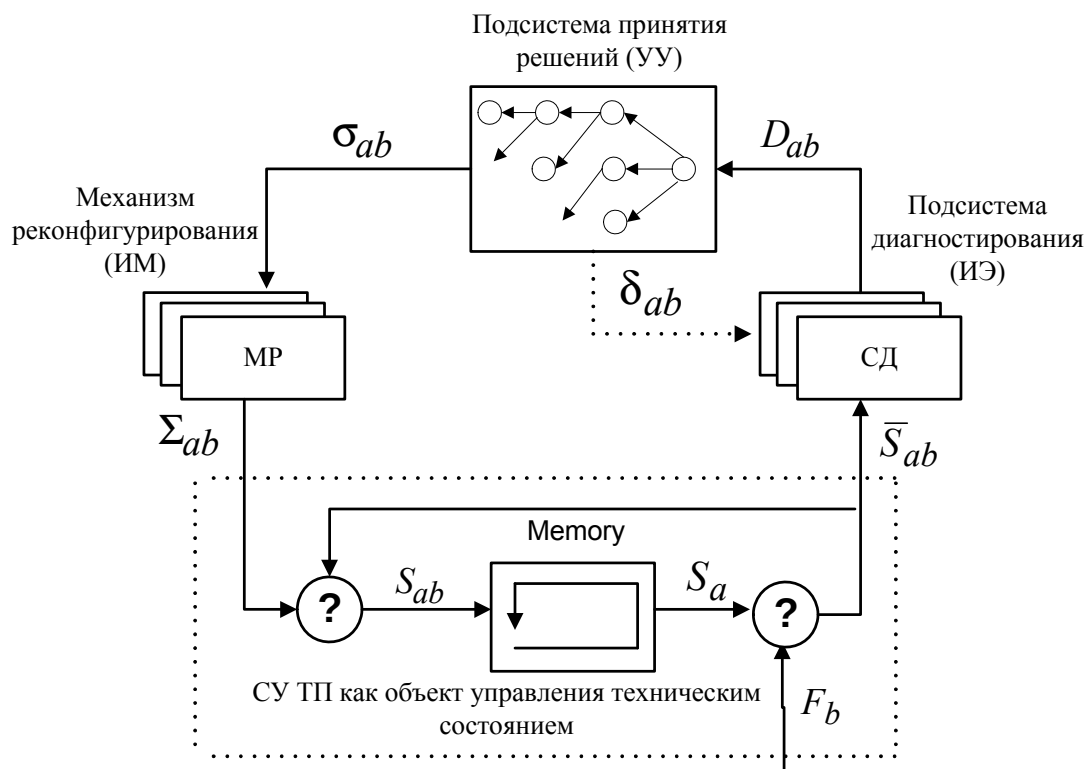


Рис. 26. Структура системы супервизорного уровня с обозначениями переменных после обнаружения второй по очереди неисправности

1.8. Разработка средств компьютерной имитации систем отказоустойчивого управления

Разработку универсальных программных средств имитации СУ и среды функционирования, неисправностей и процессов диагностирования технического состояния, а также восстановления делают актуальной несколько обстоятельств:

- результаты целого ряда расчетов, выполняемых при проектировании СОУ, не вполне надежны ввиду отсутствия методов и средств анализа и синтеза систем по нелинейным, гибридным и дискретно-событийным моделям иерархической структуры;
- практическая невозможность испытаний СОУ в реальных условиях из-за опасности последствий искусственно создаваемых неисправностей;
- из-за уникальности оборудования современных СУ в подавляющем большинстве случаев нецелесообразно строить специальные натурные и полунатурные испытательные стенды;

- разработка специализированных программ имитации является весьма трудоемкой;
- необходимость обучения и тренировки персонала и др.

Проведение экспериментов подразумевает организацию некой «лаборатории», где создаются условия: генерирования сигнальных и системных воздействий среды, как номинальных, так и в виде неисправностей; моделирования и имплементации особенностей поведения объекта и системы управления и т.д. Сказанное естественным образом приводит к концепции «виртуального полигона» – проблемно-ориентированной среды имитационного моделирования [29, 68]. Средства вычислительной техники реализуют виртуальный эксперимент, стоимость которого много ниже натурного эксперимента, а спектр возможностей несравненно шире, поскольку допускает исследования в экстремальных и потенциально опасных в реальности ситуациях.

Целью разработанного виртуального полигона является создание удобной среды проектирования СОУ на основе комплекса эталонных моделей для экспериментальной проверки методов диагностирования и восстановления неисправных систем управления типовой структуры.

За основу разработки «Исследовательского полигона» принята среда MATLAB/ Simulink, фирмы The MathWorks, Inc. Приложение представляет собой набор файлов, содержащих *m*-функции. Логическая связь между *m*-функциями (структура функциональных требований) реализуется через графический интерфейс. Приложение рассчитано на работу с моделями, унифицированные структуры которых характерны для активных СОУ. Для того, чтобы интерфейс приложения стал проблемно-ориентированным, блоки на верхнем уровне *Simulink*-модели представляют основные функциональные элементы типовых систем управления (исполнительный механизм ИМ, объект управления ОУ, измерительный элемент ИЭ), а также блоки, присущие для активных СОУ (реконфигурируемый регулятор, модуль обнаружения, локализации и идентификации неисправностей, модуль реконфигурирования). К элементам типовой СУ добавляются блоки системы высшего (супервизорного) уровня иерархии: моделирования неисправностей, диагностирования, принятия решений и реконфигурирования (рисунок 27).

Виртуальный полигон предоставляет исследователю возможность реализации следующих основных функций.

Выбор модели предполагает открытие *Simulink*-модели и построение структуры меню, соответствующей требованиям по наблюдению за переменными, наличия блоков генерирования неисправностей, диагностирования и восстановления. Модель отображается на экране поверх основного графического окна интерфейса (рисунок 28).

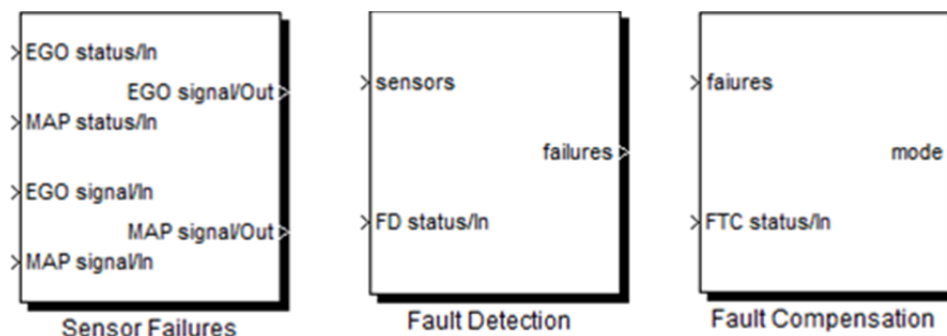


Рис. 27. Элементы активной СОУ

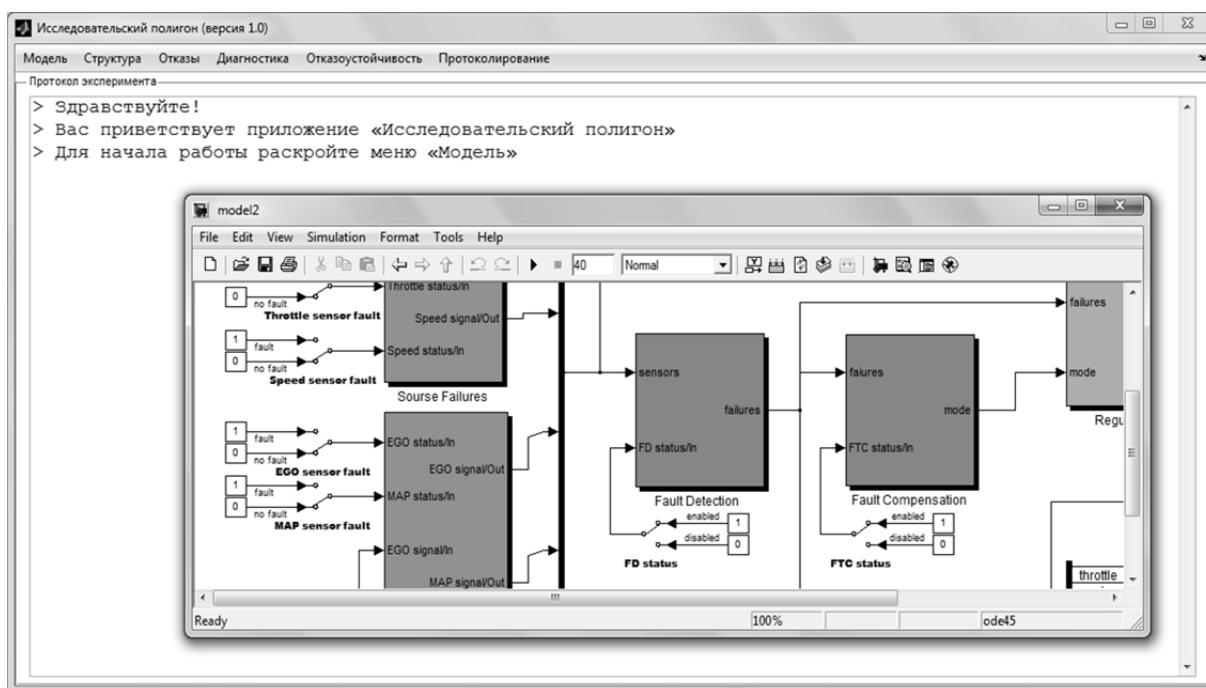


Рис. 28. Выбор эталонной модели

Включение/отключение блоков неисправностей. В зависимости от количества моделируемых неисправностей блоки будут иметь соответствующее количество входов от ручных переключателей.

Включение/отключение блоков диагностики. В зависимости от способов диагностирования на входах блоков будет соответствующее

количество входов от ручных переключателей (*Manual switch*), активное состояние которых свидетельствует о выборе соответствующего метода диагностирования.

Включение/отключение блоков восстановления (супервизора) и механизма реконфигурирования. Если в *Simulink*-модели присутствуют блоки восстановления неисправных систем, то, в зависимости от способов восстановления, на входах блоков будет соответствующее число ручных переключателей, активное состояние которых указывает на выбранный метод.

Протоколирование хода и результатов имитации. Результатом исследований могут быть как текстовые сообщения и информационные таблицы, так и различного вида графики, диаграммы, а также непосредственно схемы на языке графического редактора *Simulink*. Необходимые сведения протоколируются и отображаются с помощью графического интерфейса.

Пример разработки СОУ в среде виртуального полигона. Разработка СОУ в среде виртуального полигона включает следующие действия.

1. Выбор эталонной модели. Пример системы управления подачи топлива в бензиновый двигатель, входящий в стандартную поставку MATLAB/*Simulink*, приведен на рисунке 29.

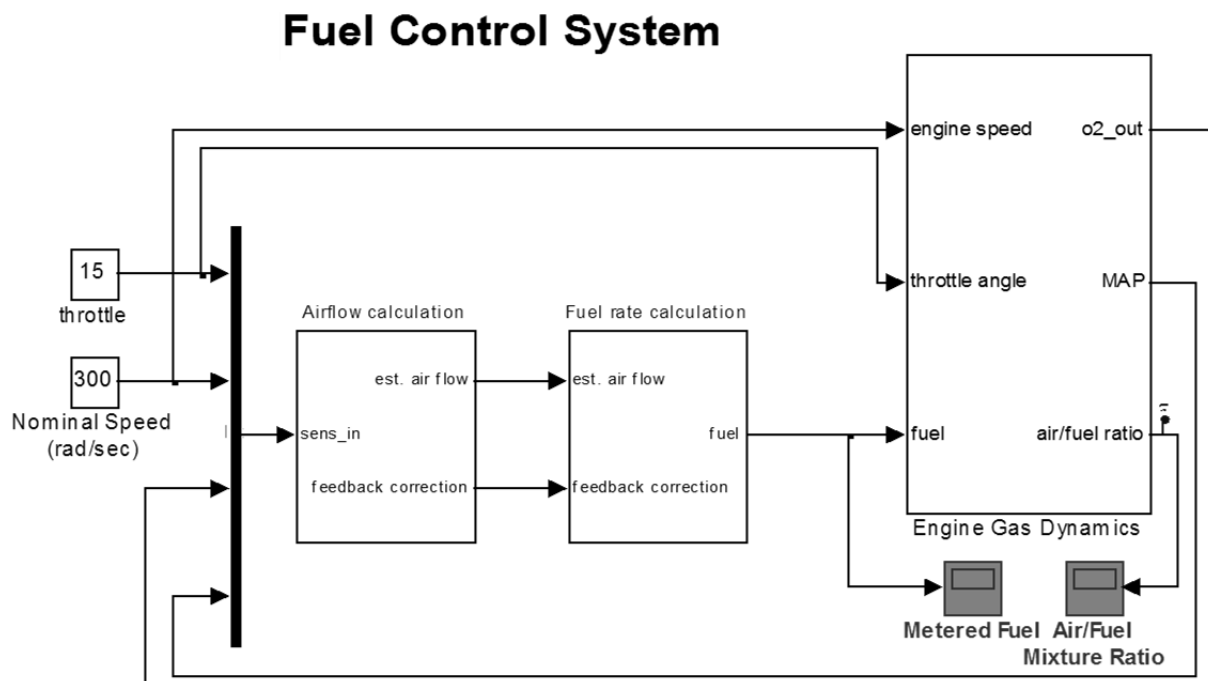


Рис. 29. Модель системы подачи топлива

2. Исследование модели в номинальном режиме. Задачей системы управления является подача количества топлива в таком объеме, чтобы оно полностью сгорало. Система удерживает соотношение воздух/топливо равным стехиометрическому значению 14.6 при заданных значениях положения дросселя и скорости вращения двигателя (рисунок 30).

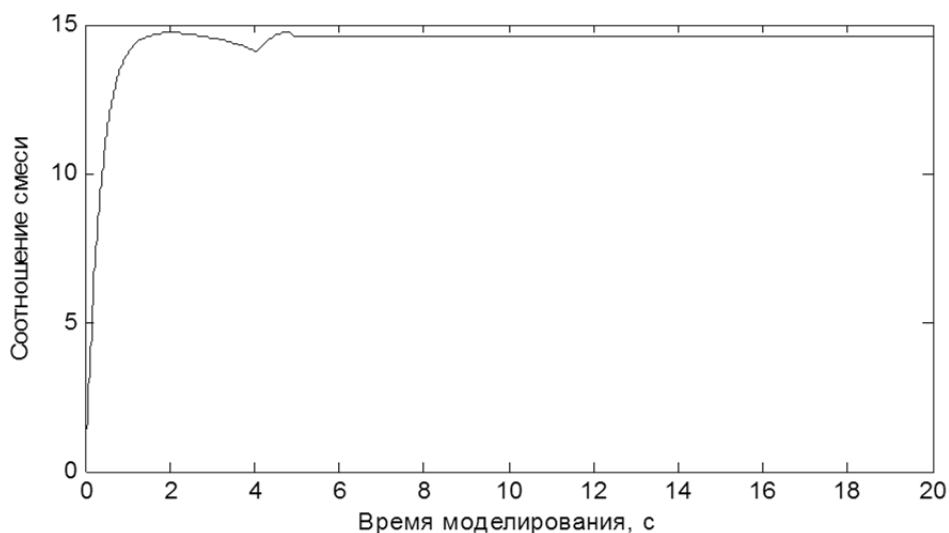


Рис. 30. Результат имитации номинального режима

3. Исследование модели при неисправностях. При неисправности датчика угла поворота дросселя соотношение воздух/топливо в смеси падает до уровня, приблизительно равного $14.6 \cdot 0.8$ (рисунок 31).

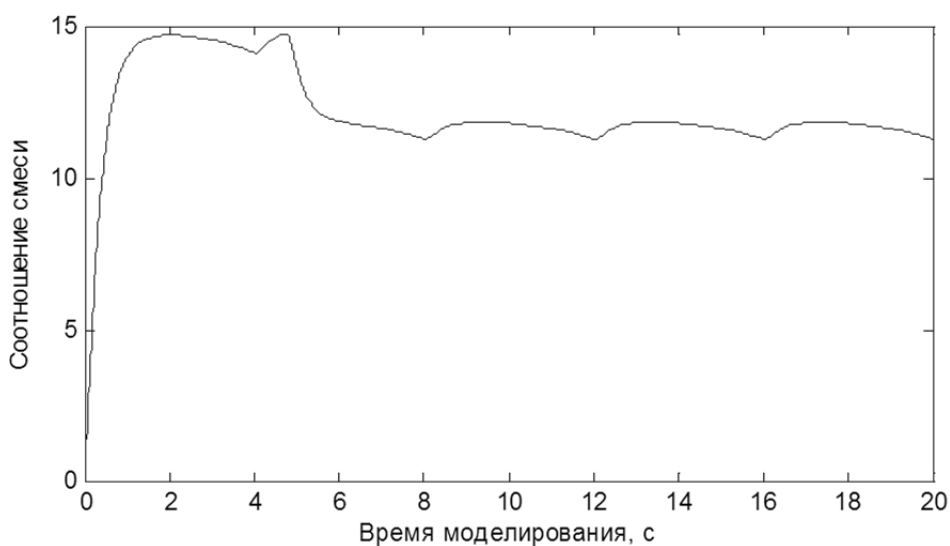


Рис. 31. Процесс в неисправной системе

4. Реализация алгоритмов диагностики и восстановления. Алгоритмы реализуются в блоках Fault Detection и Fault Compensation (см. рисунок 27). На рисунке 32 показан график соотношения воздух/топливо в смеси при попытке поддержания значения 14.6 и последовательных неисправностях двух датчиков.

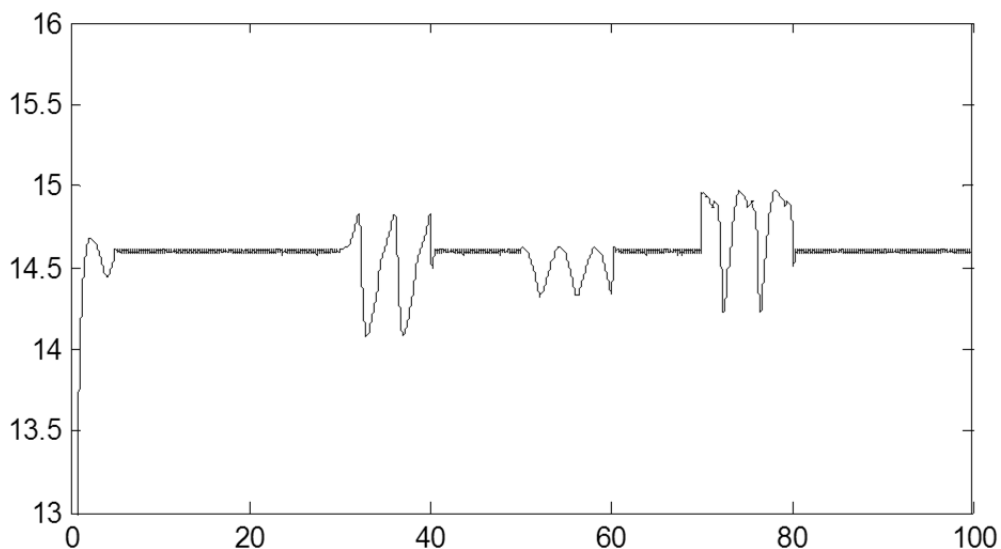


Рис. 32. Соотношение смеси воздух/топливо

В промежутке времени 10...20 с имитируется неисправность датчика угла положения дросселя, при этом соотношение смеси остается неизменным, так как величина, которую вносит коррекция при расчете расхода воздуха с использованием показаний данного датчика, мала. В интервале 30...40 с неисправность и последующий отказ датчика скорости вращения двигателя приводит к тому, что соотношение смеси колеблется от 14.1 до 14.8. В интервале 50...60 с смесь колеблется в пределах от 14.35 до 14.65 вследствие неисправности датчика кислорода. В промежутке времени от 70...80 с из-за неисправности датчика давления соотношение воздух/топливо периодически меняется в диапазоне 14.25...14.95.

Таким образом, СОУ при неисправностях поддерживает требуемое соотношение воздух/топливо.

1. Системный подход интерпретирует проектирование и эксплуатацию СОУ как этапы единого жизненного цикла. Интегрированный подход к синтезу активных СОУ позволяет рационально организовать взаимодействие подсистем двух уровней иерархии со своими и общесистемными функциями и целями.

2. Восстановление систем предполагает последовательное формирование топологии, структур операторов и конкретизацию значений параметров собственно системы M_S , системы со связями M_{YSF} и расширенной системы M_{RS} . Предлагается систематизировать множество задач синтеза восстановленных систем по следующим признакам: 1 – восстанавливаемое свойство {Устойчивость, Инвариантность, Селективная инвариантность}; 2 – тип неисправности {«Системная», «Сигнальная»}; 3 – ранг неисправности; 4 – ранг средства восстановления.

3. Принцип минимизации сложности предполагает, что для восстановления неисправной системы следует выбирать наиболее близкую в принятом смысле реконфигурированную систему. Оценку «расстояния» между системами предложено связать с рангами неопределенности моделей.

4. Задача восстановления систем управления, в отличие от известных задач синтеза, не требует полной управляемости объекта. Необходимо обеспечивать *селективную* (избирательную) управляемость неисправной части системы.

5. Принципиальной особенностью задачи топологического синтеза является то, что неизвестен оператор включаемой дуги. Необходимы критерии потенциальной эффективности вариантов до конкретизации их операторов, в качестве чего предлагаются оценки функций чувствительности определителя графа или передаточных функций неисправных систем на частотах перемещаемых собственных значений.

6. Методы, основанные на теории функций комплексного аргумента (годографы корней, комплексно-частотный метод) и линейной алгебры (полиномиальный и матричный методы), в принципе, способны решать задачи структурно-параметрического синтеза восстановленных систем управления. Комплексно-частотный метод восстановления имеет ряд преимуществ.

7. Супервизор на основе текущего диагноза и предыстории выдает управляющий символ, отвечающий варианту восстановления системы. Синтез супервизора представляется как формирование логики принятия решений. Граф автомата супервизора интерпретируется как формальное описание жизненного цикла СУ.

8. Приведен комплексный пример синтеза СОУ ТП подготовки паров ТКН, иллюстрирующий эффективность методологии и разрабатываемых методов диагностирования и восстановления.

9. Разработанный виртуальный полигон является удобной средой компьютерной имитации и проектирования СОУ на основе комплекса

моделей для проверки эффективности различных подходов к диагностированию и восстановлению неисправных систем управления типовой структуры.

Список литературы

1. Автоматизированная опытно-промышленная установка для вакуумного нанесения покрытий / В.Т. Барченко, Ю.А. Кораблев, А.В. Муравьев, О.В. Назаров, М.Ю. Шестопапов // Науч.-техн. журн. «Материалы, технологии, инструменты». Белоруссия, Гомель, «Инфотрибо». 1996. № 2. С. 129–130.
2. Адаптивная Neuro-Fuzzy-классификация информации в технических системах / А.А. Алексеев, Ю.А. Кораблев, С.О. Шапошников, К.С. Шаров, М.Ю. Шестопапов // Тез. докл. Всеросс. НТК «Нейроинформатика-99». МИФИ, 20–22 января 1999 г.
3. Применение методов Neuro-Fuzzy-классификации информации для диагностики технических систем / А.А. Алексеев, С.М. Кондратьев, Ю.А. Кораблев, М.Ю. Шестопапов // Тез. докл. 7 Всеросс. семинара «Нейроинформатика и ее приложения». Красноярск, 1999.
4. Алексеев А.А., Кораблев Ю.А., Шестопапов М.Ю. Neuro-Fuzzy-классификация диагностической информации в технических системах // Третья междунар. науч. конф. «Методы и средства управления ТП». Россия, Республика Мордовия, Саранск. 25–27 октября 1999 г. С. 10–12.
5. Алексеев А.А., Кораблев Ю.А., Шестопапов М.Ю. Методы управления и диагностики в технических системах с применением нечеткой логики. СПб.: Изд-во СПб ГЭТУ «ЛЭТИ», 2008. С. 188.
6. Алексеев А.А., Кораблев Ю.А., Шестопапов М.Ю. Идентификация и диагностика систем. М.: ИЦ «Академия», 2009. С. 352.
7. Алексеев А.А., Шевцов И.В., Шестопапов М.Ю. Диагностика технологического процесса формирования свойств никелевого порошка с использованием нечеткой модели // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. № 10. С. 74–77.
8. Алексеев А.А., Попова Ю.Б., Шестопапов М.Ю. Алгоритмы нечеткой кластеризации в задачах диагностики технических систем // Изв. высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Техн. науки. 2012. № 3. С. 3–7.
9. Диагностика в системах отказоустойчивого управления технологическими процессами: учеб. пособие / под ред. М.И. Халикова;

А.А. Алексеев, Д.Х. Имаев, Ю.А. Кораблев, Л.Б. Пошихонов, М.Ю. Шестопапов, М.И. Халиков. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. С. 92.

10. *Алексеев А.А., Имаев Д.Х., Шестопапов М.Ю.* Проектирование отказоустойчивых систем управления // Материалы X Всерос. науч.-техн. конф. «Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем ДНДС-2013». Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2013. С. 15–18.

11. Диагностика отказоустойчивого управления технологическими процессами: учеб. пособие / А.А. Алексеев, Д.Х. Имаев, Ю.А. Кораблев, Л.Б. Пошихонов, М.Ю. Шестопапов // СПбГЭТУ. СПб., 2014. С. 78.

12. Диагностирование и отказоустойчивое управление многостадийными циклическими технологическими процессами / под. ред. М.Ю. Шестопапова; А.А. Алексеев, В.Т. Барченко, А.В. Беспалов, Д.Х. Имаев, Ю.А. Кораблев, Л.Б. Пошихонов, М.Ю. Шестопапов. СПб.: ЭЛМОР, 2015. С. 144.

13. *Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л.* Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB. СПб.: Наука, 1999. С. 467.

14. *Анисимов В.И.* Топологический расчет электронных схем. Л.: Энергия, 1977. С. 240.

15. *Антонов В.Н., Терехов В.А., Тюкин И.Ю.* Адаптивное управление в технических системах: учеб. пособие. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2001. С. 244.

16. *Аузинь П.К., Осис Я.Я.* Минимизация числа точек съема диагностической информации, основанная на алгебраическом анализе структуры сложного объекта // Кибернетика и диагностика. Рига. 1969. Вып. 3. С. 33–42.

17. *Багрецов С.А.* Применение методов размытой классификации в диагностике сложных систем // Изв. вузов. Приборостроение. 1995. № 9. С. 72–76.

18. Автоматизация технологического процесса нанесения покрытий в вакууме / В.Т. Барченко, Ю.А. Кораблев, А.В. Муравьев, О.В. Назаров, М.Ю. Шестопапов // Межвуз. сб. «Вакуумная и плазменная электроника». Рязань: РГРА, 1995. С. 99–103.

19. Инновационный подход к проектированию системы отказоустойчивого управления технологическим процессом вакуумного нанесения композиционных покрытий / В.Т. Барченко, А.В. Беспалов, Л.Б. Пошихонов, М.Ю. Шестопапов // Инновации. 2013. № 10 (180). С. 123–127.

20. Автоматизированная система обработки диагностической информации на базе методов Fuzzy-классификации / О.Ю. Белаш, Ю.А. Кораблев, Н.И. Киргичева, К.С. Шаров, М.Ю. Шестопалов // Материалы межреспубл. конф. «Управление в социальных, экономических и технических системах». Кисловодск, 28 июня – 2 июля 1998 г. С. 198–199.

21. *Бобцов А.А.* Робастное управление по выходу линейной системой с неопределенными коэффициентами // Автоматика и телемеханика. 2002. № 11. С. 108–117.

22. *Берштейн Л.С., Боженьюк А.В.* Нечеткие графы и гиперграфы. М.: Науч. мир, 2005. С. 256.

23. Система автоматизированного проектирования структурно-сложных САР на базе СМ ЭВМ / Ю.А. Бочнев, Д.Х. Имаев, А.И. Козлов и др. // Автоматизация морских судов и систем их обслуживания. Л., 1985. С. 23–28.

24. *Бусленко Н.П., Калашиников В.В., Коваленко И.Н.* Лекции по теории сложных систем. М.: Сов. радио, 1973. С. 383.

25. *Вавилов А.А.* Структурный и параметрический синтез сложных систем // ЛЭТИ. Л., 1979. С. 94.

26. *Вавилов А.А., Имаев Д.Х.* Машинные методы расчета систем управления. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. С. 232.

27. *Вавилов А.А., Имаев Д.Х.* Эволюционный синтез систем управления. Л.: ЛЭТИ, 1983. С. 80.

28. *Вавилов А.А., Имаев Д.Х., Пошехонов Л.Б.* Метод коррекции контурной части сложных систем, базирующийся на оценке функций чувствительности определителя графа // Вопр. теории систем автоматического управления: сб. ст. Ленингр. гос. ун-та. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. С. 75–84.

29. Виртуальный полигон исследования отказоустойчивых систем управления (Исследовательский полигон) / Ю.А. Кораблев, Д.М. Савельев, М.Ю. Шестопалов. Регистрационный номер: 2014615410 от 27 мая 2014 г.

30. *Волкова Н.Н., Кораблев Ю.А., Шестопалов М.Ю.* Применение FUZZY-NEURO-методов для диагностики технических систем // Сб. докл. Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, SCM'2001. 27–30 июня 2001 г. С. 265–267.

31. *Волкова Н.Н., Кораблев Ю.А., Шестопалов М.Ю.* FUZZY-модель классификации состояний диагностируемого объекта с адаптивным формированием классов // Сб. докл. 5 междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, SCM'2002. 25–27 июня 2002 г. С. 227–229.

32. Гибкий автоматизированный комплекс электронно-ионных и вакуумных технологий / В.Т. Барченко, Ю.А. Кораблев, А.В. Муравьев, О.В. Назаров, М.Ю. Шестопалов // Материалы междунар. конф. «Методы и средства управления ТП». Декабрь, Саранск, 1995. С. 23–24.

33. Глазунов Л.П., Мозгалецкий А.В. Особенности анализа диагностических процедур сложных систем автоматического управления // Техническая диагностика. М.: Наука, 1972. С. 147–151.

34. Алгоритмическое обеспечение отказоустойчивости систем автоматического управления / В.М. Глумов, С.Д. Земляков, В.Ю. Рутковский, А.В. Силаев // Автоматика и телемеханика. 1988. № 9. С. 3–33.

35. Глуценко П.В. Техническая диагностика. М.: Вуз. книга, 2004. С. 248.

36. Горалов О.И. Поиск дефектов в сложных технических системах методами анализа диагностических графов. Вычисление дефектных компонент и межкомпонентных связей // Автоматика и телемеханика. 1989. № 9. С. 148–159.

37. Грунденькис Я.А., Тентерис Я.К. Автоматизация построения топологической модели сложной системы для решения задач диагностики // Гибридные вычислительные машины и комплексы. Киев. 1980. № 3. С. 88–93.

38. Диагностика состояний непрерывных технологических процессов на основе нечеткой топологической идентификации / М.Ю. Шестопалов, Ю.А. Кораблев // Записки Горного института. 2012. Т. 197. С. 250–256.

39. Дорогов А.Ю., Шестопалов М.Ю. Алгоритмы синтеза коллективных нейросетевых классификаторов // Сб. тр. X Всерос. науч.-техн. конф. «Нейроинформатика-2008». 24–28 января 2008 г. Москва. М.: Изд-во МИФИ, 2008. Ч. 1. С. 230–242.

40. Дорогов А.Ю., Лесных В.Ю., Шестопалов М.Ю. Нейросетевая классификация в неоднородном признаковом пространстве // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2010. № 4. С. 20–33.

41. Доценко Б.И. Диагностирование динамических систем. Киев: Техника, 1983. С. 159.

42. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Проблемы системологии (Проблемы теории сложных систем). М.: Сов. радио, 1976. С. 295.

43. Зеленов Ю.Л., Кораблев Ю.А., Шестопалов М.Ю. Нечеткая диагностика на основе эталонной модели объекта управления в про-

странстве состояний // XVII Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2014). 21–23 мая 2014 г. СПб. Т. 1. С. 24–29.

44. *Земляков С.Д., Рутковский В.Ю., Силаев А.В.* Реконфигурация систем управления летательными аппаратами при отказах // Автоматика и телемеханика. 1996. № 1. С. 3–20.

45. *Имаев Д.Х., Шевцов И.В., Шестопалов М.Ю.* Разработка и исследование моделей ТП генерации паров ТНК как объектов управления // Сб. докл. 12 междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, SCM'2009. 25–27 июня 2009 г. Т. 2. С. 59–65.

46. Структурный анализ в задачах диагностики сложных систем / Д.Х. Имаев, Л.Б. Пошехонов, И.В. Шевцов, М.Ю. Шестопалов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. № 9. С. 65–72.

47. *Имаев Д.Х., Шестопалов М.Ю.* Реконфигурирование систем управления, подверженных сигналам неисправности // Материалы Всерос. науч. конф. по проблемам управления в технических системах (ПУТС-2015). 28–30 октября 2015 г. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С. 42–46.

48. *Имаев Д.Х., Шестопалов М.Ю.* Методы теории чувствительности в технической диагностике процессов управления // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. № 5. С. 44–53.

49. *Имаев Д.Х., Шестопалов М.Ю.* Системы, толерантные к неисправностям, – инновационное направление в управлении сложными процессами // Инновации. 2012. № 7 (165). С. 109–112.

50. *Имаев Д.Х., Шестопалов М.Ю.* Топологические и матричные условия локализации неисправностей систем управления // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. № 5. С. 36–44.

51. *Имаев Д.Х., Алексеев А. А., Шестопалов М.Ю.* Матричная интерпретация условий диагностируемости системных неисправностей // Сб. докл. науч. конф. с междунар. участие «Компьютерные науки и технологии». 27–28 сентября 2013 г. Варна, Бългaрия. Т. 2. С. 12–14.

52. *Имаев Д.Х.* Синтез систем управления в среде MATLAB. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010. С. 124.

53. *Имаев Д.Х., Станиславски В.* Исследование динамики иерархических систем на примере парогенератора. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. С. 209.

54. Имитационное моделирование производственных систем / под ред. А.А. Вавилова. М.: Машиностроение. С. 416; Berlin: Veb Verlag Technik, 1983. P. 380.

55. Основы технической диагностики / В.В. Карибский, П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян, В.Ф. Далчев. М.: Энергия, 1976. С. 464.

56. Карпов Ю.Г. Теория автоматов. СПб.: Питер, 2003. С. 208.

57. Кокотович П.В. Метод точек чувствительности в исследовании и оптимизации линейных систем управления // Автоматика и телемеханика. 1964. № 12. С. 1670–1676.

58. Коновалов Г.М., Попова Ю.Б., Шестопалов М.Ю. Диагностика динамических систем на основе нечетких множеств // Сб. докл. IX междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, SCM'2006. 27–29 июня 2006. Т. 1. С. 159–163.

59. Кораблев Ю.А. Шестопалов М.Ю. Системы управления с нечеткой логикой: учеб. пособие. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 1999. С. 60.

60. Кораблев Ю.А., Шаров К.С., Шестопалов М.Ю. Построение математических моделей непрерывных ТП на базе Neuro-Fuzzy-технологии // Сб. докл. Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, SCM'2000. 27–30 июня 2000 г. С. 10–13.

61. Кораблев Ю.А., Шаров К.С., Шестопалов М.Ю. Методика идентификации непрерывных ТП на базе Neuro-Fuzzy-технологии // Изв. ЛЭТИ. Сер. «Информатика». 2003. С. 42–46.

62. Кораблев Ю.А., Шаров К.С., Шестопалов М.Ю. Применение нейросетевых структур для идентификации моделей ТП // Сб. докл. 1 Всерос. науч. конф. «Управление и информационные технологии». СПб. СПбГЭТУ. 3–4 апреля 2003 г. Т. 1. С. 287–291.

63. Кораблев Ю.А. Шестопалов М.Ю. Идентификация ТП и управление ими на основе Fuzzy- и Neuro-Fuzzy-технологий: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007. С. 51.

64. Кораблев Ю.А., Шестопалов М.Ю. Исследование отказоустойчивых систем управления непрерывными технологическими процессами на основе нечеткой логики // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальное состояние и тенденции развития физико-математических наук и информационных технологий, Новосибирск. 25 сентября 2012 г. С. 63–72.

65. Кораблев Ю.А., Шестопалов М.Ю. Анализ потенциальных отказов непрерывных технологических процессов на основе нечеткой топологической идентификации // Биомедицинская радиоэлектроника. Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2013. № 1. С. 25–27.

66. Кораблев Ю.А., Тельнт О.Е., Шестопалов М.Ю. Нечеткие алгоритмы диагностики в отказоустойчивых системах управления // Сб.

докл. XVI Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, SCM-2013. 23–25 мая 2013 г. Т. 1. С. 130–137.

67. *Кораблев Ю.А., Шестопалов М.Ю.* Концепция методологии исследований в области обеспечения отказоустойчивости процесса управления технологическими системами и объектами // Сб. докл. VII Рос. мультikonф. по проблемам управления. СПб., ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». 7–9 октября 2014 г. С. 79–86.

68. *Кораблев Ю.А., Савельев Д.М., Шестопалов М.Ю.* Виртуальный полигон исследования отказоустойчивых систем управления // Изв. «ЛЭТИ». 2014. № 4. С. 28–33.

69. *Корнушенко Е.К.* Поиск неисправных компонент в линейных системах, заданных структурными схемами. Ч. I // Автоматика и телемеханика. 1985. № 3. С. 104–110; Ч. II // Автоматика и телемеханика. 1985. № 4. С. 110–117.

70. *Кулик А.С.* Диагностируемость линейных непрерывных систем // Автоматика и телемеханика. 1987. № 6. С. 148–155.

71. *Кухтенко А.И.* Проблема инвариантности в автоматике. Киев, 1963. С. 376.

72. *Лаврентьев М.М.* О некоторых некорректных задачах математической физики. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1962. С. 96.

73. *Лузин Н.Н., Кузнецов П.И.* К абсолютной инвариантности и инвариантности до ϵ в теории дифференциальных уравнений // Докл. АН СССР. 1946. Т. 51, № 4. С. 247–249; № 5. С. 331–333.

74. *Маркович З.П.* Предварительный выбор эффективных диагностических параметров на базе топологической модели объекта // Техн. диагностика. М.: Наука, 1972. С. 123–127.

75. *Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л.* Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. СПб.: Наука, 2000. С. 549.

76. *Мозгалеvский А.В.* Техническая диагностика (непрерывные объекты): обзор // Автоматика и телемеханика. 1978. № 1. С. 145–166.

77. *Моисеев Н.Н.* Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. С. 488.

78. *Мэзон С., Циммерман Г.* Электронные цепи, сигналы и системы. М.: ИИЛ, 1963. С. 620.

79. *Никифоров В.О.* Адаптивное и робастное управление с компенсацией возмущений. СПб.: Наука, 2003. С. 282.

80. *Никифоров В.О., Ушаков А.А.* Управление в условиях неопределенности: чувствительность, адаптация и робастность. СПб.: Изд-во СПбГИТМО (ТУ), 2002. С. 232.

81. Моделирование и управление процессами топливных элементов с использованием Neuro-Fuzzy-технологии / Й. Нимейер, М. Хашка, Ф. Кребс, Ю. Кораблев, М. Шестопапов // НАУКА, ОБРАЗОВАНИЕ И ОБЩЕСТВО В XXI в.: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., СПб., СПбГЭТУ. 15 июня 2006 г. С. 130–141.

82. *Озеров Д.А., Пошихонов Л.Б.* Программа для анализа структурных свойств и расчета характеристик сложных систем управления CLASSiC-3. ФГУ ФИПС. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2012610177 от 20.01. 2012.

83. *Осис Я.Я.* Распознавание неисправностей сложных объектов диагностики с использованием теории размытых множеств // Кибернетика и диагностика. Рига: Зинатне, 1968. Вып. 2. С. 13–17.

84. *Осис Я.Я.* Минимизация числа точек контроля // Автоматическое управление. Рига: Зинатне, 1967. С. 175–179.

85. *Осис Я.Я.* Диагностирование на граф моделях. М: Академкнига, 1991. С. 244.

86. *Потрахов Н.Н., Шестопапов М.Ю.* Диагностика концевых деталей малого диаметра // Контроль. Диагностика. 2012. Вып. 9. С. 28–32.

87. *Пошихонов Л.Б., Шестопапов М.Ю.* Структурный подход к задаче обнаружения и локализации неисправностей сложного динамического объекта // Записки Горного института. 2012. Т. 197. С. 279–284.

88. *Пошихонов Л.Б., Шестопапов М.Ю.* Подходы к диагностике структурно-сложных систем управления с учетом характера неисправностей // Системы управления техническими объектами. Материалы VIII Всерос. науч.-техн. конф. ИТЭЭ-2012. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2012. С. 66–67.

89. *Пошихонов Л.Б., Шестопапов М.Ю.* Решение задач обнаружения и локализации неисправностей сложных систем управления по моделям топологического ранга // Материалы X Всерос. науч.-техн. конф. «Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем», ДНДС-2013. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2013. С. 23–26.

90. *Пошихонов Л.Б., Шестопапов М.Ю.* Модели систем отказоустойчивого управления многостадийными технологическими процессами // Сб. докл. VII Рос. мультikonф. по проблемам управления, СПб, ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». 7–9 октября 2014. С. 743–752.

91. Программный комплекс моделирования системы отказоустойчивого управления технологическим процессом вакуумного нанесения композиционных покрытий / М.Ю. Шестопапов, Л.Б. По-

шехонов, В.Т. Барченко, А.В. Беспалов. Рег. номер: 2013661314 от 05 декабря 2013 г.

92. Управление в условиях неопределенности / С.В. Прокопчина, Д.Х. Имаев, Л.В. Уткин, М.Ю. Шестопапов и др. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. С. 270.

93. *Ракитянская А.Б., Ротштейн А.П.* Диагностика на основе нечетких отношений // Автоматика и телемеханика. 2007. № 12. С. 113–130.

94. *Растригин Л.А.* Адаптация сложных систем. Рига: Зинатне, 1981. С. 375.

95. *Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М.* Чувствительность систем управления. М.: Наука, 1981. С. 464.

96. *Савельев Д.М., Шестопапов М.Ю.* Алгоритм обобщенной оценки кластеризации данных // Вісн. Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Сер. Фіз.-мат. науки. 2011. № 4. С. 205–209.

97. *Савельев Д.М., Шестопапов М.Ю.* Методика обобщенной оценки качества разбиения данных на кластеры // Изв. СПб. лесотехн. акад. 2011. Вып. 197. С. 202–212.

98. *Савельев Д.М., Шестопапов М.Ю.* Идентификация и моделирование ТП на основе Neuro-Fuzzy-технологии // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. № 4. С. 36–43.

99. *Седлар М.* Диполь чувствительности и метод точек чувствительности // Чувствительность автоматических систем. М.: Наука, 1968. С. 79–84.

100. Теория автоматического управления: учеб. для вузов / С.Е. Душин, Н.С. Зотов, Д.Х. Имаев и др.; под ред. В.Б. Яковлева. 3-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2009. С. 567.

101. *Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю.* Нейросетевые системы управления: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2002. С. 183.

102. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования / под ред. В.В. Солодовникова. Кн. 1. М.: Машиностроение, 1967. С. 770.

103. *Тихонов А.Н., Арсенин В.Я.* Методы решения некорректных задач. 2-е изд. М.: Наука, 1979. С. 285.

104. *Томович Р., Вукобратович М.* Общая теория чувствительности. М.: Сов. радио, 1972. С. 239.

105. *Тюкин И.Ю., Терехов В.А.* Адаптация в нелинейных динамических системах // Синергетика: от прошлого к будущему. № 36. Препринт. Г.Г. Малинецкого. Изд. стер. М.: Изд.-во ЛКИ, 2014. С. 384.

106. Флейшман Б.С. Основы системологии. М.: Радио и связь, 1982. С. 368.

107. Харитонов В.Л. Асимптотическая устойчивость семейства систем линейных дифференциальных уравнений // Дифференциальные уравнения. 2002. Т. 1, вып. 11. С. 2086–2088.

108. Шашихин В.Н. Синтез робастного управления для интервальных крупномасштабных систем с последствием // Автоматика и телемеханика. 1997. № 12. С. 164–174.

109. Шевцов И.В., Шестопалов М.Ю. Применение метода экспертных оценок для проектирования системы управления ТП разложения паров тетракарбонила никеля // Сб. докл. X междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, СПб. SCM'2007. 25–27 июня 2007 г. Т. 1. С. 92–98.

110. Шевцов И.В., Шестопалов М.Ю. Моделирование ТП разложения паров тетракарбонила никеля // Сб. докл. XI междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, СПб. SCM'2008. 25–27 июня 2008 г. Т. 1. С. 100–102.

111. Шевцов И.В., Шестопалов М.Ю. Методы построения математических моделей и систем управления непрерывными ТП на основе интеллектуальных технологий // Сб. тр. Междунар. конф. «Инновации-2008», Ташкент, Узбекистан. 24–25 октября 2008 г. С. 191–192.

112. Шевцов И.В., Шестопалов М.Ю. Применение генетического алгоритма для настройки нечеткой модели ТП разложения паров ТНК // Сб. докл. XIII междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, СПб. SCM'2010. 23–25 июня 2010 г. Т. 1. С. 279–286.

113. Шевцов И.В., Шестопалов М.Ю. Модели управления и диагностики технологического процесса производства никелевого порошка. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. С. 218.

114. Шестопалов М.Ю., Шаров К.С. Идентификация моделей непрерывных ТП с применением нейросетевых структур // Сб. докл. V Всерос. конф. «Нейроинформатика – 2003», Москва. 29–31 января 2003 г. С. 56–59.

115. Шестопалов М.Ю. Топологическая идентификация математических моделей непрерывных ТП на основе Fuzzy-технологии // Сб. докл. VI междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, SCM'2003. 25–27 июня 2003 г. Т. 1. С. 356–358.

116. Шестопалов М.Ю. Методика построения математических моделей непрерывных ТП на основе Neuro-Fuzzy-технологии // Сб.

докл. VI междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, SCM'2003. 25–27 июня 2003 г. С. 374–375.

117. *Шестопалов М.Ю.* Применение Fuzzy C-Means алгоритма и сети Кохонена для задач классификации диагностической информации // Сб. докл. VII междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, СПб. SCM'2004. 17–19 июня 2004 г. Т. 2. С. 198–201.

118. *Шестопалов М.Ю., Попова Ю.Б.* Алгоритмы нечеткой кластеризации // Сб. докл. XV Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям SCM-2012. Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 25–27 июня 2012. Т. 1. С. 229–231.

119. *Шестопалов М.Ю., Кораблев Ю.А.* Диагностика состояний непрерывных технологических процессов на основе нечеткой топологической идентификации // Записки Горного института. 2012. Т. 197. С. 250–256.

120. *Шестопалов М.Ю.* Fuzzy-управляемая реконфигурация отказоустойчивых систем управления // Изв. СПб. лесотехн. акад. 2012. Вып. 201. С. 230–238.

121. *Шестопалов М.Ю.* Системы отказоустойчивого управления технологическими процессами. СПб.: Элмор, 2013. С. 308.

122. *Шестопалов М.Ю.* Системный подход к построению математических моделей объектов отказоустойчивого управления // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. № 9. С. 86–89.

123. *Шестопалов М.Ю.* Концептуальная модель системы отказоустойчивого управления технологическими процессами // Изв. СПб. лесотехн. акад. 2013. Вып. 205. С. 162–171.

124. *Шестопалов М.Ю.* Топологические условия диагностируемости системных неисправностей // Сб. докл. науч. конф. с междунар. участие «Компьютерные науки и технологии», Варна, Бългрия. 27–28 септември 2013 г. Т. 2. С. 15–18.

125. *Шестопалов М.Ю., Кораблев Ю.А.* Диагностика состояний непрерывных технологических процессов на основе нечеткой топологической идентификации // Записки Горного института. 2012. Т. 197. С. 250–256.

126. *Шестопалов М.Ю., Имаев Д.Х.* Методика выбора диагностических признаков // Proceedings of International Conference on Soft Computing and Measurements SCM'2012. Vol. 2. Saint-Petersburg. 25–27 June 2012. P. 112–114.

127. *Шестопалов М.Ю., Имаев Д.Х.* Компьютерная имитация процедуры вибродиагностики систем управления // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2013. № 4. С. 47–52.

128. *Шестопалов М.Ю.* Системный подход к проектированию отказоустойчивых систем управления // Сб. докл. XVI Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, SCM-2013. Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 23–25 мая 2013. Т. 1. С. 14–19.

129. *Шестопалов М.Ю.* Методика построения систем реконфигурирования техническими объектами // Сб. докл. XVIII Межд. заочной науч.-практ. конф. «Технические науки – от теории к практике». Новосибирск: СибАК, 2013. С. 26–30.

130. *Шестопалов М.Ю.* Принципы построения структур отказоустойчивых систем управления технологическими процессами // Материалы X Всерос. науч.-техн. конф. «Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем» ДНДС-2013. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2013. С. 19–22.

131. *Шестопалов М.Ю., Имаев Д.Х.* Методика расчета отказоустойчивости систем управления ТП // Сб. докл. XVIII Межд. заочной науч.-практ. конф. «Технические науки – от теории к практике». Новосибирск: СибАК, 2013. С. 19–25.

132. *Шестопалов М.Ю., Имаев Д.Х.* Диагностирование систем управления с помощью нейросетевых классификаторов распознавания неисправностей // Сб. докл. XVI Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, SCM-2013. Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 23–25 мая 2013. Т. 1. С. 109–111.

133. *Шестопалов М.Ю., Имаев Д.Х.* Оптимальное реконфигурирование в системах отказоустойчивого управления // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2016. № . С. 55-61.

134. *Шестопалов М.Ю., Имаев Д.Х., Пошихонов Л.Б.* Моделирование систем отказоустойчивого управления технологическими процессами // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2014. № 8. С. 34–42.

135. *Шестопалов М.Ю., Пошихонов Л.Б.* Модели систем отказоустойчивого управления многостадийными технологическими процессами // Сб. докл. 7 Рос. мультikonф. по проблемам управления, СПб., ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». 7–9 октября 2014. С. 743–752.

136. *Шестопалов М.Ю.* Отказоустойчивое управление циклическими многостадийными технологическими процессами // Инновации. 2015. № 4 (198). С. 8–12.

137. *Щипанов Г.В.* Теория и методы проектирования автоматических регуляторов // Автоматика и телемеханика. 1939. № 1. С. 49–66.
138. Современная прикладная теория управления. Ч. 3 / В.Б. Яковлев, Ю.А. Кораблев, М.Ю. Шестопалов и др.; под ред. А.А. Колесникова // Центр «Интеграция». Москва–Таганрог: Изд-во ТГРУ, 2000. С. 580.
139. Diagnostics of Technical Systems using Fuzzy Clustering Methods / A. Alexeev, J. Popova, M. Shestopalov, J. Korablev // Proc. of the IEEE Russia. North West Section. 2012. Vol. 3. Pp. 21–24.
140. *Ayoubi M., Isermann R.* Neuro-fuzzy systems for diagnosis // Fuzzy Sets and Systems. 1997. №. 89. Pp. 289–307.
141. Integrated control, diagnosis and reconfiguration of a heat exchanger / P. Balle, M. Fischera, D. Fussel, O. Nells, R. Isermann // IEEE Control Systems. June 1998. Pp. 52–63.
142. Special issue on reconfigurable flight control / S. Banda and editor // Int. J. of Robust and Nonlinear Control. 1999. Vol. 9 (14). Pp. 997–1115.
143. Modelowanie procesu termojonowego osadzania powtok / W.T. Barczenko, J.A. Korablev, A.W. Murawiw, O.W. Nazarov, M.J. Szesztopalow // 3 M. Int. Techno-Scient. Conf. on. Influence of Production Engineering on stat of the sutfacelayer – SL 96 Gorzow Wlkp. Polska. 1996. Pp. 374–377.
144. *Bezdek J.C.* Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms. New York: Plenum Press, 1982. P. 256.
145. Fault-tolerant control systems – a holistic view / M. Blanke, R. Izadi-Zamanabadi, R. Bogh, Z.P. Lunau // Control Engineering Practice. 1997. Vol. 5(5). Pp. 693–702.
146. What is fault-tolerant control? / M. Blanke, C. Fret, F. Kraus, R.J. Patton, M. Staroswiecki // In Proc. of the 5th IFAC Symp. on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Process, 40–51, Budapest, Hungary, June 2000.
147. Diagnosis and Fault Tolerant Control / M. Blanke, M. Kinnaert, J. Lunze, M. Staroswiecki // Control Systems. Springer-Verlag, London. 2006. Vol. 2. P. 227.
148. Fault-tolerant control of the ship propulsion system benchmark / C. Bonivento, A. Paoli, L. Marconi // Control Engineering Practice. May 2003. Vol. 11(5). Pp. 483–492.
149. Multivariable adaptive algorithms for reconfigurable flight control / M. Bodson, J. Groszkiewicz // IEEE Trans. Control System Technology. 1997. Vol. 5(2). Pp. 217–229.

150. Two reconfigurable flight control design methods: robust servomechanism and control allocation / J.J. Burken, P. Lu, Z.L. Wu, C. Bahm // J. of Guidance, Control, and Dynamics. 2001. Vol. 24(3). Pp. 482–493.

151. Development of a reconfigurable flight control law for tailless aircraft / A.J. Calise, S. Lee, M. Sharma // J. of Guidance, Control, and Dynamics. 2001. Vol. 24(5). Pp. 896–902.

152. Reconfigurable control of power plants using learning automata / H.E. Carcia, A. Ray, R.M. Edwards // IEEE Control Systems Magazine. 1991. Vol. 3(2). Pp. 85–92.

153. *Chen J., Patton It. J., Chen Z.* Active fault-tolerant flight control systems design using the linear matrix inequality method // Trans. of the Institute of Measurement and Control. 1999. Vol. 21. Pp. 77–84.

154. *Davison E.J.* The robust control of a servomechanism problem for linear time-invariant multivariable systems // IEEE Trans on Automatic Control. 1976. Vol. AC-21, No. 1, February. Pp. 25–34.

155. *Dhayagude N., Gao Z.* Novel approach to reconfigurable control system design // J. of Guidance, Control, and Dynamics. 1996. Vol. 19(4). Pp. 963–967.

156. *Diao Y., Passino K.M.* Stable fault-tolerant adaptive fuzzy/neural control for turbine engine // IEEE Trans. Control System Technology. 2001. Vol. 9(3). Pp. 494–509.

157. *Dorogov A.Yu., Shestopalov M.Yu.* Separating Capacity of Weakly-Connected Module Neural Networks // Optical Memory & Neural Networks (Information Optics). 2004. Vol. 13, No. 3. Pp. 145–152.

158. *Dorogov A.Yu., Shestopalov M.Yu.* Fuzzy Clusterization of High Dimensionality Emperical // Data Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2007): Proc. of Ninth International Conf. (22–24 May 2007, Minsk, Republic of Belarus). Vol. 1. Minsk: United Institute of Informatics Problems of National Academy of Science of Belarus, 2007. Pp. 76–80.

159. *Dunn J.C.* A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well-separated cluster // J. Cybernet. 1973. Vol. 3, No 3. Pp. 32–57.

160. *Elder J.F., Barron R.L.* Automated design of continuously-adaptive control the «supercontroller» strategy for reconfigurable systems // Proc. American Control Conf. 1988. Vol. 3. Pp. 2225–2231.

161. *Frank P.M.* Fault diagnosis in dynamic systems using analytical and knowledge-based redundancy – a survey and some new results // Automatica. 1990. Vol. 26, № 3. Pp. 459–474.

162. *Frei C.W., Kraus F.J., Blanke M.* Recoverability viewed as a system property // In Proc. of the European Control Conference. Karlsruhe, Germany, Sept. 1999. Pp. 1201–1214.
163. *Gao Z.* Techniques in reconfigurable control systems design // In C.T. Leondes, Control and Dynamic Systems. Vol. 25. Pp. 89–115. Academic Press, New York, 1996.
164. *Gao Z., Antsaklis P.J.* Stability of the pseudo-inverse method for reconfigurable control systems // Int. J. of Control. 1991. Vol. 53(3). Pp. 717–729.
165. *Gao Z., Antsaklis P.J.* Reconfigurable control system design via perfect model following // Int. J. of Control. 1992. Vol. 56(4). Pp. 783–798.
166. *Groom K.N., Maciejewski A.A., Balakrishnan V.* Real-time failure-tolerant control of kinematically redundant manipulators // IEEE Trans. Robotics and Automation. 1999. Vol. 15(6). Pp. 1109–1115.
167. Fault tolerant control design: A reconfiguration strategy based on reliability analysis under dynamic behavior constraints / F. Guenab, D. Theilliol, P. Weber, Y. Zhang, D. Sauter // Proc. of the 6th IFAC SAFE-PROCESS' 06, Beijing, China. Pp. 1387–1392.
168. *Hajiyev C., Caliskan F.* Integrated sensor/actuator FDI and reconfigurable control for fault-tolerant flight control system design // Aeronautical J. 2001. Pp. 525–533.
169. *Hammett R.C.* Ultra-reliable real-time control systems – future trends // IEEE Aerospace and Electronics Systems Magazine. 1999. Vol. 14(8). Pp. 31–36.
170. *Ho L.-W., Yen G.G.* Reconfigurable control system design for fault diagnosis and accommodation // Int. J. of Neural Systems. 2002. Vol. 12(6). Pp. 497–520.
171. *Holmes M., Ray A.* Fuzzy damage-mitigating control of a fossil power plant // IEEE Trans. Control Systems Technology. 2001. Vol. 9(1). Pp. 140–147.
172. *Isermann R.* Process fault detection based on modelling and estimation methods – a survey // Automatica. 1984. Vol. 20, № 4. Pp. 387–404.
173. *Isermann R.* Model-based fault-detection and diagnosis – status and applications // Annual Reviews in Control. 2005. Vol. 29, Is. 1. Pp. 71–85.
174. *Isermann R.* Fault Diagnosis Applications – Model-Based Condition Monitoring: Actuators, Drives, Machinery, Plants, Sensors, and Fault-Tolerant Systems. Springer, 2011. Pp. 354.

175. *Isermann R., Schwarz R., Stolz S.* Fault-tolerant drive-by-wire systems // IEEE Control Systems Magazine. 2002. Vol. 22(5). Pp. 64–81.

176. *Itchev A.* Multiple fuzzy models for fault tolerant control // Int. J. of Fuzzy Systems. 2003. Vol. 5(1). Pp. 31–40.

177. *Izadi-Zamanabadi R., Blanke M.* A ship propulsion system as a benchmark for fault-tolerant control // Control Engineering Practice. 1999. Vol. 7(2). Pp. 227–239.

178. *Jiang J.* Design of reconfigurable control systems using eigen-structure assignment // Int. J. of Control. 1994. Vol. 59(2). Pp. 395–410.

179. *Katebi M.It., Grimble M.J.* Integrated control, guidance and diagnosis for reconfigurable autonomous underwater vehicle control // Int. J. of Systems Science. 1999. Vol. 30(9). Pp. 1021–1032.

180. *Keating M.S., Pachter M., Houppis C.H.* Fault tolerant flight control system: QFT design // Int. J. of Robust and Nonlinear Control. 1997. Vol. 7(6). Pp. 551–559.

181. *Khelassi A., Thelliol D., Weber P.* Reconfigurability analysis for reliable fault-tolerant control // Int. J. Appl. Math. Comput. Sci. 2011. Vol. 21, No. 3. Pp. 431–439.

182. *Kim D., Kim Y.* Robust variable structure controller design for fault tolerant flight control // J. of Guidance, Control, and Dynamics. 2000. Vol. 23(3). Pp. 430–437.

183. *Kim Y.-W., Itizzoni G., Utkin V.I.* Developing a fault tolerant power-train control system by integrating design of control and diagnostics // Int. J. of Robust and Nonlinear Control. 2001. Vol. 11(11). Pp. 1095–1114.

184. *Kobi A., Nowakowski S., Ftagot J.* Fault detection/isolation and control reconfiguration // Mathematics and Computers in Simulation. 1994. Vol. 37(2). Pp. 111–117.

185. *Konstantopoulos I.K., Antsaklis P.J.* An optimization approach to control reconfiguration // Dynamics and Control. 1999. Vol. 9(3). Pp. 255–270.

186. *Korbicz J., Kościelny J. i inni (red).* Diagnostyka procesow. Modele. Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania. Warszawa: WNT, 2002. Pp. 828.

187. *Kosko B.* Neural Networks and Fuzzy Systems. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1992. Pp. 449.

188. *Krebs V., Korablev J., Shestopalov M.* Neuro-Fuzzy-technology based diagnostics in technical control systems // Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям, Санкт-Петербург, 17–19 июня 2004 г. Т. 2. С. 208–210.

189. *Korablev Yu.A., Hudolozhkin S.A., Shestopalov M.Yu* A combined adaptive approach for detection and isolation of wind turbine faults // 18 Int. Conf. on Soft Computing and Measurements, SCM 2015; St. Petersburg; Russian Federation; 19–21 May 2015. Category number CFP15C43-PRT. Pp. 47–53.
190. Expert supervision of fuzzy learning systems for fault tolerant aircraft control / W.A. Kwong, K.M. Passino, E.G. Laukonen, S. Yurkovich. // Proc. of the IEEE. 1995. Vol. 83(3). Pp. 466–483.
191. An automatic redesign approach for restructurable control systems / D.P. Looze, J.L. Weiss, J.S. Eterno, N.M. Barrett // IEEE Control System Magazine. 1985. Vol. 5. Pp. 16–22.
192. *Lopez-Toribio C.J., Patton It. J., Daley S.* Takagi-Sugeno fuzzy fault-tolerant control of an induction motor // Neural Computing and Applications. 2000. Vol. 19. Pp. 19–28.
193. *Maciejowski J.M.* Modelling and predictive control: Enabling technology for reconfiguration // Annual Reviews in Control. 1999. Vol. 23. Pp. 13–23.
194. *Mariton M.* Detection delays, false alarm rates and the reconfiguration of control systems // Int. J. of Control. 1989. Vol. 49(3). Pp. 981–992.
195. Application of precomputed control laws in a reconfigurable aircraft flight control system / D.D. Moerder, N. Halyo, J.R. Broussard, A.K. Caglayan // J. of Guidance, Control, and Dynamics. 1989. Vol. 12(3). Pp. 325–333 (Применение рассчитанных заранее законов управления в реконфигурируемой системе управления полетом / Д.Д. Мердер, Н. Хальо, Дж. Р. Бруссард, А.К. Каглайан // Аэрокосмическая техника. 1989. № 12. С. 33–42).
196. *Maybeck P.S.* Application of multiple model adaptive algorithms to reconfigurable flight control // In C.T. Leondes, editor, Control and Dynamic Systems. 1992. Vol. 52. Pp. 291–320. New York: Academic Press.
197. *Maybeck P.S.* Multiple model adaptive algorithms for detecting and compensating sensor and actuator/surface failures in aircraft flight control systems // Int. J. of Robust and Nonlinear Control. 1999. Vol. 9(14). Pp. 1051–1070.
198. *Mort N., Derradji D.A.* Control reconfiguration in submersible vehicles using artificial neural networks // Int. J. of Systems Science. 1999. Vol. 30(9). Pp. 989–1010.
199. *Napolitano M.It., Swaim It.L.* New technique for aircraft flight control reconfiguration // J. of Guidance, Control, and Dynamics. 1991. Vol. 14(1). Pp. 184–190.

200. *Napolitano M.R., Swaim R.L.* New techniques for aircraft flight control reconfiguration // In C.T. Leondes, editor, Control and Dynamic Systems. 1992. Pp. 155–228. New York: Academic Press.

201. On-line learning nonlinear direct neurocontrollers for restructurable control systems / M.R. Napolitano, S. Naylor, C. Neppach, V. Cmsdorph // J. of Guidance, Control, and Dynamics. 1995. Vol. 18(1). Pp. 170–176.

202. *Napolitano M.R., An Y., Seanor B.A.* A fault tolerant flight control system for sensor and actuator failures using neural networks // Aircraft Design. 2000. Vol. 3(2). Pp. 103–128.

203. *Nerode A., Kohn W.* Models for hybrid systems: Automata, topologies, stability // Hybrid Systems / Ed. R.L. Grossman et al. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 736. Berlin: Springer-Verlag, 1993. Pp. 317–356.

204. *Ning J.N., Chou H.P.* Construction and evaluation of fault detection network for signal validation // IEEE Trans, on Nuclear Science. 1992. Vol. 39, № 4. Pp. 943–947.

205. *Noura H., Theilliol D., Sauter D.* Actuator faulttolerant control design: Demonstration on a three-tank system // Int. J. of Systems Science. 2000. Vol. 31(9). Pp. 1143–1155.

206. Fault-tolerant Control Systems. Design and Practical Applications / H. Noura, D. Theilliol, J.-C. Ponsart, A. Chamseddine. Springer-Verlag London Limited, 2009. P. 231.

207. Faulttolerant control in dynamic systems: Application to a winding machine / H. Noura, D. Sauter, F. Hamelin, D. Theilliol // IEEE Control System Magazine. 2000. Vol. 20(1). Pp. 33–49.

208. *Ochi Y., Kanai K.* Design of restructurable flight control systems using feedback linearization // J. of Guidance, Control, and Dynamics. 1991. Vol. 14(5). Pp. 903–911.

209. *Patton R.J.* Fault-tolerant control: the 1997 situation // In Proc. of IFAC Symp. on SAFEPROCESS. 1033–1055. Hull, UK, Aug. 1997.

210. *Patton R., Frank P., Clark R. (Eds.)* Issues of Fault Diagnosis for Dynamic Systems. Berlin: Springer-Verlag, 2000. Pp. 565.

211. *Podder T.K., Antonelli G., Sarkar N.* Fault-tolerant control of an autonomous underwater vehicle under thruster redundancy // Robotics and Autonomous Systems. 2001. Vol. 34(1). Pp. 39–52.

212. *Polycarpou M.M., Vemuri A.T.* Learning methodology for failure detection and accommodation // IEEE Control System Magazine. 16–24 June 1995.

213. *Polycarpou M.M., Vemuri A.T.* Learning approach to fault tolerant control: An overview // In Proc. of the IEEE Int. Symp. on Intelligent Control. 1998. Pp. 157–162. GMthersburg, MD, Sept.
214. *Ramamoorthy C.V.* A structural theory of machine diagnosis // Proc. of Spring Joint Computers Conferense. 1967. № 30. Pp. 743–756.
215. Decision making in fault tolerant control systems of technological processes // 18 Int. Conf. on Soft Computing and Measurements, SCM 2015; St. Petersburg; Russian Federation; 19–21 May 2015. Category number CFP15C43-PRT. Pp. 37–41.
216. *Poshekhonov L.B., Shestopalov M.Yu.* Applied aspects of implementation of fault tolerant control systems for cyclic multistage technological processes // 18 Int. Conf. on Soft Computing and Measurements, SCM 2015; St. Petersburg; Russian Federation; 19–21 May 2015. Category number CFP15C43-PRT. Pp. 35–36.
217. *Raspini E.* A new approach to clustering // Information and Control. 1969. Vol. 15, №. 1. Pp. 22–32.
218. *Raspini E.* Numerical methods for fuzzy clustering // Information and Science. 1970. Vol. 2. Pp. 319–350.
219. *Rauch H.E.* Intelligent fault diagnosis and control reconfiguration // Control Systems Magazine. June 1994. Pp. 6–12.
220. *Rauch H.E.* Autonomous control reconfiguration // IEEE Control System Magazine. Dec. 1995. Pp. 37–48.
221. *Ray A., Desai M., Deyst J.* On-line fault diagnosis in a nuclear reactor by sequential testing // IEEE Trans. on Nuclear Science. 1983. Vol. 2.0, № 3. Pp. 1850–1855.
222. *Schram G., Verbruggen H.B.* A fuzzy logic approach to fault-tolerant control // J.A. 1998. Vol. 39(3). P. 14–21.
223. *Shestopalov M., Korablev Y.* Development of Diagnostic Models for FTCS // Proc. of the IEEE Russia. North West Section. 2012. Vol. 3. Pp. 25–26.
224. *Shestopalov M., Korablev Y.* Development of Methodology for Fuzzy-Controlled Fault Tolerant Control Systems Department of Automation and Control Processes // Proc. of the IEEE Russia. North West Section. 2012. Vol. 4. St. Petersburg State Electrotechnical University «LETI». Pp. 12–15.
225. *Shestopalov M., Savelyev D.* Technical Object's Fault Tolerant Control (ETC) Systems Design and Development Instrumental Tools // Proc. of the IEEE Russia. North West Section. 2013. Vol. 5. Department of

Automation and Control Processes. St. Petersburg State Electrotechnical University «LETI». Pp. 10–11.

226. *Shestopalov M.* Integrated Approach to Design of Fault-Tolerant Control Systems // Proc. of the IEEE Russia. North West Section. 2013. Vol. 5. Department of Automation and Control Processes. St. Petersburg State Electrotechnical University «LETI». Pp. 5–9.

227. *Shestopalov M., Korablev Y., Savelyev D.* Instrumental Tools for Design and Development of Technical Objects' Fault Tolerant Control Systems // Proc. of the 2015 IEEE Russia. North West Russia Section. Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (2015EIconRusNW). February 2–4, 2015, Faculty of Computer Science and Technology, St. Petersburg Electrotechnical University «LETI». Pp. 255–256.

228. *Shestopalov M., Korablev Y.* Development of Diagnostic Models for FTCS // Proc. of the IEEE Russia. North West Section. 2012. Vol. 3. Pp. 25–26.

229. *Staroswiecki M., Gehin A.-L.* From control to supervision // Annual Reviews in Control. 2001. Vol. 2. Pp. 1–11.

230. *Stengel R.F.* Intelligent failure-tolerant control // IEEE Control Systems Magazine. June 1991. Pp. 14–23.

231. *Takagi T., Sugeno M.* Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1985. Vol. 15, No. 1. Pp. 116–132.

232. *Tao G., Joshi S.M., Ma X.* Adaptive state feedback and tracking control of systems with actuator failures // IEEE Trans. Automatic Control. 2001. Vol. 46(1). Pp. 78–95.

233. *Van der Velde W.E.* Control system reconfiguration // Proc. American Control Conf. 1984. Vol. 3. Pp. 1741–1745.

234. *Wang S., Chen Y.* Fault-tolerant control for outdoor ventilation air flow rate in buildings based on neural network // Building and Environment. 2002. Vol. 37(7). Pp. 691–704.

235. *Wang H., Wang Y.* Neural-network-based faulttolerant control of unknown nonlinear systems // IEE Proc. – Control Theory and Applications. 1999. Vol. 146(5). Pp. 389–398.

236. An open platform for reconfigurable control / L. Wills, S. Kannan, S. Sander, M. Guler, B. Heck, J.V.R. Prasad, D. Schrage, G. Vachtsevanos // IEEE Control Systems Magazine. 2001. Vol. 21(3). Pp. 49–64.

237. *Willsky A.S.* A survey of design methods for failure detection in dynamic systems // Automatica. 1976. Vol. 12, № 6. Pp. 601–611.

238. *Witczak M.* Modelling and Estimation Strategies for Fault Diagnosis of Non-Linear Systems // *Analitical to Soft Computing Approaches*. Berlin: Springer-Verlag, 2007. P. 212.
239. *Wu N.E., Chen T.J.* Feedback design in control reconfigurable systems // *Int. J. of Robust and Nonlinear Control*. 1996. Vol. 6(6). Pp. 561–570.
240. *Yakovlev V.B., Imaev D.H.* Structure synthesis of invariant control systems // *Int. J. Control*. 1989. Vol. 49. №. 5. Pp. 1453–1463.
241. *Yager R.R., Filev D.P.* Approximate clustering via the mountain method // *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*. 1994. Vol. 24. Pp. 1279–1284.
242. *Zade L.A.* Fuzzy sets // *Information and Control*. 1965. Vol. 8. Pp. 338–353.
243. *Zhang Y.* Active Fault Tolerant Control Systems. Berlin: Springer-Verlag, 2003. P. 208.
244. *Zhang Y., Jiang J.* Bibliographical review on reconfigurable fault-tolerant control systems // *Annual Reviews in Control*. 2008. Vol. 32. Pp. 229–252.
245. *Zhang Y.M., Jiang J.* Integrated design of reconfigurable fault-tolerant control systems // *J. of Guidance, Control, and Dynamics*. Jan.–Feb. 2001. Vol. 24(1). Pp. 133–136.
246. *Zhang Y.M., Jiang J.* An active fault-tolerant control system against partial actuator failures // *IEE Proceedings – Control Theory and Applications*. 2002. Vol. 149(1). Pp. 95–104.
247. *Zhang Y.M., Jiang J.* Integrated design of reconfigurable fault-tolerant control systems // *J. of Guidance, Control, and Dynamics*. Jan.–Feb. 2001. Vol. 24(1). Pp. 133–136.
248. *Zhou D.H., Frank P.M.* Fault diagnosis and fault tolerant control // *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*. 1998. Vol. 34(2). Pp. 420–427.
249. *Zhou K., Ren Z.* A new controller architecture for high performance, robust, and fault-tolerant control // *IEEE Trans. Automatic Control*. 2001. Vol. 46(10). Pp. 2688–2693.

ГЛАВА 2

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ И МЯГКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ЭКОНОМИКЕ И ФИНАНСАХ (ОБЗОР)

**А.О. Недосекин, З.И. Абдулаева,
Е.И. Рейшахрит, А.Н. Козловский**

Введение

В России по состоянию на начало XXI века отечественные и переводные монографии, так или иначе относимые к тематике Fuzzy Economics (FE), можно пересчитать по пальцам двух рук. Помимо классической монографии Л. Заде 1976 года [10], сюда следует отнести [20, 4, 66, 62, 73, 6, 60, 9, 61]. На сегодняшний день (2017 год), количество монографий по проблематике FE исчисляется уже десятками в России и сотнями за рубежом.

В данной главе коллективной монографии представлен краткий обзор FE-результатов, полученных в рамках научной школы д.э.н. Недосекина А.О.: им самим, его сподвижниками и последователями, за последние 20 лет. Все наши основные результаты сосредоточены в цитируемых монографиях, электронная коллекция которых представлена одновременно на двух площадках: на сайте нашей творческой лаборатории www.ifel.ru, а также в библиотеке www.twirpx.ru.

Чтобы уверенно выступать на поле Fuzzy Economics, нужно и самому становиться экономистом и финансистом, получать соответствующую научную квалификацию. Поверхностные погружения в экономику со стороны технических специалистов и математиков, без поддержки экспертов-экономистов – обречены на неуспех. Необходимо глубоко изучать экономический или финансовый объекты исследования, сугубо математическим или техническим специалистам это просто не под силу. Правда, большую помощь в исследованиях оказывает системно-

кибернетическая концепция, когда экономические системы рассматриваются как кибернетические системы [77, 74, 5, 70, 67, 57]. Это же позволяет активно применять в экономических исследованиях наработки технико-кибернетических наук: надёжности [8], живучести [71, 72], безопасности [56], устойчивости (см. п. 1.4.3).

2.1. Экономика и финансы – специфические объекты научного исследования

Экономическая система – это всегда живая система, в отличие от неживых технических систем: конечного автомата, радиосхемы, автомобиля. Основу экономической системы всегда составляют люди и человеческие коллективы, которые собрались в периметре экономической системы для того, чтобы совместно поучаствовать в производстве, перераспределении, хранении и потреблении материальных и нематериальных благ – товаров, услуг, ценностей. Поверх человеческих коллективов простираются тонкополевые эгрегоры – ментально-эмоциональные конденсаты, аккумулирующие результат жизнедеятельности предприятия на тонких планах. Это обстоятельство также добавляет экономической системе жизненности (пусть даже маловидной, имплицитной, неявной). Жизненность (**витальность**) экономической системы в целом обусловлена следующим [35]:

- жизнеспособная миссия, адекватное стратегическое намерение;
- вменяемое первое лицо плюс отстроенный менеджмент, по принципу «дирижёр – оркестр»;
- эквивалентное взаимодействие с заинтересованными сторонами (со стейкхолдерами);
- независимость от паразитарных программ (например, от кабального кредита);
- непрерывная готовность проектировать и внедрять инновации, в том числе – масштабные организационные изменения;
- гармоничные отношения собственников бизнеса;
- навык безболезненно масштабироваться по рынку (в т.ч. через аутсорсинг);
- жизнеспособная и принимаемая сотрудниками корпоративная культура;
- непрерывная борьба с социальным раком – с бюрократией и её синеккурами. Безостановочные социальные лифты;

- эффективный контроль бизнеса через просчитывание решений в ходе стратегического моделирования (картирования).

Люди принимают экономические решения в расплывчатой среде, где наиболее размытой является собственно сфера человеческих решений, её мотивационная сторона, её эмоциональный подтекст. Львиная доля человеческих решений в экономике, несмотря на их видимую рациональную часть, подчинена базовым инстинктам жадности, страха и желания властвовать. Но меньшая часть решений – обычно, решений первых лиц инновационных проектов – продиктована высшими моментами: желанием реализовать своё Предназначение, любопытством, творческим порывом. И мощь таких высоковибрационных решений, меняющих мир – перевешивает совокупный результат решений обыденных, низковибрационных. С этой точки зрения, тонкие планы управляют грубыми, Небо управляет Землёй, *Spiritus dominat forma* (Дух управляет плотью, лат.). Всю эту гармонию очень трудно «поверить алгеброй» (с); но Л. Заде показал, что правдоподобное моделирование человеческих суждений и эмоциональных реакций – возможно и оправдано.

Люди неодинаковы, они разнятся по амплитудно-частотной характеристике своих Душ [40, с. 45–48]. Из этого напрямую вытекает разброс соционических типов соответствующих субъектов хозяйственной деятельности [22]. Из этого также вытекает разброс в типах экономического мышления и в соответствующем дискурсе: производственном, финансово-маркетинговом, коммуникационном, энергоинформационном. Зачастую люди, даже собранные под крылом одной проектной команды, не в состоянии договориться друг с другом, понять мотивы друг друга, выработать единую точку зрения. Подобные транзакционные издержки, возникающие в ходе деловой коммуникации, также подлежат нечёткому моделированию (чёткое классическое моделирование в данном случае попросту невозможно). В целом, имплицитные факторы деятельности организации охотно подвергаются нечётко-логическому моделированию (это показал Д.М. Назаров в своём докторском исследовании, см. п. 1.3.10).

Экономика предоставляет исследователям массу статистической информации, выраженной как количественно, так и качественно (экспертно-оценочно), а также обладающей бинарной признаковой формой «да/нет». Весь этот массив разнородных данных требуется обобщать и консолидировать, для получения интегральной оценки, нечёткого выво-

да или для принятия уверенных решений. Центральная проблема в том, что получаемые данные обычно не обладают свойством массовости и статистической однородности. Поэтому то, что в обиходе понимается под «экономической статистикой», на самом деле представляет собой квазистатистику [32] – набор неоднородных, неполных, количественно скудных, а иногда и заведомо искажённых данных. Соответственно, не получается применять в анализе этих данных классические частотные вероятности, базирующиеся на принципах массовости и однородности. Моделируя возникающую неопределённость, мы сразу же переходим от частотных вероятностей к вероятностям других типов: валентным, имплекативным, субъективно-аксиологическим [21]. Мы начинаем увязывание потоков количественных измерений и экспертных оценок в единой вероятностно-возможностной оценке. И тут пути исследователей расходятся. Кто-то из нас остаётся в вероятностной парадигме (например, в рамках байесовского подхода [65]), а кто-то (например, наша школа) – полностью выходит из пространства вероятностных описаний, замещая их нечётко-логическими моделями. И первое, что здесь приходит на ум – это попытаться провести лингвистическую классификацию уровней измеряемых факторов (например, по виду их гистограмм [58]). В результате такой обработки (фаззификации, майнинга), мы получаем первичные знания о том, какие уровни измеряемого фактора признаются высокими, а какие – низкими, и с какой степенью уверенности. Это даёт нам основания сделать следующие шаги – выстраивать схему нечётко-логического вывода, получать нечёткие оценки интегральных факторов и проводить лингвистическое распознавание их уровней. В этом, по существу, и заключается нечётко-логический подход к анализу экономических систем, который мы проповедуем и внедряем.

Особую роль в нашем рассмотрении занимают собственно финансы, как наиболее ликвидная часть экономических систем, обладающая собственной витальностью, повадкой (трактат [42] описывает это обстоятельство во всех подробностях). Т.е., мы снова имеем дело с живой субстанцией, обладающей самостоятельным проактивным поведением. С этой точки зрения, концепция финансового менеджмента как управления чем-то неживым и пассивным – морально устарела. С Деньгами нужно договариваться; соответственно, управление должно протекать в парадигме «субъект – субъект». Пренебрежительное отношение к этому постулату может вызвать катастрофу такого масштаба, перед лицом которой черныбыльский взрыв покажется детским утренником. Примеры

таких катастроф на слуху: великая депрессия 1929 года, падение индекса NASDAQ 2001 года. Сказанное также предъявляет определённые требования к нечётко-логическим финансовым моделям.

Что ж, приступим к обзору результатов, полученных за 20-летний отчётный период.

2.2. Первые шаги научной школы (1999–2008)

К концу XX века весь просвещённый экономический мир был взоружён результатами, полученными Э. Альтманом и его научной школой в части прогнозирования вероятности банкротства предприятий [75,76]. Эта вероятность лингвистически нормировалась по жёсткому правилу (интервально) на основе Z-оценки, полученной как свёртка финансовых отношений различной природы. Подобные же методы предлагались и другими зарубежными и российскими учёными. Было с самого начала ясно, что оценка Альтмана является необычайно чувствительной к стране, где производятся замеры, а также к году оценивания, причём этот год вносил в оценку не статистическую, а систематическую погрешность. Методика Альтмана стала жертвой той существенной статистической неоднородности, которая лежала в её основе. Это всё вызвало шквал критики – и одновременно запрос на создание менее чувствительной и более ёмкой схемы оценки, с точки зрения заложенных в неё экспертных знаний.

И такая методика была создана в 1999 году ([53] и ранние Интернет-публикации), получив название VM-метода оценки риска банкротства. Соответствующие исследования были произведены в компании «Воронов и Максимов», основатели которой – К.И. Воронов и О.Б. Максимов – в своё время входили в группу «АЛЪТ» и являлись ключевыми разработчиками международно признанных программных продуктов «АЛЪТ-ИНВЕСТ» и «АЛЪТ-ФИНАНС». В этой первой разработке Максимов О.Б. выступал в качестве экономиста-эксперта, а Недосекин А.О. – в качестве системного аналитика и специалиста в области вероятностной и нечёткой логики (в то время он ещё не был признанным экономистом).

И именно тогда был придуман формализм, который впоследствии был назван **матричным агрегатным вычислителем (МAB)**. Суть этой техники в следующем:

- экспертно отбирались финансовые показатели деятельности предприятия, которые имели максимальное отношение к оценке вероятности банкротства предприятия. В принципе, можно было брать показатели прямо из методики Альтмана; их там было 5, мы взяли 6;

- уточнялось, в каком отношении предпочтения находились одни факторы к другим, в части оценки риска банкротства. Соответственно, все показатели выстраивались по убыванию предпочтения факторов;

- на основании выстроенной системы предпочтений, показателям присваивались веса, причём сумма весов была равна единице. Уже тогда мы придумали схему определения весов, которую впоследствии назвали **схемой Фишберна**. Эта схема подробно описана в [2, с. 83–85] и воспроизводится в главе 3 настоящей монографии. Раньше она успешно применялась нами в задачах живучести, для оптимального взвешивания альтернатив неблагоприятных воздействий. Теоретические основы применения схемы Фишберна изложены в [69, 68];

- выбранные показатели проходили мягкую лингвистическую классификацию по пяти градациям: «Очень низкий (ОН), Низкий (Н), Средний (Ср), Высокий (В), Очень высокий (ОВ)». Для этого применялась система трапециевидных функций принадлежности, удовлетворяющая условию серой **шкалы Пospelова** [64]. На верхнем основании классифицирующих трапеций нами выбирались абсциссы, которые мы называли **узловыми точками** и которые в последующем выступали в качестве весов при агрегировании. Для равномерной шкалы, определённой на 01-носителе (на единичном интервале), в качестве таких узловых точек выступали абсциссы (0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9). В этих точках уверенность эксперта в распознавании соответствующей качественной градации была 100%-ой;

- затем формировалась матрица, где по столбцам располагались отдельные финансовые отношения со своими весами, а по столбцам – качественные градации, со своими узловыми точками. На пересечении строк и столбцов оказывался уровень принадлежности i -го фактора к j -ой качественной градации, который был установлен по результатам анализа финансовой отчётности предприятия (см. табл. 1);

- интегральный показатель комплексного состояния предприятия оценивался как двумерная свёртка показателей принадлежности, с двумя системами весов – весов Фишберна для показателей и весов узловых точек для качественных градаций. По построению, результи-

рующий показатель лежал на 01-носителе. Чем выше уровень этого показателя, тем ниже риск банкротства.

Таблица 1

Матрица для комплексной оценки финансового состояния предприятия

Наименование показателя	Результат классификации по подмножествам				
	B_{i1}	B_{i2}	B_{i3}	B_{i4}	B_{i5}
X_1	λ_{11}	λ_{12}	λ_{13}	λ_{14}	λ_{15}
...	...	...	...	...	...
X_i	λ_{i1}	λ_{i2}	λ_{i3}	λ_{i4}	λ_{i5}
...	...	...	...	...	...
X_N	λ_{N1}	λ_{N2}	λ_{N3}	λ_{N4}	λ_{N5}

Источник: [32, с. 66]

Очевидное преимущество МАВ-схемы перед методикой Альтмана состоит в её структурной прозрачности. На каждом шаге рассмотрения мы понимаем, почему тот или иной уровень фактора является высоким или низким, и какой вклад в комплексную оценку вносит этот фактор, и на каком основании. Матрица вида табл. 1 представляет собой своеобразный рентгеновский снимок текущего состояния предприятия, его экспресс-оценку. В последствии эта матрица активно применялась в групповых исследованиях корпораций (например, см. [11], где количественно доказывается преимущество нечётко-логических методов для оценки риска банкротства).

Тем не менее, «альтмановские» подходы к оценке риска банкротства продолжают доминировать, а VM-методика не получила широкого признания. Связано это с двумя вещами: а) новые результаты приживаются плохо, экономическая наука в этом смысле инерционна; б) в этой науке, как и на любом рынке, сегодня главное значение имеет не результат, а умение его презентовать и продвинуть. Вероятно, нам в своё время просто не хватило коммерческой сметки. Нам показалось, что результат говорит сам за себя.

Синхронно с результатом **предыдущего пункта главы**, был придуман новый показатель оценки риска инвестиционного проекта (совместно с К.И. Вороновым [51]). Существует распространённая рекомендация применительно к оценке экономической эффективности инвестиционных проектов [25]: оценивать её в отношении трёх сценариев развития – пессимистического, среднеожидаемого и оптимистического. В то же время, ничто не мешает проводить рассмотре-

ние не отдельных «крайних» сценариев, а всего их возможного поля. В таком случае, денежные потоки проекта представляют собой нечёткие числа произвольного вида; равным образом, по построению, чистая современная ценность проекта (NPV) также является нечётким числом. В простейшей постановке задачи, можно рассматривать NPV в качестве треугольного нечёткого числа.

Установим нормативное значение NPV, ниже которого проект считается экономически неэффективным, и обозначим его L . Тогда риск неэффективности проекта – это возможность того, что NPV по результатам проекта на горизонте инвестирования окажется меньше L :

$$Risk = Poss \{NPV < L\}. \quad (1)$$

Для случая классической оценки $L = 0$. Если NPV – треугольное число, то (1) имеет аналитическое выражение, которое приведено в [43, с. 25–26]. В случае максимально неопределённой ситуации вокруг проекта, NPV представляется интервалом с координатами $[\min, \max]$. В этом случае, (1) имеет раскрытие следующего вида:

$$Risk = \begin{cases} 0, L < \min \\ (L - \min) / (\max - \min), \min < L < \max \\ 1, L > \max \end{cases} \quad (2)$$

В том случае, если в проект попадают реальные опционы, форма исходного унимодального нечёткого числа NPV трансформируется, и классические соотношения перестают работать. В этом случае применяется приближённая оценка риска, построенная на интервально-сегментном представлении нечёткого числа и на формуле (2). Методика приведена в [2, с. 101–102].

Хорошо известна классическая модель оптимизации фондового портфеля по Г. Марковицу (нобелевскому лауреату), которая рассматривает фондовые активы в парадигме «волатильность – доходность», когда случайные величины доходности распределены нормально, а между этими величинами в портфеле существует статистическая связь [82], описанная корреляционной матрицей. Красивая теория «угловых портфелей» и метода квадратичной оптимизации Куна-Таккера позволяет получить точное решение портфельной задачи: найти оптимальное распределение весов компонент в портфеле, когда достигается

максимум доходности при фиксированной волатильности, или минимум волатильности при фиксированной доходности.

Математическая модель оптимизации портфеля, предложенная Марковицем, выражает центральный принцип портфельного управления, основанный на золотом правиле инвестирования:

- чем большую доходность ожидает инвестор, тем с большими рисками ему придётся столкнуться;
- или – что то же самое: чем более высокий уровень риска инвестор склонен принимать в своих инвестициях, тем большую премию за риск он вправе запросить.

Именно золотое правило инвестирования предопределяет существование дискретного или непрерывного множества оптимальных портфельных альтернатив. Это множество, которое Марковиц называет эффективной границей портфельного облака, представляет собой счётное или несчётное множество недоминированных альтернатив в смысле Парето, когда два портфеля доминируют друг друга только по одному критерию из двух (по доходности или по волатильности). Значит, решить оптимизационную портфельную задачу – означает выделить из полного множества портфелей подмножество его недоминированных альтернатив; и это правило выводит теорию портфельной оптимизации далеко за рамки стартовых допущений Марковица, когда уже неважно, в каких осях спозиционирован портфель, и, вообще, сколько этих самых осей рассматривается.

Как только теория Марковица была опубликована, ликование первых лет по её поводу сменилось отрезвлением и последующей нарастающей критикой. Суммарный объём критических замечаний можно скомпоновать в четыре проблемы [43, с. 160]:

- **Проблема 1.** Вероятностные распределения доходности активов не являются нормальными. Ю. Фама ввёл в оборот проблему «толстых хвостов» [79], искажающих исходную «нормальную» гипотезу. Нет нормального двухпараметрического распределения – нет и оптимизации в классической постановке задачи.

- **Проблема 2.** У активов вообще не может быть вероятностных распределений в частотном смысле. Парадигмальные изломы в ценовой истории свидетельствуют об отсутствии статистической однородности за пределами выделенного участка рассмотрения исторических данных, между двумя парадигмальными изломами. Пример: статистика роста акций США в 1995–2000 годах – не может рассматриваться совместно со статистикой спада на том же рынке в 2001–2003 гг.

- **Проблема 3.** Проблема производных ценных бумаг. Введение деривативов в фондовый портфель деформирует исходное нормальное распределение доходности, внося в него усечения и изломы. Гладкие колоколообразные плотности распределений исчезают как класс.

- **Проблема 4.** Волатильность – это не риск, а мера неопределённости. Под риском стоит понимать только вероятность или возможность негативного развития ситуации портфельного управления (курсовых убытков). Плюсовая волатильность – это благо для портфеля, и она должна проходить по ведомству шансов, а не рисков.

Все названные проблемы решаются по порядку, с переходом от классической парадигмы вероятностного моделирования к нечётко-множественной парадигме, начиная с признания следующих трёх существенных фактов:

- Моделируя доходность активов, мы можем комбинировать вероятностные и нечётко-множественные описания, по аналогии с тем, как это предлагается в работе [87]. Оставляя допущение о нормальности распределения, мы размываем два его ключевых параметра: матожидание и среднеквадратическое отклонение (СКО). В конце концов, сам по себе факт наличия «толстых хвостов» не отменяет факта унимодальности распределений доходности. Другое дело, что уже становится невозможным оптимизировать портфель по Куну-Таккеру, методами квадратичной оптимизации.

- Доказано [78], а потом ещё раз подтверждено [49], что неопределённость в части корреляции активов портфеля вносит на порядок меньший вклад в оптимальность портфельных решений, нежели неопределённость в части базовых параметров распределения: матожидания и СКО. Соответственно, при определённых допущениях можно не включать корреляционную матрицу в модель портфеля. Тем более это справедливо в отношении тех рынков, где инвестиционное поведение игроков подчиняется одностипным правилам, на чём, собственно, основана модель САРМ Шарпа–Тобина.

- Понимая, что подход Марковица к задаче оптимизации фондового портфеля – это частный случай подхода Парето к задаче многокритериальной оптимизации, мы можем применять любые алгоритмы выделения оптимального портфельного множества, не будучи связанными допущениями нормального распределения доходности. В частности, мы можем применять приближённый градиентный метод сканирования эффективной границы портфельного облака [43, с. 150–152], причём

критерии оптимизации могут быть любыми: «доходность – волатильность», «доходность – риск», «эффективность – риск – шанс» и др.

В общем случае, размытие параметров портфельной модели приводит к тому, что эффективная граница портфельного облака перестаёт быть выпуклой вверх кривой, а становится криволинейной полосой. Именно этот принцип мы заложили в программу портфельной оптимизации для Пенсионного фонда РФ (разработка Siemens Business Services Russia [39]). Но затем мы сочли такое представление избыточным и перешли от вероятностно-нечёткой модели к полностью нечёткой, моделируя доходность актива нечётким числом общего вида (в частном случае – треугольным нечётким числом). Тем самым, мы сохранили унимодальность, присущую как нормальному распределению, так и распределению Леви с толстыми хвостами.

Следующим отходом от оптимизации по Марковицу оказался переход от волатильности к риску. Мы ввели в модель новый параметр – рациональное требование инвестора к ожидаемой доходности портфеля L . Тем самым, в качестве одного из критериев в задаче портфельной оптимизации мы взяли риск, оцениваемый по (1). Этим мы сблизили постановки управления фондовым портфелем и портфелем прямых инвестиций. Такого рода асимметрия, внесённая в модель, позволила нам в последующем выявить парадокс «волатильность – риск», когда выяснилось, что меры по снижению волатильности, которые должны были бы уменьшить риск, на самом деле его увеличивают [83].

Соответственно, мы снова вернулись к эффективной границе в форме линии, но теперь это был уже не фрагмент параболы, а участок логарифмической кривой. Сохранилось главное: это снова была оптимизация по Парето, основанная на золотом правиле инвестирования. Но исходные допущения математической модели оптимизации оказались на порядок более гибкими.

Как уже отмечалось выше, деривативы, помещаемые в фондовый портфель, деформируют исходные распределения доходностей активов так, что на уровне «актив + опцион» мы имеем уже не «колокол», а нечто совершенно неудобоваримое. Например, введение пут-опциона на актив в дополнение к самому активу приводит нас к виду усечённого нормального распределения (усечение проходит по левому хвосту [34]). И это полностью исключает вариант оптимизации такого портфеля по Марковицу. Зато в нечёткой постановке задачи задача оказывается вполне разрешимой.

Здесь мы впервые столкнулись с феноменом кусочно-линейной корреляции актива и дериватива. Например, когда пут-опцион не в деньгах, то его корреляция с активом по доходности равна нулю. Когда же опцион «попадает в деньги» (выигрывает, становится доходным), то пут-опцион начинает полно отрицательно коррелировать с активом: когда доходность по активу падает, по опциону put она растёт.

Это можно отобразить, применяя технику «зеркальных» интервалов. Если доходность актива на участке цены от нуля до страйка пут-опциона составляет $[a, b]$, $b > a$, то доходность пут-опциона на этом же участке цены составляет $[b, a]$. Зеркальный интервал, у которого левый конец больше правого, выражает ту суть, что доходность по деривативу строго синхронизирована с доходностью актива, от которого данный дериватив является производным финансовым инструментом.

По аналогии, можно говорить и о зеркальных нечётких числах. Если актив моделируется обычным треугольным нечётким числом, то опцион put – это зеркальное кусочно-линейное нечёткое число [36, 37]. Соответственно, сборка «актив + пут» – это кусочно-линейное нечёткое число общего вида. Если опцион put присваивает сборке усечение нечёткого числа на левом его крае, то опцион call – присваивает излом правому краю нечёткого числа доходности, и во втором случае феномен «зеркальности» отсутствует.

Моделируя финансовые опционы в 2002–2006 гг., мы деликатно обошли проблему корреляции, которая в полном объёме присутствует между активом и деривативом. В последующем, мы нашли способ моделирования корреляции для связанных нечётких величин в самой общей постановке задачи (см. п. 2.3.5).

Получив идеальное, как нам казалось на тот момент, решение проблемы оценки финансового состояния компаний на основе технологии матричного агрегатного вычислителя (МAB), мы попробовали воспроизвести тот же самый подход для оценки кредитоспособности регионов [32, 38]. Позднее до нас дошло, что предлагаемый нами подход вписывается в общую квалиметрическую теорию, когда цена или статус объекта исследования определяется на основе свёртки факторов различной степени значимости, а сами факторы определены на количественных, балльных или качественных шкалах. Эта методика скользит по поверхности объекта, используя только ту информацию, что есть в открытом доступе, не забираясь

вглубь. Сегодня понятно, что недостаточно оценивать экономические объекты и системы по их внешним проявлениям (феноменологически), необходимо исследовать внутренние причинно-следственные связи в структуре объекта, в том числе поведение объекта в динамике. С этого момента мы решили оценивать регионы и отрасли экономики РФ принципиально иначе, кардинально поменяли подход. Об этом см. **параграф 2.4.**

Следующий шаг в нашей «квалиметрической» деятельности – это широкомасштабное исследование 400 предприятий России, на основе данных их бухгалтерской отчётности за 2000–2003 гг. (16 кварталов) [50], с применением массивов данных информационного портала «СКРИН». Можно быть уверенным, что подобных исследований в России до нас и после нас не проводил никто. Центральной проблемой такого рода исследований была и остаётся недостоверность бухгалтерского учёта, продиктованная всемерной налоговой оптимизацией (массовыми отклонениями от уплаты налога на прибыль в полном объёме). Однако когда исследования носят массовый характер, и проводится сопоставление, удаётся отфильтровать «красное смещение» (ту долю чистой прибыли, которая выведена из-под налогообложения) – и сравнивать предприятия на основании признанного факта, что изъятие состоялось. Тем самым, удалось устранить систематическую погрешность, влияющую на результат. Полученные гистограммы финансово-экономических факторов обрабатывались по методу из [58], с построением трапецевидных лингвистических классификаторов.

Новым в исследовании явилось то, что предприятие в модели было представлено уже не набором факторов, лежащих на одном уровне, но иерархическим деревом факторов. Тем самым, МАВ применялся каскадно, с переходом от нижних уровней иерархии на верхние. Подробно эта схема описана в [2].

В результате проведенного фундаментального анализа, мы смогли проранжировать все предприятия по уровню их текущего финансового состояния, измеренному комплексным индикатором, и проследить изменение этого состояния в динамике, от квартала к кварталу.

В последующем, та же самая идея была применена для скоринга акций США, причём этот скоринг осуществлялся на основе 4-х уровней иерархии «страна – отрасль – сектор – компания» [40]. В качестве информационной базы для анализа использовались открытые данные портала Yahoo Finance, причём в обработку попало порядка 10

тыс. акций, котируемых на американских биржах. Методика была автоматизирована в рамках программного решения Smart Stock Spider. И снова повторим: фундаментальный подход к анализу акций или их эмитентов – имеет свои отчётливые границы; чтобы их преодолеть, необходимо оказываться внутри компании. И здесь ничем не смогут помочь традиционные финансовые или иные отчёты, регулярно публикуемые публичными корпорациями. Современные финансовые рынки, в конце концов, управляются не фундаменталиями, а новостями.

Львиная доля достижений Fuzzy Economics, полученных в 1999–2003 гг. и описанных выше, представлена в докторской диссертации Недосекина А.О. [32], которая была защищена в Санкт-Петербургском финансово-экономическом университете по специальности 08.00.13 «Математические и инструментальные методы экономики». Она создавалась на кафедре экономико-математических методов, которую в ту пору возглавлял Д.В. Соколов. В какой-то момент возник конфликт между обилием полученных новых научных результатов – и требованиями к диссертации как к квалификационной работе; поэтому работа переписывалась много раз.

А.О. Недосекин одним из первых в России начал публиковать свои книги и статьи в открытом электронном доступе, на своём персональном сайте sedok.narod.ru (в феврале 2017 года сайт был удалён владельцем сервиса Yandex, под надуманным предлогом нарушения пользовательского соглашения). Также следует сказать огромное спасибо Я.М. Миркину, который принял ряд публикаций в свою персональную электронную библиотеку, тем самым существенно поддерживав их на уровне распространения знаний.

Примерно через год после выхода в свет диссертации Недосекина, свою докторскую работу «Оценка экономической устойчивости горного предприятия при управлении комплексом рисков» представила к защите О.В. Лускатова [24]. Вероятно, Ольга Васильевна не была знакома с результатами Недосекина и его научной школы, поскольку ссылок на соответствующие публикации в её работе нет. Особым достоинством работы является то, что её написал экономист, а не математик, т.е. специалист, который глубоко понимает природу объекта своего исследования – экономической системы. Поэтому работа защищалась по специальности 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством (экономика, организация и управление отраслями и комплексами промышленности)». При этом в диссертации особое место отводится не-

чётким множествам и мягким вычислениям при анализе предприятий. И это не дань какой-то моде, а осознание того, что уровень информационной неопределённости в экономических задачах не преодолевается с помощью классических частотных вероятностных схем, нужны другие подходы и другая математика для анализа.

Многое из того, что исследовалось в работе Лускатовой, предвосхитило наш последующий научный интерес: оценка экономической устойчивости, идентификация и анализ рисков. Перечисленные задачи мы сегодня, в рамках своей научной школы, ставим и решаем заново, с учётом вновь полученных научных результатов, которые в 2004 году были не столь выпукло осмыслены в публикациях. Например, количественная оценка рисков на основе нечётких моделей и по сей день остаётся новым словом в науке.

Полученные нами новые научные результаты были кратко апробированы на профильных научных конференциях, в том числе на популярном слёте «нечётчиков» в Коломне, собираемом раз в два года. По результатам апробации, в кругу заинтересованных сторон было принято решение созвать международную конференцию по направлению Fuzzy Economics. Особую роль в подготовке этого мероприятия сыграл И.З. Батыршин, который, будучи «мексиканским нерезидентом», провёл огромную работу по привлечению зарубежных участников и по редактированию научных докладов. А.О. Недосекин взял на себя организационную работу по приёму конференции в Санкт-Петербурге. Была реальная возможность принять на конференции Л. Заде, но эта оказия в последний момент сорвалась, по причине банальной нехватки средств. Нам здорово помог Siemens (в лице своего петербургского офиса), на правах со-организатора конференции, однако возможности этой компании в России оказались небезграничными.

Конференция прошла в июне 2004 года, по её результатам был выпущен двухтомник полнотекстовых докладов [80]. Заседания велись на английском и русском языках в течение трёх дней. Российская научная школа FE была представлена шестью докладами.

На волне успеха предыдущей конференции, было принято решение повторить слёт в том же формате через два года. Однако подготовка новой конференции столкнулась с большим количеством труднопреодолимых затруднений. В результате, событие FSSCEF-2006 прошло значительно скромнее. Следует поблагодарить Л.В. Уткина за бесценную помощь, оказанную конференции в программном плане.

По результатам FSSCEF-2006 вышел однотомник полнотекстовых докладов [81]. По итогам конференции, было принято решение её не возобновлять. Тем более в 2008 году в России разразился полноценный экономический кризис, и стало уже не до конференций.

Тем не менее, за два года интенсивных международных контактов и активных изысканий обзорного плана был выявлен абсолютный российский приоритет по следующим заявленным направлениям FE: экономико-финансовый анализ предприятий; оптимизация фондового портфеля в нечёткой постановке задачи; идентификация и анализ рисков. Настало время выходить на новые рубежи исследований, создавать полноценную научную школу, делать свои результаты видимыми для международного научного сообщества. Неоценимую помощь в этом плане оказал редактор журнала «Аудит и финансовый анализ» Ю.В. Чистяков, издав на страницах отдельного сборника монографию А.О. Недосекина «Financial Management Using Fuzzy Sets» (2003). Свою роль сыграла и коллективная монография «Нечёткие гибридные системы», изданная под редакцией Н.Г. Ярушкиной в 2007 г. [59]. В ней направление FE представлено одной главой, где совместно приводятся результаты петербургской и тверской научных школ (А.В. Язенин).

Признание заслуг петербургской научной школы FE в популяризации нечётких множеств в экономике и финансах выразилось и в том, что Недосекин А.О. был избран членом совета Российской ассоциации нечётких систем (РАНС) на конференции в Волгограде в 2009 году. За три года до этого Недосекин был избран действительным членом Международной академии безопасности и экологии жизнедеятельности (МАНЭБ).

Новые результаты, полученные в теории оптимизации фондового портфеля, были легко переложены на случай портфеля реальных инвестиций. Каждый проект или бизнес в структуре такого портфеля характеризуется своим бюджетом, в том числе бюджетом движения денежных средств (БДДС, форма 4 управленческого финансового учёта). Анализируя БДДС проекта, можно получить экономическую оценку проекта по известным показателям: чистая современная ценность (NPV), внутренняя норма доходности (IRR), срок окупаемости инвестиций (DPBP). Аналогичные показатели можно получать и на основе консолидированного БДДС в рамках портфеля прямых инвестиций. Такого рода оценки можно получать для широкого спектра

сценариев внешнеэкономического окружения, которые определённым образом воздействуют на портфель.

Задача оптимизации такого портфеля формулируется так: найти распределение весов компонент портфеля, которые доставляют максимум доходности портфеля (IRR) при фиксированном уровне риска, при этом IRR проекта или портфеля – это нечёткое число произвольного вида. Задано рациональное требование на уровень IRR инвестиций (обычно для проектов умеренного риска, оцениваемых в постоянных ценах, IRR должна превосходить уровень $L = 30\%$ годовых).

Портфель реальных инвестиций может содержать проекты двух типов: масштабируемые и не масштабируемые. В первом случае, мы можем изменять объём инвестиций в проект в некотором заранее оговорённом диапазоне значений. Во втором случае, мы либо инвестируем в проект фиксированную сумму, либо отказываемся от реализации проекта в принципе. Если портфель представляет собой комбинацию проектов двух типов, то совокупное множество портфелей является несчётным, а портфельное облако обладает сплошной заливкой. Верхнее покрытие этого облака – множество недоминированных портфельных альтернатив по Парето, которое можно установить градиентным методом.

Первые публикации, демонстрирующие возможности нового подхода: [28, 2]. Несколько позднее выяснилось, что оптимизация портфеля прямых инвестиций в координатах «IRR – Risk» не подходит для инновационных портфелей венчурных инвестиций, где доходный подход не может быть применён в принципе [15]. Для портфелей этого класса более уместно проводить оптимизации в парадигме «ROE – Risk», где ROE – отдача на собственный капитал предприятия, измеренная по уровню чистой прибыли. Это ничего кардинально не меняет в методике оптимизации, но заставляет пересмотреть информационную базу для принятия решений. В частности, в ход начинает идти система сбалансированных показателей (ССП) с нечёткими связями, о чём речь далее.

Стратегическое управление, реализуемое на уровне отдельного предприятия или целой отрасли – это непаханое поле для применения нечётких описаний. Первые работы в этом направлении: [3, 2, 1]. Наиболее красноречиво нечёткие описания проявили себя в ходе моделирования СПП.

На период 2008–2013 гг. приходится пик совместной публикационной активности Недосекина А.О. и Абдулаевой З.И. Особо важным ме-

стом в структуре этой активности является анализ предприятий по виду их нечётких ССП. Кульминации этот подход достиг в работах [48, 45].

Особый интерес к ССП пробудился в нашей группе именно на том основании, что прежние методики комплексного финансового анализа перестали себя оправдывать, и возникла потребность погрузиться вглубь логики развития бизнеса, оценить его основные драйверы, как хорошо проявленные на уровне финансовых оценок, так и неявные (имплицитные), укоренённые в корпоративной культуре, проявить связь явных и неявных факторов. По мере того, как моделировались всё более и более сложные ССП, возникло понимание, что модель ССП – это костяк модели кибернетической системы организации, её скелет, который может быть произвольно надстроен смежными стратегическими картами. Разумеется, все особенности кибернетической системы должны воспроизводиться на уровне ССП: открытость, целеполагание, наличие положительных и отрицательных обратных связей, действие в условиях ограничений, гомеостаз со средой и проч.

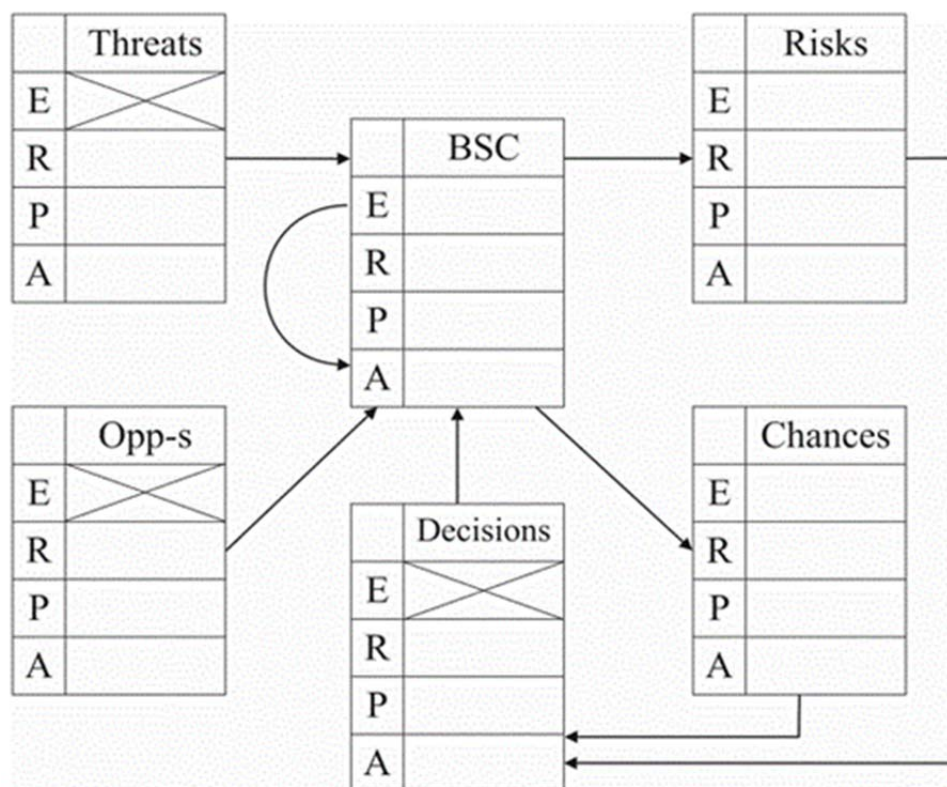
Нечёткая ССП представляет собой ориентированный граф, где узлы – это ключевые показатели эффективности (КРІ) со своими нормативами, а дуги – нечётко логические модели связи КРІ друг с другом. ССП, моделируя кибернетическую систему предприятия, обладает «входами» и «выходами». Входы – это точки приложения вызовов со стороны внешней среды. Выходы – это предъявляемые результаты деятельности предприятия, измеряемые по данным управленческой отчётности.

Моделируя спектры внешних воздействий на компанию, мы прибегаем к технике нечётко-логического сценарного моделирования, когда все спектры сценариев могут быть упакованы в нечёткое число или нечёткую функцию. Прикладывая эти нечёткие сценарии к экзогенным входам ССП, мы получаем нечёткий ответ – показатели деятельности компании в нечёткой форме. Сравнивая эти нечёткие показатели с предустановленными нормативами, мы приходим к оценке рисков и шансов. В свою очередь, измеренные риски и шансы дают пищу для принятия стратегических решений, прикладываемых ко «входам» ССП. Тем самым, модельная система организации как бы самозамыкается.

Последовательно моделируя различные аспекты деятельности предприятия, мы приходим к модельной матрице размерностью 4х6 (рис. 1).

Здесь строки – это стратегические перспективы (Ресурсы, Процессы, Отношения, Эффекты), а столбцы матрицы – это отдельные стратегические карты (Угроз, Оказий, ССП, Рисков, Шансов и Решений).

Таким образом, сформирована базовая схема моделирования организации, ядром которой выступает нечёткая ССП. Теперь возможно проявить более пристальное внимание к другим отдельным стратегическим картам.



Источник: [45].

Рис. 1. Модельная матрица вида 4х6

В ходе идентификации рисков компании оказывается полезным провести их упреждающую тематическую классификацию – на промышленные, экономические и экологические. Риски каждого из выделенных классов следует идентифицировать и оценивать своим порядком. Классифицирующими признаками для каждого из классов являются:

- для промышленных рисков – авария, приведшая к гибели людей и/или повреждению имущества;
- для экономических рисков – ухудшение финансового состояния компании, вплоть до банкротства и прекращения деятельности;
- для экологических рисков – нанесение ущерба природной среде.

Ранние модели рисков носят экспрессный, оценочный характер. Предполагается, что можно связать уровень риска с текущим состоянием предприятия, проекта или внешней среды, по аналогии с тем, как это

описано в п.п. 6.2.1 и 6.2.2, а также в [45], где предлагается экспресс-методика оценки уровня промышленного риска, на основе МАВ и деревьев показателей. Если же рассматривать предприятие как кибернетическую систему, то нужно переходить от одного интегрального риск-фактора к карте рисков, которая наследуется от карты ССП по правилу изоморфизма, где каждому показателю из ССП может соответствовать один локальный показатель риска, увязанный с такими же локальными риск-факторами в ориентированный граф. То есть выясняется, что подобно тому, как КРІ влияют друг на друга в ССП, аналогичным образом риски влияют друг на друга в рамках графа карты рисков.

Во всех случаях, риск – это возможность того, что КРІ выйдет за свой «негативный» норматив по результатам наложения факторов Угроз на Слабости компании. Естественным образом, такое определение влечёт необходимость идентификации угроз – негативных внешних событий широкого спектра – и их нечётко-логическое сценарное моделирование.

Анализ риска проводится по КРІ, которые фигурируют в модели ССП в форме нечётких чисел или нечётких функций общего вида. Уровень риска определяется путём сравнения КРІ с негативно-нормативным значением, причём нечёткое число КРІ представлено своим сегментно-интервальным разбиением. В общем случае, справедливо:

$$Risk = Poss \{ \text{Эффективность} < \text{Норматив} \mid \text{Угроза} \oplus \text{Слабость} \} \quad (3)$$

Здесь:

- Poss – знак возможности (или, в частном случае, вероятности);
- Эффективность и Норматив определяются, исходя из стратегического целеполагания деятельности предприятия;
- Угрозы идентифицируются на основе применяемых на предприятии моделей внешней среды (SWOT, PETSE и т.д.);
- Слабости идентифицируются в ходе исследования бизнес-логики предприятия, по схеме «где тонко, там и рвётся», в том числе, в ходе стресс-диагностики;
- « $\mid$ » – знак «при условии»;
- « $\oplus$ » – знак наложения, логического сочетания, свёртки.

Риски, по аналогии с КРІ, также подлежат нормированию. Для стандартной экономической деятельности нормирование может быть таким:

- $Risk < 0.1$ – приемлемый неснижаемый риск;

- $0.1 < \text{Risk} < 0.2$ – *пограничный* риск, требуются мероприятия по снижению риска до приемлемого уровня;

- $\text{Risk} > 0.2$ – *неприемлемый* риск, в проект входить нельзя.

Шанс – это категория, которая весьма слабо развита в экономической науке к настоящему моменту (2017 год). Центральное отличие шанса от риска в том, что шанс оценивает возможность позитивного ожидания, связанного в превышении рационального уровня эффективности в бизнесе. Часто в определениях шанс смешивают с оказией, т.е. с событием во внешней среде, предоставляющим благоприятные возможности для раскрытия и развития бизнеса.

Здесь уместна аналогия с парусным кораблём. Когда на море шторм, мы сворачиваем все паруса, закрепляем движимые части по бортам и прячемся в трюме, в расчёте на то, что шторм утихнет, а корабль – не потонет. Наоборот, когда шторм стихает, и начинает дуть попутный ветер, мы разворачиваем все паруса по ветру, в расчёте на то, что придём в порт назначения раньше срока. И в данном случае, мы уповаем на то, что ветер не будет слишком сильным, и наши паруса не разорвёт.

Таким образом, управляя риском, мы стараемся минимизировать ожидания негатива. Напротив, управляя шансами, мы максимизируем ожидания позитива. Критически важное различие между этими двумя подходами наиболее выпукло проявляется в инновационной деятельности. Мы прекрасно понимаем, что любой инновационный проект обладает повышенной мерой риска того, что он «не выстрелит», окупаемость не наступит. В этом отношении, инновационная проектная деятельность кардинально отличается от деятельности стандартной, хорошо предсказуемой. Западная практика свидетельствует, что из 10 инновационных проектов в составе венчурного фонда через год выживают 1–2. Это говорит о том, что субъективная вероятность потери проекта заведомо больше 0.5. Инвестора со стандартными предпочтениями это должно отпугнуть. Агрессивного инвестора, настроенного на сверхдоход, это только раззадоривает. Ставка делается на шанс и на экстремально высокую отдачу на капитал. Если в рамках стандартной деятельности мы ждём ROE порядка 30% годовых, то для инновационного проекта уровень ROE на раскрытии должен составить 80% годовых и выше. Такой уровень доходности не достигается при стандартных условиях ведения бизнеса (да и не может, и не должен достигаться – в силу высокой рыночной конкуренции).

По аналогии с (3), запишем:

$$Chance = Poss \{Эффективность > Норматив \mid Оказия \oplus Сила\} \quad (4)$$

Здесь:

- Эффективность и Норматив определяются, исходя из стратегического целеполагания деятельности предприятия (проекта);
- Оказии идентифицируются на основе применяемых на предприятии моделей внешней среды (SWOT, PETSE и т.д.);
- Силы идентифицируются в ходе исследования бизнес-логики предприятия, по схеме «в чём сила, брат?»¹ 😊.
- Таким образом, KPI в структуре ССП нормируются как в позитивном, так и в негативном смысле, т.е. нормирование является двусторонним. Равным образом, нормируются и уровни шансов. В [17] предложена следующая нормировка, применительно к портфелям инновационных проектов:
 - *побудительный* шанс, в диапазоне [0.75, 1]. Этот уровень шанса диктует принимать незамедлительные инновационно-инвестиционные решения, без колебаний входить в проект;
 - *пограничный* шанс, в диапазоне [0.5, 0.75]. Этот уровень шанса портфеля заставляет провести ревизию входящих в портфель программ и проектов, с выделением узких мест, с минимизацией присутствия в портфеле низкошансовых проектов и с имплантацией в такие проекты форсирующих микро-опционов;
 - *недопустимый* шанс, ниже 0.5. Есть основания думать, что портфель с таким уровнем шанса раскрытию не подлежит, что его «инновационность» является мнимой.

Также в [15] показано, что стандартный доходный подход к оценке эффективности проектов, основанный на анализе данных листа БДДС, неприменим к оценке эффективности инновационной деятельности, убивает само желание заниматься инновациями. Поэтому роль IRR в структуре проекта закономерно начинает выполнять нечёткое ROE, оцениваемое по ССП для условий раскрытия проекта, его перехода из статуса «знак вопроса» в статус «звезды», в смысле Бостонской матрицы. И для условий инноваций, мы в первую очередь интересуемся шансами, и уже во вторую – эффективностью и рисками.

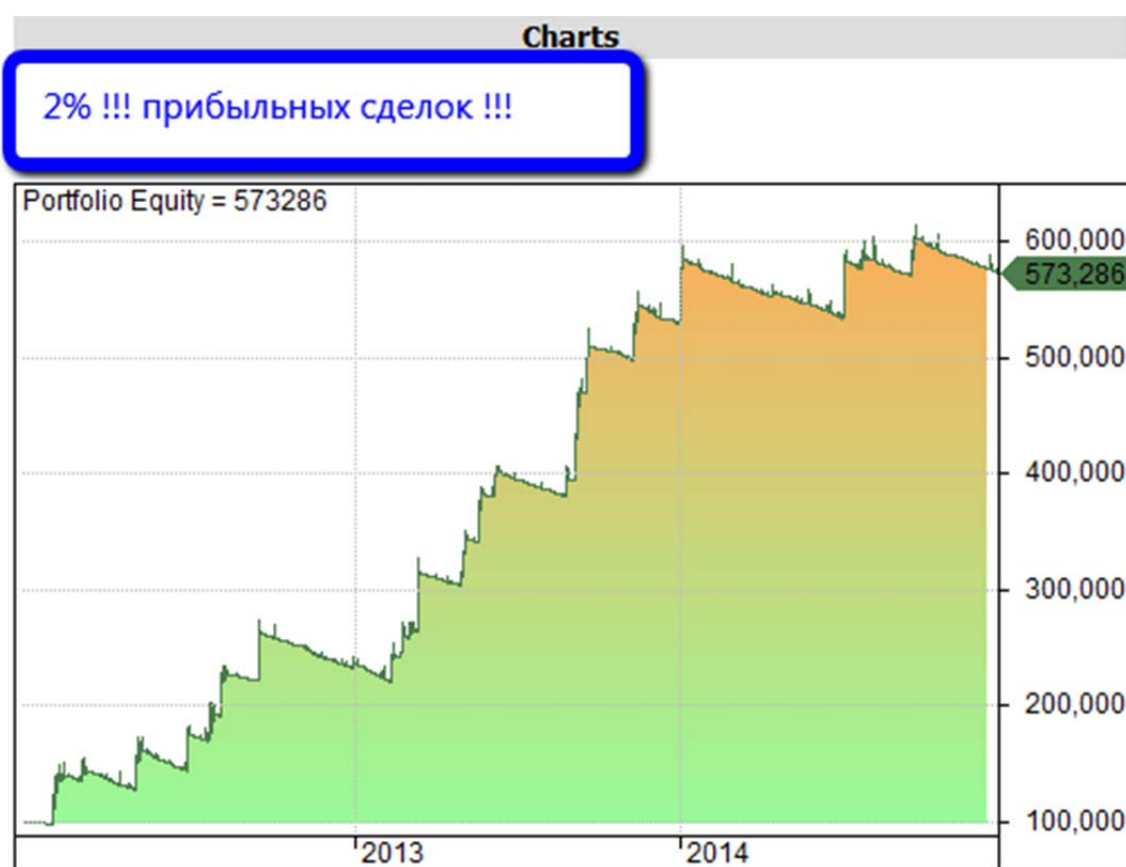
¹ Расхожая цитата из кинофильма «Брат-2».

Классические фондовые портфели могут управляться в парадигме фундаментального анализа, например, в рамках портфельных теорий Марковица и Шарпа (и производных от них). Однако фундаментальный подход категорически неприменим к анализу и управлению «быстрыми» портфелями, когда срок существования портфеля не превышает 8 часов (для среднесрочных портфелей) и 5 минут (для краткосрочных портфелей). Сравните это с банальной рекомендацией держать акции в портфеле 5 и более лет. Динамика мировой финансовой торговли последних 5–10 лет говорит о том, что доминирующее положение на рынках начинают занимать алгоритмические торговые роботы. Это – следствие особых свойств роботов, позволяющих им переигрывать людей. Роботы – рациональны и действуют в рамках предустановленных алгоритмов. Люди – эмоциональны, обуреваемы жадностью и страхом, что заставляет их закрывать позиции раньше срока – или, наоборот, пересидживать в убыточных позициях. Люди-игроки часто «тильтуют», т.е. совершают заведомо ошибочные нелогичные действия на эмоциональной волне по результату очередного проигрыша. Игроки устают и не могут находиться в рынке 24 часа в сутки (или 14 часов без перерыва, если торговля идёт на локальном рынке). Роботам же эти ограничения нипочём.

Специализированные исследования показали, что само по себе наличие трендов в структуре торговли (неотъемлемое свойство любых рынков) – доказывает ошибочность теории нобелевского лауреата Ю. Фамы об эффективности рынков, на которых долгосрочное математическое ожидание выигрыша любого игрока равно нулю. Ведь если существуют механизмы выделения (фильтрации) рыночных трендов и правильного определения точки и направления входа в рынок, то рынок перестаёт быть равновесным, и узкая группа лиц, объединённых секретом ведения торговли («граалем»), начинает обыгрывать всех остальных – ровно до тех пор, пока секрет не будет раскрыт. А такие секреты то и дело рождаются в головах продвинутых игроков, достаточно изучить монографию [63]. Эд Торп в своё время доказал, что можно обыграть сбалансированную рулетку; в результате, его сначала перестали пускать в казино, а потом проломили ему голову ☹.

В нашей лаборатории был спроектирован и протестирован «робот – философ» на деривативах, обладающий максимально широким коридором сохранения позиции. Именно эта «широта» коридора удержания позиции обусловила ничтожно низкий процент выигры-

шей робота (2% от всего потока трейдов). Но объём выигрышей полностью перекрыл возникшие проигрыши и принёс доходность 150% годовых на депозит, по результатам бэктестинга за 5 лет (см. рис. 2). Этот факт является прямым доказательством того, что равновесность на современных финансовых рынках – отсутствует начисто, и это обстоятельство необходимо использовать для извлечения дохода. Причём доход должен быть экстремально высоким: от 150% годовых и выше. Только такой уровень доходности доставляет рациональную премию за риск торговли деривативами.



Источник: [54].

Рис. 2. Накопленный доход «робота – философа»

Однако совершенно ясно, что «робот – философ» никогда не будет основой промышленного извлечения дохода, из-за категорически низкого процента выигрышей и связанной с этим высокой волатильностью накопленного дохода. Целью же всех промышленных алгоритмических систем является кардинальное снижение волатильности дохода. Иногда

не получается качественно снизить волатильность торговых систем (вследствие заложенных в них принципов торговли), и тогда в ход вступают «руки» – действия человека, направленные на принудительное закрытие позиций по результатам накопленного роботами выигрыша или проигрыша. Поскольку люди проигрывают роботам в торговле, то в подавляющем большинстве случаев матожидание ручной торговли на дистанции оказывается меньше нуля (чистый проигрыш). Тем не менее, игра «рук» против роботов приводит к желаемому снижению волатильности результата, если этими «руками» не злоупотреблять и выстроить такую «ручную торговую систему», которая будет играть не строго против роботов, а как бы «перпендикулярно» им. Это говорит о том, что случайные величины доходности алгоботов и то же для «рук» – находятся в отношении неполной отрицательной корреляции, и фактор этой корреляции необходимо учитывать в портфельных моделях. Впервые это было сделано в [44], для случая моделирования неполной корреляции двух нечётких величин. Когда корреляция полная отрицательная, это можно сделать с помощью механизма зеркальных нечётких чисел; когда корреляция полная положительная, в модели ею можно пренебречь. В промежуточных случаях необходим сложный механизм оценки стохастической связи случайных величин.

Роботы и «руки» образуют совместный монотонный портфель [33], который подлежит оптимизации. За счёт фактора неполной отрицательной корреляции, портфели, содержащие «руки», сохраняют свою оптимальность в смысле Парето, когда снижение доходности одновременно сопряжено со снижением волатильности накопленного дохода и рисков по портфелю в целом.

Реальные опционы – это возможности, искусственно имплантированные в бизнес и начинающие быть актуальными при наступлении какого-либо события или при выполнении какого-либо условия. В работе [16] обосновывается нечётко-логическое моделирование реальных опционов и прослеживается связь между фондовыми и реальными опционами. Основное содержание этой связи представлено в табл. 2.

Тематически все реальные опционы можно подразделить на ресурсные, процессные и отношенческие, причём отношенческие опционы, с точки зрения рыночного успеха компании, занимают доминирующее положение. По направлению оказываемого действия, реальные опционы подразделяются на хеджирующие (снижающие риски) и форсирующие (наращивающие шансы).

Таблица 2

Сопоставление финансовых и реальных опционов по аналогии

Атрибут сопоставления в финансовом опционе	Аналогия в реальном опционе
Опционная премия	Стоимость приобретаемого права или себестоимость создания такого права (прямые инвестиции в опцион)
Страйк (цена исполнения)	Факт исполнения оговорённого контрактного условия (бизнес-ковенанта) или наступления оговорённого в контракте события
Дата исполнения (экспирации)	Срок исполнения договора или срок наступления оговорённого условия в договоре

Источник: собственные исследования авторов.

Все ранние наработки, полученные в части анализа финансовых опционов и их комбинаций между собой и базовыми активами, обладают ценностью и для моделирования портфелей, содержащих реальные опционы. В частности, инновационные проекты и соответствующие прямые инвестиции вполне можно рассматривать в качестве реальных опционов – и оценивать с этих же позиций [17, 17].

Постепенно российская научная школа FE принялась обрастать доказанными компетенциями в научном отношении. И первой ласточкой здесь послужила работа [1], написанная под неформальным руководством Недосекина А.О. по специальности 08.00.05 (п. 2 «Управление инновациями»). Основные защищаемые положения работы опубликованы в монографии [2]. Ценность работы в том, что в ней удалось обосновать принципиально новый подход к идентификации и анализу рисков, в том числе принципы построения карты рисков и её наследования от нечётко-логической карты ССП (изоморфизм). Было доказано, что локальные риски в структуре карты увязаны между собой нечётко-логическими связями, обоснована природа этих связей.

Необычно высокое число публикаций соискателя к моменту защиты кандидатской диссертации (22) говорит о том, что работа готовилась долго и тщательно фокусировалась под запросы паспорта специальности 08.00.05. Проблема всех «нечётко-экономических» диссертаций в том, что применяемая в них нетрадиционная математика в какой-то момент начинает клонить работу в область паспорта специальности 08.00.13. Это создаёт определённые затруднения как для соискателя, так и для совета, где защищается работа. К счастью, после ряда предзащит, эти проблемы были разрешены (математика отошла на второй план).

Работа З.И. Абдулаевой явилась новым камнем в научном фундаменте риск-менеджмента корпораций и инновационных проектов. Поскольку мы принципиально стоим на том, чтобы обеспечивать абсолютно бесплатный электронный доступ ко всем трудам нашей научной школы, то можно судить о популярности работы по числу её скачиваний с сайтов в сети Интернет (ifel.ru, twirpx.com). Книгу Абдулаевой скачивают часто, она востребована.

Работа В.Ю. Калюты [12] представляет собой изящное отраслевое внедрение нечётких принципов в экономику нефтегазового сектора РФ. Научным руководителем работы выступил Недосекин А.О. Основные положения работы раскрыты в монографии [52]. В работе обосновывается принцип управления ценовыми рисками с использованием азиатских финансовых опционов. Здесь мы столкнулись с тем неприятным фактом, что финансовые опционы и их применение охвачены паспортом специальности 08.00.10, а защита шла по специальности 08.00.05. Это задержало вывод работы на защиту, но позволило сосредоточиться на обосновании важного вывода работы: азиатские опционы – это финансовые инструменты, но они же одновременно являются механизмами формирования цены на реальные активы. Это позволяет не только вписать их в паспорт специальности 08.00.05, но и подчеркнуть существенную особенность международного рынка нефти: на 90% этот рынок является «бумажным», т.е. торгует не реальную нефть, а производные контракты на неё. При этом явление левериджа (финансового рычага), присущее всем деривативам, приводит нас к мысли, что искусные ценовые манипуляции на рынке нефти возможны именно за счёт точечных многомиллиардных вливаний в рынки деривативов и за счёт крупной согласованной игры ряда агентов, по результатам которой нефть теряет свою связь с себестоимостью производства и волатильно непредсказуемо движется в рамках широких ценовых коридоров.

Свежий взгляд на проблему ценовых рисков, предложенный в работе, состоит в том, что нужно не только хеджировать риски, но и форсировать шансы, принимая в портфель опционы call. Например, когда цена марки Brent составляет 30 долларов за баррель, хеджирование ценовых рисков нецелесообразно в принципе; нужно «играть от дна», стараясь удваивать доход с помощью опционов call и/или фьючерсов в позиции «покупка» (long). До Калюты таким образом на проблематику управления нефтяными рисками не смотрел никто.

Разумеется, работа является «нечёткой», поскольку предлагает подходы к нечёткому моделированию нефтяных рынков и деривативов для этих рынков. Один из главных выводов работы: хеджирование нефтегазового экспорта должно стать государственным делом, и нужны соответствующие государственные институты, поддерживающие этот формат. Через некоторое время эту же мысль (буквально теми же словами) повторил в своём докладе нынешний министр МЭР М. Орешкин.

А.Н. Козловский вышел на защиту в диссертационном совете при ИПРЭ РАН (Санкт-Петербург) в 2016 г. Научным руководителем работы выступил всё тот же Недосекин А.О. Базовые положения работы [17] изложены в монографии [17]. Диссертация была защищена в ноябре 2016 года по специальности 08.00.05 (п. 2 «Управление инновациями»).

В известном смысле, работа Козловского наследует диссертации Абдулаевой, но идёт значительно дальше. Во-первых, заново начинает играть категория «шансов». Во-вторых, инновационные проекты рассматриваются как реальные опционы и соответственным образом анализируются. В-третьих, оптимизация портфеля инновационных проектов проводится автором в трёх координатах – эффективность, риск, шанс; причём шанс выступает в качестве целевой функции, а эффективность и риски – в качестве ограничений. Можно совершенно точно утверждать, что до Козловского так оптимизацию портфелей прямых инвестиций не проводил никто.

Диссертация была защищена Д.М. Назаровым в Санкт-Петербургском государственном университете 5 апреля 2017 года, по специальности 08.00.13 «Математические и инструментальные методы экономики». Работа [27] строго корреспондируется по содержанию с монографией [26]. На сей раз Недосекин А.О. выступил в роли третьего оппонента работы. Это самый свежий «нечёткий результат», полученный на момент публикации данной коллективной монографии.

Труд Назарова посвящён исследованию имплицитных (неявных) факторов деятельности организации. В начале изложения главы мы подчеркнули, что тонкие планы управляют грубыми, а судьба организации во многом является проекцией судьбы её первых лиц (собственников бизнеса и её топ-менеджмента). Упомянутые факторы судьбы являются вполне имплицитными, но они слегка проявляются на уровне корпоративной культуры, что, собственно, и даёт основания для науч-

ного исследования. Постепенно проступая с тонких планов на грубые, как бы оплотняясь в информационном отношении, имплицитные факторы однажды начинают проступать на уровне прямых измерений. Например, уровень качества взаимоотношений с клиентами, который можно идентифицировать на основе количественных замеров в системе CRM, ведёт своё происхождение из качества соответствующих процессов класса front-end; а они, в свою очередь, берут своё начало в ценностной системе предприятия, как неотъемлемой составляющей корпоративной культуры. Вот и выходит, что количественные замеры – это всего лишь видимые свидетельства доселе непроявленного качества, которое приходится оценивать апостериорно, не напрямую. Исключения составляют методы кармодиагностики [40]; но всё, что проходит по ведомству алхимии и магии, идёт в разрыв с методами современной науки, отрицается ею. Нас это не слишком пугает; было время, придирались и к Заде, равно как и к Галилею, впрочем 😊.

Вполне естественно, что работа Назарова хорошо вписана в общий мейнстрим Fuzzy Economics. Кое-что Назаров черпает из результатов научной школы Недосекина: например, нечётко-логические ССП или иерархические факторные деревья. Впрочем, он сам подробно описывает содержание своей теории в **главе 5** настоящей монографии.

Развитие научной школы Fuzzy Economics совершается ступенчато, каскадно; условно говоря, оно совершается от осознания к осознанию, от защиты к защите, от монографии к монографии. Можно сказать, что неуклонно растёт градус и охват исследований. В какой-то момент, настало время подумать и о стране. На память приходит сообщение [46], которое было встречено участниками конференции 2009 года в Волгограде вполне прохладно (если не сказать больше). Тем не менее, указанное сообщение послужило опорной вехой для последующих осознаний [30, 54], когда уже вполне оконтурилась повестка предстоящих нашей школе научных исследований.

Монография [54] делает акцент на том неприятном факте, что Россия, по результатам проигрыша СССР в холодной войне, оказалась в состоянии неокolonии – сырьевого и кадрового донора стран первого мира. Любые попытки восстановить свой геополитический статус (например, возвращение Крыма) наталкиваются на решительное противодействие. Россия пребывает в состоянии гибридной войны, причём это война ведётся комбинированным набором средств, начиная с санкций и заканчивая терактами и заказными политически-

ми убийствами. Соответственно, условиям фронта должны отвечать условия тыла; стране нужна полноценная мобилизационная экономика, базирующаяся на платформе национального суверенитета.

Научная сторона изучения мобилизационной экономики состоит в определении структурных особенностей экономики этого типа, базовых условий, обуславливающих параметры такой мобилизации. Ясно, что мобилизационная экономика – это комплексная кибернетическая система («система систем»), функционирующая во враждебном внешнем окружении в условиях государственного управления особого типа. Соответственно, все находки концепции ФЕ, которые были получены на уровне единичного предприятия, применимы и к этой постановке задачи [84].

Одной из неотъемлемых составляющих мобилизационной экономики является суверенная финансовая система России, высвобожденная из удушливых объятий мировой финансовой системы, колониальных правил «вашингтонского консенсуса». Ядром этой системы, по нашему мнению, должен стать инвестиционный рубль [31], выпускаемый и обращающийся параллельно традиционному рублю, в рамках независимого эмиссионного центра (не под эгидой ЦБ РФ). На переходном этапе обретения финансового суверенитета роль инвестиционного рубля может принять на себя альтернативная недежная ликвидность [54, 47], представляющая собой аналог частных денег (локальных валют). Поскольку выпуск и обращение параллельных валют в России законодательно запрещены, в рамках АНЛ должны порождаться финансовые инструменты, находящиеся в легитимном поле гражданского права (например, векселя или электронные долговые расписки).

Вновь созданные на базе АНЛ локальные финансовые системы являются кибернетическими, со своей наблюдаемой системной динамикой. Научной задачей здесь является параметризация систем АНЛ, с учётом существенной информационной неопределённости в отношении условий обращения АНЛ, в том числе в части экономической отдачи на инвестированный таким образом капитал.

Любая кибернетическая система обладает свойством гомеостаза (баланса) с внешней средой. Экономическая система, будучи кибернетической системой по построению, обладает, ко всему прочему, стратегическим целеполаганием. Таковое целеполагание, вкупе с гомеостазом, рождает комплексное свойство экономической устойчивости [55, 57]. Обеспечение этого свойства, рассмотренного в контексте

мобилизационной экономики, является важнейшей государственной задачей в современных условиях. Россия ведёт обильную историю войн (собственно, она воюет, не переставая, с перерывами на краткий мир). Однако только в XX-м веке задача выживания и победы страны в войне была поставлена в зависимость от состояния тыла, от конфигурации ресурсной базы. Этому были посвящены работы Комитета по изучению естественных производительных сил, проводимые начиная с 1915 г. под руководством акад. В.И. Вернадского. Результаты работы Комитета выступили в качестве системообразующего ядра проекта ГОЭЛРО и последующей ускоренной индустриализации страны. Вся эта 25-летняя интенсивная разработка, собственно, и предопределила победу СССР во второй мировой войне.

В современных условиях управление устойчивостью базовых отраслей экономики РФ, включая её минерально-сырьевой комплекс – это синхронное управление эффективностью, рисками и шансами соответствующих экономических систем, с опорой на сводную матричную модель вида рис. 1 [88]. В составе первоочередных мероприятий по обеспечению устойчивости, подлежащих комплексному моделированию и анализу, отмечаем следующие:

- отказ российского государства от роли «ночного сторожа», с выходом на позиции самостоятельного экономического агента [54];
- добровольная возмездная национализация производственных фондов базовых отраслей [89], с одновременным погашением всех внешних заимствований в иностранной валюте;
- насыщение базовых отраслей АНЛ [29];
- хеджирование рисков и форсирование шансов на основе специализированных государственных финансовых институтов [52];
- комплексное обеспечение безопасности, в том числе создание систем мотивации на безопасность [86];
- проектирование и внедрение «голубых океанов» [14] – рыночных ниш, примыкающих к основному бизнесу базовых отраслей, обладающих эксклюзивно высокой маржинальностью.

2.5. Что же дальше? Вместо заключения по главе 2

Проблематика Fuzzy Economics с некоторых пор стала предметом университетского преподавания; активно выпускаются учебные посо-

бия по профилю [7, 19, 45]. Подрастает когорта молодых учёных-экономистов, готовящих к защите диссертации по специальностям 08.00.05, 08.00.13, и эти работы содержат в своей основе нечётко-логический аппарат моделирования. Традиционно, преподаваемые кейсы быстро устаревают, идёт отставание преподавания от науки на 5–10 лет, но здесь ничего не поделаешь. Парадигма FE молода в научном отношении, как и сама нечёткая логика; соответственно, объём новых результатов будет лавинообразно нарастать.

Равным образом, результаты исследований FE целесообразно включать в состав финансового и организационного консалтинга, в ходе проектирования и внедрения систем сбалансированных показателей в компаниях. Помимо уже зарекомендовавших себя платформ моделирования MATLAB Fuzzy Toolbox (напр. см. [23]) и AnyLogic (напр. см. [13, 85]), следует подумать и о создании специализированной платформы FE-моделирования, воспроизводящей сугубо FE-кейсы, со встроенными библиотеками специализированных прикладных программ.

Заявленная в разделе 6.4 специализированная повестка исследований в интересах государственного управления пока не нашла своего спроса в высоких кабинетах. Соответствующие исследования проводятся нами сугубо из патриотических соображений, в расчёте на то, что нынешняя российская власть либо однажды одумается (когда наступят обстоятельства непреодолимой силы), либо уступит своё место игрокам новой волны (национально-ориентированной Знати).

Список литературы

1. *Абдулаева З.И.* Разработка методов управления рисками инновационной деятельности. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. эк. наук. СПб: Санкт-Петербургский университет управления и экономики, 2013. 200 с.
2. *Абдулаева З.И., Недосекин А.О.* Стратегический анализ инновационных рисков. СПб: Изд. СПбГГУ, 2013. 145 с.
3. *Абдулаева З.И., Недосекин А.О., Павлов К.Е.* Стратегический подход к управлению рисками корпорации // Стратегический менеджмент. 2008. №4. С. 270–291.
4. *Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А.* Управление производством при нечёткой исходной информации. М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.

5. Бир С. Кибернетика и управление производством. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1963. 276 с.

6. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечётких моделей. Примеры использования. Рига: Зинатне, 1990. 184 с.

7. Волкова Е.С., Гисин В.Б. Нечёткие множества и мягкие вычисления в экономике и финансах. М.: Изд. Финансового университета, 2015. 183 с.

8. Двас Г.В. Управление региональной экономикой на основе теории надёжности. СПб: Наука, 2005. 359 с.

9. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике. М.: Радио и связь, 1990. 286 с.

10. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближённых решений. М.: Мир, 1976. 165 с.

11. Згуровский М., Зайченко Ю. Комплексный анализ риска банкротства корпораций в условиях неопределенности / М. Згуровский, Ю. Зайченко // International Journal «Information Technologies & Knowledge» Vol. 6, Number 2, 2012.

12. Калюта В.Ю. Разработка системы управления рыночными рисками в компаниях нефтегазовой отрасли. – Дисс. на соиск. уч. ст. канд. эк. наук. СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2015. 185 с.

13. Карнов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб: БХВ-Петербург, 2005. 400 с.

14. Ким Ч., Моборн Р. Стратегия голубого океана. Как найти или создать рынок, свободный от других игроков. Москва: Манн, Иванов и Фарбер, 2012. 272 с.

15. Козловский А.Н. О неприменимости классического доходного подхода к экономической оценке инновационных проектов // Экономика и предпринимательство. 2016. № 6 (71). С. 413–416.

16. Козловский А.Н. Реальные опционы в инновационной деятельности промышленного предприятия // Управление инновациями: теория, методология, практика. Новосибирск, 2016. С. 53–65.

17. Козловский А.Н. Управление портфелем инновационных проектов на промышленном предприятии. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. эк. наук. СПб: СЗОРУ, 2016. 154 с.

18. Козловский А.Н., Недосекин А.О., Абдулаева З.И. Управление портфелем промышленных инноваций. СПб: СПбГПУ, 2016. – 131 с.

19. *Коньшева Л.К., Назаров Д.М.* Основы теории нечётких множеств. Учебное пособие. СПб: Питер, 2011. 190 с.
20. *Кофман А., Хил Алуха Х.* Введение теории нечётких множеств в управлении предприятии. Уч. пособие. Минск: Выш. шк., 1992. 224 с.
21. *Кравец А.С.* Природа вероятности. М.: Мысль, 1976. 173 с.
22. *Крегер О., Тьюсон Д.* Почему мы такие? 16 типов личности, определяющих, как мы живём, работаем и любим. М.: Альпина Паблишер, 2015. 368 с.
23. *Леоненков А.В.* Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
24. *Лускатова О.В.* Оценка экономической устойчивости горного предприятия при управлении комплексом рисков. Дисс. на соиск. уч. ст. доктора экон. наук. М.: ВИЭМС, 2004. 250 с.
25. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (утв. Минэкономки РФ, Минфином РФ, Госстроем РФ 21.06.1999 N ВК 477). – На сайте: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28224/.
26. *Назаров Д.М.* Методология нечётко-множественной оценки имплицитных факторов в деятельности организации. Екатеринбург: Изд-во Уральского государственного экономического университета, 2016. 193 с.
27. *Назаров Д.М.* Теоретические и методические основы нечётко-множественной оценки имплицитных факторов управления организацией. Дисс. на соиск. уч. ст. доктора эк. наук. СПб: Санкт-Петербургский государственный университет, 2017. 154 с.
28. *Недосекин А.О.* Real Estate Portfolio Management Mix (REPRMM) – новая концепция управления портфелем недвижимости // Top-Manager. 2004. № 6.
29. *Недосекин А.О.* Альтернативные методы инвестирования базовых отраслей экономики РФ // Записки Горного института. 2016. вып. 219. С. 482–489.
30. *Недосекин А.О.* Два очерка о грядущей России. СПб: СПбГПУ, 2012. 170 с.
31. *Недосекин А.О.* Инвестиционный рубль – инструмент российской промышленной политики // Форсайт «Россия»: дизайн новой промышленной политики». Сборник материалов Санкт-Петербургского международного экономического конгресса (СПЭК-2015) / под общ. ред. С.Д. Бодрунова. М.: Культурная революция, 2015. 756 с., стр. 198–206.

32. *Недосекин А.О.* Методологические основы моделирования финансовой деятельности с использованием нечётко-множественных описаний. Дисс. на соиск. уч. ст. доктора экон. наук. СПб: СПбГУЭФ, 2003. 280 с. Также на сайте: http://www.mirkin.ru/_docs/doctor005.pdf. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 18.01.2017.

33. *Недосекин А.О.* Монотонные фондовые портфели и их оптимизация // Аудит и финансовый анализ. 2002. № 2.

34. *Недосекин А.О.* Нечётко-множественный анализ риска фондовых инвестиций. СПб: Сезам, 2002. 181 с.

35. *Недосекин А.О.* О проявлении свойства «витальность» в технических, экономических и социальных системах. – На сайте: http://an.ifel.ru/docs/Vitality_110416.pdf. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 18.01.2017.

36. *Недосекин А.О.* Оптимизация фондового портфеля, содержащего call-опционы // Банки и Риски. 2005. №1. – Также на сайте: <http://www.ifel.ru/br1/13.pdf>.

37. *Недосекин А.О.* Оптимизация фондового портфеля, содержащего put-опционы // Банки и Риски. 2005. №1. – Также на сайте: <http://www.ifel.ru/br1/9.pdf>.

38. *Недосекин А.О.* Рейтинг кредитоспособности субъектов РФ с использованием нечётких описаний // Аудит и финансовый анализ. 2003. №1.

39. *Недосекин А.О.* Система оптимизации фондового портфеля от Siemens Business Services Russia // Банковские технологии. 2003. № 5.

40. *Недосекин А.О.* Управление портфелем акций США // Top-Manager. 2004. № 2.

41. *Недосекин А.О.* Управлять судьбой организации. Книга 1: Описание подхода. Казань: Отечество, 2013. 101 с. – Также на сайте: <http://www.ifel.ru/docs/KDO.pdf>. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 18.01.2017.

42. *Недосекин А.О.* Энергия Денег. Цикл статей 2013–2014 гг. – На сайте: http://an.ifel.ru/docs/ED_AN.pdf. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 18.01.2017.

43. *Недосекин А.О., Абдулаева З.И.* Финансовая математика в 2 т. СПб: СПбГПУ, 2013. – 219 с.

44. *Недосекин А.О., Абдулаева З.И.* Оптимизация портфеля торговых роботов на деривативах // Аудит и финансовый анализ. 2015. № 6 С. 416–422.

45. *Недосекин А.О., Абдулаева З.И.* Оценка промышленных и экономических рисков предприятий. Учебное пособие. СПб: Изд-во Политехнического ун-та, 2016. 108 с.

46. *Недосекин А.О., Абдулаева З.И.* Трансформация России как нечётко-логическая научная задача // Сборник докладов III-ей Всероссийской научной конференции «Нечеткие системы и мягкие вычисления». Том II. Волгоград, 21–24 сентября, общ. ред. д.т.н. А.В. Заболеевой–Зотовой, Изд-во ВГТУ, 2009. С. 261–269.

47. *Недосекин А.О., Абдулаева З.И., Рейшахрит Е.И.* Системная динамика эмиссии и обращения альтернативной неденежной ликвидности (АНЛ) // В кн.: Системная экономика, экономическая кибернетика, мягкие измерения в экономических системах. М.: Изд. Финансового университета, 2015. С. 92–98.

48. *Недосекин А.О., Абдулаева З.И., Шкатов М.Ю.* Разработка системы сбалансированных показателей (ССП) для морской нефтегазовой смешанной компании (МНСК) с использованием нечётко-множественных описаний // Аудит и финансовый анализ. 2013. № 3. С. 126–134.

49. *Недосекин А.О., Бессонов Д.В.* Корреляционная матрица и её роль в оптимизации фондового портфеля (2003). – На сайте: http://www.mirkin.ru/_docs/articles03-052.pdf.

50. *Недосекин А.О., Бессонов Д.В., Лукашев А.В.* Сводный анализ российских предприятий за 2000–2003 гг. // Аудит и финансовый анализ. 2005. № 1. С. 53–60.

51. *Недосекин А.О., Воронов К.И.* Новый показатель оценки риска инвестиций // Управление риском. 2000. № 1. С. 32–35.

52. *Недосекин А.О., Калюта В.Ю., Терновая Я.О.* Управление ценовыми рисками в нефтегазовой отрасли РФ. СПб: СПбГПУ, 2015. 183 с.

53. *Недосекин А.О., Максимов О.Б.* Простейшая комплексная оценка финансового состояния предприятия на основе нечётко-множественного подхода // Аудит и финансовый анализ. 2003. №3. С. 23 – 28.

54. *Недосекин А.О., Рейшахрит Е.И.* Мобилизационная экономика по-русски. – СПб: СПбГПУ, 2015. – 124 с.

55. *Недосекин А.О., Рейшахрит Е.И.* К вопросу определения «Экономической устойчивости» сырьевых отраслей // NovaInfo. 2017. № 58-1. URL: <http://novainfo.ru/article/10801>.

56. *Недосекин А.О., Рейшахрит Е.И., Ильенко Е.П.* Нетрадиционный подход к обеспечению безопасности на горнодобывающих пред-

приятных на уровне системы мотивации персонала // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера. 2016. № 2. С. 30–39. – Также на сайте: <http://vestnik-ku.ru/images/articles/2016/2/4.pdf>. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 18.01.2017.

57. Недосекин А.О., Рейшахрит Е.И., Козловский А.Н. Сырьевая отрасль как кибернетическая система // NovaInfo. 2017. № 58-1. URL: <http://novainfo.ru/article/10821>.

58. Недосекин А.О., Фролов С.Н. Лингвистический анализ гистограмм экономических факторов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2008, № 2. С. 48–55. – Также на сайте: http://elibrary.ru/download/elibrary_11903127_51755959.pdf. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 18.01.2017.

59. Нечёткие гибридные системы. Теория и практика / Батыршин И.З., Недосекин А.О., Стецко А.А., Тарасов В.Б., Язенин А.В., Ярушкина Н.Г. М.: Физматлит, 2007. 208 с.

60. Нечёткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф., Силов В.Б., Тарасов В.Б. Под общ. ред. Поспелова Д.А. М.: Наука, 1986. 312 с.

61. Нечёткие множества и теория возможностей. Последние достижения / под ред. Р.Р. Ягера. М.: Радио и связь, 1986. 408 с.

62. Орловский С.А. Принципы принятия решений при нечёткой исходной информации. М.: Наука, 1981. 208 с.

63. Паттерсон С. Кванты. М.: Иванов, Манн и Фербер, 2014. 380 с.

64. Поспелов Д.А. «Серые» или «чёрно-белые» [шкалы] // Прикладная эргономика. Специальный выпуск «Рефлексивные процессы». 1994. № 1. С. 29–33.

65. Прокопчина С.В. Разработка методов и средств байесовской интеллектуализации измерений в задачах мониторинга сложных объектов. Дисс. на соиск. уч. ст. доктора экон. наук. СПб: ЛЭТИ, 1995. 450 с.

66. Рыжов А.П. Элементы теории нечётких множеств и измерения нечёткости. М.: Диалог-МГУ, 1998. 81 с.

67. Сенге П. Пятая дисциплина. Искусство и практика самообучающейся организации. М.: ОЛИМП-БИЗНЕС, 2003. 408 с.

68. Трухаев Р.И. Модели принятия решений в условиях неопределённости. М.: Наука, 1981. 258 с.

69. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. М.: Наука, 1978. 352 с.

70. *Форрестер Д.* Основы кибернетики предприятия (Индустриальная динамика). М.: Прогресс, 1971. 340 с.

71. *Черкесов Г.Н., Недосекин А.О.* Описание подхода к оценке живучести сложных структур при многоразовых воздействиях высокой точности // *Надёжность*. № 2 (57). 2016. С. 3–15.

72. *Черкесов Г.Н., Недосекин А.О.* Описание подхода к оценке живучести сложных структур при многоразовых воздействиях высокой точности (часть 2) // *Надёжность*. № 3 (58). 2016. С. 24–34.

73. *Шапиро Д.И.* Принятие решений в системах организационного управления: использование расплывчатых категорий. М.: Энергоатомиздат, 1983. 184 с.

74. *Эшби У.Р.* Введение в кибернетику = An introduction to cybernetics. М.: URSS ЛЕНАД, 2014. 432 с.

75. *Altman E.* Financial Ratios, Discriminant Analysis and the Prediction of Corporate Bankruptcy // *The Journal of Finance*, September 1968. Pp. 589–609.

76. *Altman E., Hotchkiss E.* Corporate Financial Distress and Bankruptcy: Predict and Avoid Bankruptcy, Analyze and Invest in Distressed Debt. N.Y.: Wiley, 2006. 368 p.

77. *Bertalanffy L. von.* An Outline of General System Theory // *British Journal for the Philosophy of Science*. Vol. 1. 1950. Pp. 134–165.

78. *Chopra V.K., Ziemba W.T.* The Effects of Errors in Means, Variances and Covariances in Optimal Portfolio Choice // In: *Worldwide Asset and Liability Modelling*. USA: Cambridge University Press, 1998.

79. *Fama E., French K.* Permanent and temporary components of stock prices // *Journal of Political Economy*. 1988. Vol. 96. Pp. 246–273.

80. International Conference on Fuzzy Sets and Soft Computing in Economy and Finance (FSSCEF-2004, Saint-Petersburg). Proceedings. – On site: http://www.ifel.ru/fsscef2006/2004/FSSCEF_1.pdf, http://www.ifel.ru/fsscef2006/2004/FSSCEF_2.pdf.

81. International Conference on Fuzzy Sets and Soft Computing in Economy and Finance (FSSCEF-2006, Saint-Petersburg). Proceedings. – On site: <http://www.ifel.ru/fsscef2006/p2006.pdf>.

82. *Markowitz H.M.* Portfolio Selection// *The Journal of Finance*, Vol. 7, No. 1. (Mar., 1952). Pp. 77–91.

83. *Nedosekin A., Abdoulaeva Z.* «Volatility – Risk» paradox in portfolio applications // In: *Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016*, 7519843. Pp. 548–552.

84. *Nedosekin A., Abdoulaeva Z.* Mobilized economy fuzzy model // In: Proceedings of International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2015, 7190479. Pp. 267–268.

85. *Nedosekin A., Karpov Ju.* The solution of transport problem in fuzzy statement on the basis of platform AnyLogic // International Conference on Fuzzy Sets and Soft Computing in Economy and Finance. Vol. 2. 2004. – Pp. 557–565.

86. *Nedosekin A.O., Reischahrit E.I., Ilyenko E.P.* Fuzzy model of motivation based on industrial safety factor // In: Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016. Pp. 386–387.

87. *Puri M.D., Ralescu D.A.* Fuzzy Random Variables // J. Math. Anal. App. 1986. V. 114. Pp. 409–422.

88. *Vinogradov V., Abdoulaeva Z.* Fuzzy-set economic stability analysis model of mineral complex of the Russian Federation / In: Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016, 7519822. Pp. 489–490.

89. *Zalyaeva A.* Nationalization of key production assets of core Russian industries as a fuzzy-logic scientific task / In: Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016. Pp. 523–524.

ГЛАВА 3

НЕЧЁТКО-ЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СБАЛАНСИРОВАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ (НЛ ССП) И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО РИСКА

А.О. Недосекин, З.И. Абдулаева

Введение

Ценность модели НЛ ССП для экономического анализа весьма высока. Обусловлено это следующим:

а) учитывается вся существенная информационная неопределённость в части функционирования экономической системы предприятия/отрасли и их внешнего окружения;

б) экономическая система в модели обретает черты кибернетической системы;

в) ССП как ядро моделирования может наращиваться смежными стратегическими картами (Оказий, Угроз, Рисков, Шансов, Решений, ...).

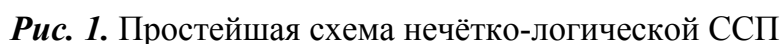
Карты отдельных предприятий могут консолидироваться на уровне сводной отраслевой карты ССП. Тем самым, модель может неограниченно перемасштабироваться.

Аналогичное моделирование некогда проводилось нами в [4, 1, 5]. Здесь, в главе 2, продемонстрирован ещё один вариант выделения факторов модели ССП и калибровки связей между факторами стратегической карты, с выходом на идентификацию и анализ экономических рисков.

3.1. Моделирование НЛ ССП

Рассмотрим простейшую ССП, схема которой представлена на рис. 1.

Эта схема является нечётко-логической по двум основаниям: а) в состав показателей ССП входят как количественные, так и качествен-



- CR – качество отношений с клиентами;
- SR – качество отношений с поставщиками;
- HR – качество отношений с персоналом (в том числе уровень мотивированности сотрудников);
- BR – качество отношений с банками;
- WACC – средневзвешенная стоимость капитала, в % годовых;
- ФР – финансовый рычаг, безразмерный;
- ОбА – оборачиваемость активов, раз в год;
- ФЗ – финансовые затраты, млн. руб.;
- СК – собственный капитал, млн. руб.;
- ЗК – заёмный капитал, млн. руб.;
- $\Pi = \text{СК} + \text{ЗК}$ – пассивы баланса предприятия (константа), млн. руб.;
- $A = \Pi$ – активы баланса предприятия (константа), млн. руб.;
- ПОЗ – постоянные операционные затраты (офисные расходы, константа), млн. руб.;

- ВД – валовый доход по предприятию без НДС, млн. руб.;
- МП – маржинальная прибыль, млн. руб.;
- ОП – операционная прибыль, млн. руб.;
- МР – маржинальная рентабельность, в %, в т.ч. МР 1 – маржинальность, доставляемая клиентом в форме торговой наценки;
- МР 2 – маржинальность, доставляемая поставщиком в форме торговой скидки. Если детального сбора информации по торговой наценке и торговой скидке нет, принимается $МР\ 1 = МР\ 2 = МР / 2$;
- СтНнП – ставка по налогу на прибыль (константа), в %;
- ЧР – чистая рентабельность, %;
- ROE – отдача на собственный капитал, % годовых.

Идея моделирования состоит в следующем. Предприятие работает в своих фиксированных габаритах, с фиксированной валютой баланса П и при единообразной технологии производства и сбыта продукции. Достигнутый уровень бизнеса является следствием высокого качества взаимоотношений с ключевыми стейкхолдерами: клиентами, поставщиками, персоналом и банками (качественный уровень «В»). Но что произойдёт с бизнесом, если эти отношения будут плавно деградировать, например, до низкого уровня («Н»), каким ожидаемо станет интегральный показатель ROE? В этом отношении, переменные CR, SR, HR и BR выступают в качестве экзогенных входов модели (на рис. 1 обведены пунктирным овалом).

Приступим к моделированию. Сначала выпишем соотношения, относимые к собственно финансово-хозяйственной деятельности предприятия, в соответствии с [2]:

$$\begin{aligned}
 МП &= ВД - \text{Переменные операционные затраты} = \\
 &= ВД * МР = ВД * (МР\ 1 + МР\ 2), \\
 ОП &= МП - ПОЗ, \\
 ЧП &= (ОП - ФЗ) * (1 - СтНнП) = ВД * ЧР, \\
 П &= СК + ЗК = А, \\
 ФР &= ЗК / СК, \\
 ВД &= ОБА * А / 1.18, \\
 ROE &= ЧР * ОБА * (1 + ФР) / 1.18.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Теперь произведём моделирование влияния экзогенных параметров модели ССП на связанные факторы. Предположим, что качественному уровню «Н» отвечает минимальное значение связанного фактора за

ограниченный период измерений (*min*), а качественному уровню «В» – максимальное значение связанного фактора (*max*). Переход от уровня *min* к уровню *max* проходит по нелинейной параболической траектории. Сопоставим каждому качественному уровню модели свой единичный носитель – интервал [0, 1]. Тогда уровню «Н» соответствует узловая точка 0.3 носителя, а уровню «В» – узловая точка 0.7. Обозначим связанный фактор как *F*. Тогда справедливы уравнения:

$$F(0.3) = \min, F(0.7) = \max \quad (2)$$

Чтобы окончательно идентифицировать параболу $F(x)$, необходимо записать ещё одно уравнение в точке 0.5 носителя качества (уровень «Ср»). Если принять $F(0.5) = (\max + \min)/2$, то парабола $F(*)$ выродится в отрезок прямой линии. Соответственно, должно выполняться $F(0.5) < (\max + \min)/2$. Можно поместить в точку 0.3 глобальный минимум параболы. Тогда, если

$$F(x) = a*x**2 + b*x + c, \quad (3)$$

то производная в точке экстремума равна нулю, и:

$$F'(0.3) = 2a*0.3 + b = 0.6*a + b = 0. \quad (4)$$

Это и есть недостающее третье уравнение. Решив полученную систему алгебраических уравнений 3х3 в общем виде, получаем соотношения для коэффициентов параболической зависимости (3):

$$\begin{aligned} a &= (\max - \min) / 0.16 > 0, \\ b &= -0.6*(\max - \min) / 0.16 < 0, \\ c &= (0.07*\min + 0.09*\max) / 0.16 > 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Условия (1–5) создают общий каркас для моделирования связей между факторами в функционально-алгоритмическом ключе. Например, можно записать:

$$\begin{aligned} MP\ 1 &= F(CR), \min = MP\ 1\min, \max = MP\ 1\max, \\ MP\ 2 &= F(CR), \min = MP\ 2\min, \max = MP\ 2\max, \\ ОбА &= F(HR), \min = ОбА\min, \max = ОбА\max. \end{aligned} \quad (6)$$

Для соотношений (6) выполняется **прямое правило**: чем выше качество отношений, тем выше уровни соответствующих факторов. Однако для случая WACC и ПОЗ прямое правило замещается **инверсным**: чем ниже качество, тем выше уровни факторов. Соответственно, уровень связанного фактора моделируется убывающей параболой, для которой справедлива следующая система уравнений:

$$\begin{aligned} G(x) &= a*x**2 + b*x + c, \\ G(0.3) &= \max, G(0.7) = \min, 2*a*0.7 + b = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Решение системы (2.7) в общем виде даёт:

$$\begin{aligned} a &= (\max - \min) / 0.16 > 0, \\ b &= -1.4*(\max - \min) / 0.16 < 0, \\ c &= (0.49*\max - 0.33*\min) / 0.16 > 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Тогда:

$$\begin{aligned} \text{ПОЗ} &= G(\text{HR}), \min = \text{ПОЗ}\min, \max = \text{ПОЗ}\max, \\ \text{WACC} &= G(\text{BR}), \min = \text{WACC}\min, \max = \text{WACC}\max. \end{aligned} \quad (9)$$

Более трудный случай моделирования, когда в графе ССП на рис. 1 в один фактор входят две и более стрелок. Это происходит с факторами ФР, ФЗ и ЧР и означает, что указанные факторы находятся под сложным воздействием ряда смежных факторов, и это влияние носит характер суперпозиции (наложения). Соответственно, в ходе моделирования приходится последовательно применять три приёма:

- Фаззификация входных смежных факторов методом лингвистической классификации.

- Построение нечётко-логической матрицы с N входами и одним выходом. Матрица представляет собой набор «спрессованных» нечётко-логических правил. На входе в матрицу – качественные значения входных факторов, на выходе – качественное значение выходного фактора.

- Дефаззификация (дешифрация) полученного качественного уровня выходного фактора. Для этого мы используем функцию F(*) вида (3), для которой вход – качество, а выход – количество (откалиброванные значения носителя лингвистической переменной). Дешифрация – операция, обратная фаззификации.

Рассмотрим по порядку 3 выделенных фактора.

$$\Phi P = DF (\Phi PQ (WACC, BR)).$$

Оператор DF означает дефаззификацию, ΦPQ – качественный уровень ΦP . Фактор BR уже пришёл в модель как качественный, поэтому фаззификация ему не нужна. Что касается WACC, то его можно классифицировать по «жёсткой» схеме (crisp granulation), применяя правило фаззификации – как нарезания всего допустимого интервала $[WACCmin; WACCmax]$ на три равные доли по формуле:

$$\begin{aligned} \langle H \rangle &= [WACCmin; WACCmin + (WACCmax - WACCmin)/3], \\ \langle Cp \rangle &= [WACCmin + (WACCmax - WACCmin)/3; WACCmin + (WACCmax - WACCmin)*2/3], \\ \langle B \rangle &= [WACCmin + (WACCmax - WACCmin)*2/3; WACCmax]. \end{aligned} \quad (10)$$

Нечётко-логическая матрица на 2 входа имеет вид табл. 1. Высокий WACC тянет ΦP вниз, а хорошие отношения с Банком – наоборот, вверх.

Таблица 1

Нечётко-логическая матрица на 2 входа для ΦPQ

Качественный уровень WACC	Качественный уровень ΦPQ , при качестве BR:		
	<i>H</i>	<i>Cp</i>	<i>B</i>
H	Cp	B	B
Cp	H	Cp	Cp
B	H	H	Cp

Нечётко-логическая матрица на 2 входа в данном случае имеет вид табл. 2. Опять наблюдаем противоречивое воздействие входных факторов на выходной. Высокий WACC тянет ΦZ вверх. Наоборот, высокая оборачиваемость активов предполагает минимизацию ресурсной базы предприятия, с избавлением от «токсичных» (неработающих, не дающих должной коммерческой отдачи) активов и пассивов.

Обратная дешифрация даёт скалярное значение $\Phi P = F(\Phi PQ)$.

$$\Phi Z = DF (\Phi ZQ (WACC, ОБА)).$$

ФЗQ – качественный уровень ФЗ. По WACC мы уже провели фаззификацию по формуле (1.37), и аналогичным образом мы можем провести фаззификацию ОБА:

$$\begin{aligned} \langle H \rangle &= [ОбАmin; ОбАmin + (ОбАmax - ОбАmin)/3], \\ \langle Сp \rangle &= [ОбАmin + (ОбАmax - ОбАmin)/3; ОбАmin + (ОбАmax - ОбАmin) * 2/3], \\ \langle B \rangle &= [ОбАmin + (ОбАmax - ОбАmin) * 2/3; ОбАmax]. \end{aligned} \quad (11)$$

Таблица 2

Нечётко-логическая матрица на 2 входа для ФЗQ

Качественный уровень WACC	Качественный уровень ФЗQ, при качестве ОБА:		
	<i>H</i>	<i>Сp</i>	<i>B</i>
H	Сp	Сp	H
Сp	B	Сp	Сp
B	B	B	Сp

Обратная дешифрация даёт скалярное значение $\Phi З = F(\Phi ЗQ)$.

Что касается модели для ЧР, то тут можно воспользоваться простым функционально-алгоритмическим соотношением:

$$\begin{aligned} ЧР = ЧП/ВД = & ((MP\ 1 + MP\ 2) * ОБА * A / 1.18 - ПОЗ - \Phi З) * \\ & * (1 - СтНнП) / ОБА / A * 1.18, \end{aligned} \quad (12)$$

где СтНнП – заранее известная константа, а факторы МР 1, МР 2, ПОЗ, ОБА и ФЗ нами промоделированы ранее.

Таким образом, мы представили все модели, использующиеся в ходе вычислений. Рассмотрим расчётный пример. Пусть все исходные данные модели ССП представлены в табл. 3. Классификация параметров табл. 3: экзоген – входные качественные значения, константы – неизменные параметры, варианты – то, что моделируется в ССП с помощью нечётких моделей, функционал – то, что вычисляется по формулам на основе вариантов и констант.

Коэффициенты для параболических связей вида $F(*)$ и $G(*)$ сведены в табл. 4. Теперь последовательно, одну за другой, понизим, независимо друг от друга, все экзогенные переменные до качественного уровня «Н».

Таблица 3

Исходные данные для модели ССП

Показатель	Размерн.	Min	Av	Max	Примечание
Пассивы (П) = Активы (А)	млн. руб.	1 000	1 000	1 000	константа
Выручка без НДС (ВД)	млн. руб.	678	720	847	функционал
Постоянные операционные затраты (ПОЗ)	млн. руб.	80	90	120	варианта
Ставка по налогу на прибыль (СтНнП)	%	20%	20%	20%	константа
Отношения с клиентами (CR)	качество	Н	Ср	В	экзоген
Отношения с поставщиками (SR)	качество	Н	Ср	В	экзоген
Отношения с персоналом (HR)	качество	Н	Ср	В	экзоген
Отношения с банками (BR)	качество	Н	Ср	В	экзоген
Маржинальность от клиента (MP 1)	%	10%	14%	25%	варианта
Маржинальность от поставщика (MP 2)	%	10%	14%	25%	варианта
Маржинальная рентабельность (MP)	%	20%	28%	50%	функционал
Чистая рентабельность (ЧР)	%	-2%	6%	18%	функционал
Оборачиваемость всех активов (ОБА)	раз в год	0.8	0.85	1.0	варианта
Средневзвешенная стоимость капитала (WACC)	% год	3%	6%	15%	варианта
Финансовый рычаг (ФР)	безразм.	0.5	1.125	3	варианта
Собственный капитал (СК)	млн. руб.	667	471	250	функционал
Заёмный капитал (ЗК)	млн. руб.	333	529	750	функционал
Финансовые затраты (ФЗ)	млн. руб.	30	60	150	варианта
Маржинальная прибыль (МП)	млн. руб.	136	202	424	функционал
Операционная прибыль (ОП)	млн. руб.	16	112	344	функционал
Чистая прибыль (ЧП)	млн. руб.	-14	41	155	функционал
Отдача на собственный капитал (ROE)	% год	-2%	9%	62%	функционал

Результат такого рода деградации отношений представлен в табл. 5. Результат табл. 5 получен с применением всех соотношений данно-

го параграфа пособия. Видно, что наиболее травмирующим вариантом деградации отношений, как ни парадоксально это выглядит, является ухудшение отношений с банками.

Таблица 4

Коэффициенты для параболических связок F и G

Факторы в связке	Тип связи	Параметры в параболах F и G:		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
CR → MP 1	Прямой	0.9375	-0.5625	0.184375
SR → MP 2	Прямой	0.9375	-0.5625	0.184375
HR → ПОЗ	Инверсный	250	-350	202.5
HR → ОБА	Прямой	1.25	-0.75	0.9125
BR → WACC	Инверсный	0.75	-1.05	0.3975
BR → ФР	Прямой	15.625	-9.375	1.90625

Таблица 5

Результат моделирования ССП по вариантам деградации отношений со стейкхолдерами

Показатель	Размерн.	Результат перехода на уровень «Н»:			
		<i>CR</i>	<i>SR</i>	<i>HR</i>	<i>BR</i>
Пассивы (П) = Активы (А)	млн. руб.	1 000	1 000	1 000	1 000
Выручка без НДС (ВД)	млн. руб.	847	847	678	847
Постоянные операционные затраты (ПОЗ)	млн. руб.	80	80	120	80
Ставка по налогу на прибыль (СтНнП)	%	20%	20%	20%	20%
Отношения с клиентами (CR)	качество	Н	В	В	В
Отношения с поставщиками (SR)	качество	В	Н	В	В
Отношения с персоналом (HR)	качество	В	В	Н	В
Отношения с банками (BR)	качество	В	В	В	Н
Маржинальность от клиента (MP 1)	%	10%	25%	25%	25%
Маржинальность от поставщика (MP 2)	%	25%	10%	25%	25%
Маржинальная рентабельность (MP)	%	35%	35%	50%	50%
Чистая рентабельность (ЧР)	%	18%	18%	19%	18%

Окончание Таблицы 5

Оборачиваемость всех активов (ОБА)	раз в год	1.0	1.0	0.8	1.0
Средневзвешенная стоимость капитала (WACC)	% год	3%	3%	3%	15%
Финансовый рычаг (ФР)	безразм.	3	3	3	0.5
Собственный капитал (СК)	млн. руб.	250	250	250	667
Заёмный капитал (ЗК)	млн. руб.	750	750	750	333
Финансовые затраты (ФЗ)	млн. руб.	30	30	60	150
Маржинальная прибыль (МП)	млн. руб.	297	297	339	424
Операционная прибыль (ОП)	млн. руб.	217	217	219	344
Чистая прибыль (ЧП)	млн. руб.	149	149	127	155
Отдача на собственный капитал (ROE)	% год	60%	60%	51%	23%

Снижение кредитного предложения от банков вызывает необходимость у предприятия замещать заёмные источники финансирования собственными или квази-собственными, в сумме свыше 400 млн. руб. В 6 раз снижается уровень финансового рычага.

Стандартно, собственный капитал обходится значительно дороже заёмного (необходимо выплачивать дивиденды и выпускать финансовых инвесторов из бизнеса под повышенную ставку). Это немедленно проявляется в катастрофическом росте WACC капитала (в 5 раз). Соответственно, при всём благополучии развития операционной деятельности, финансовая деятельность предприятия оставляет желать лучшего.

В конечном счёте, эффективность использования собственного капитала (ROE) падает больше чем в 2 раза. Прибыли много, но получена она слишком дорогой ценой.

3.2. Моделирование рисков

На рис. 2 представлена карта экономических рисков предприятия, которая отвечает структуре карты ССП и увязана с её основными показателями. Связи между показателями в карте рисков «зеркалят» то же самое между КРІ на рис. 1 (установлен изоморфизм). В табл. 6 сведены выделенные показатели риска и подходы к их оценке. Общий

подход к шифрованию рисков: шифр риска состоит из двух половинок – ключевого слова «Risk» и наименования KPI, с которым он связан. Все риски из табл. 6 являются локальными, за исключением Risk_ROE, который является интегральным.

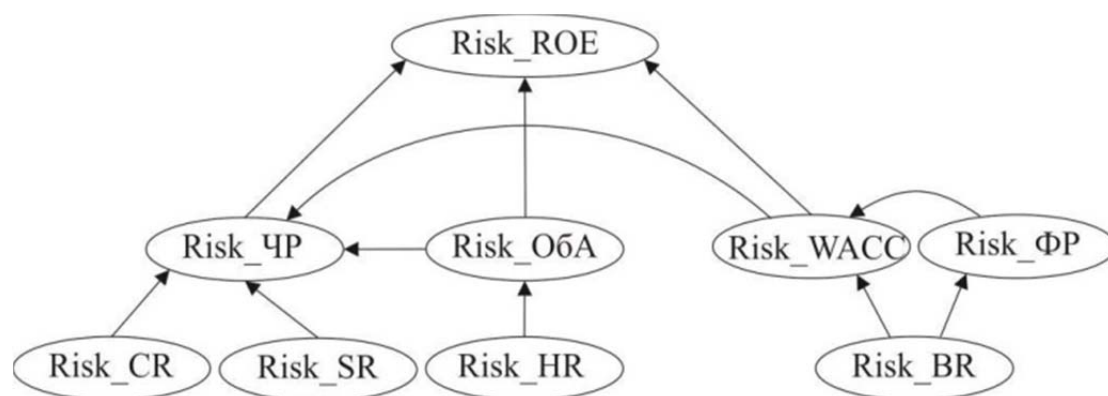


Рис. 2. Риск-карта предприятия

Общее правило для идентификации и анализа рисков компактно записано базовой формулой (3) из параграфа 3 монографии. Риск может быть оценен по формуле (3) как количественно (при достаточности необходимых исходных данных), так и качественно, с применением лингвистических экспертных оценок, когда уровень неопределённости таков, что констатируется существенная недостаточность свидетельств для оценки, и в ход идёт интуиция эксперта, его чутьё. Также риск может оцениваться как априорно (на основе уже сформировавшегося исторического контекста свидетельств), так и апостериорно, при появлении новых фактов, совершившихся событий и сложившихся обстоятельств.

Таблица 6

Свод риск-факторов

Шифр	Содержание риска	Метод анализа
Risk_CR	Риск ухудшения качества взаимоотношений с клиентом	КЭО, ЛК
Risk_SR	Риск ухудшения качества взаимоотношений с поставщиком	КЭО, ЛК
Risk_HR	Риск ухудшения качества взаимоотношений с персоналом	КЭО, ЛК
Risk_BR	Риск ухудшения качества взаимоотношений с банком	КЭО, ЛК

Окончание Таблицы 6

Risk_ЧР	Риск того, что чистая рентабельность упадёт ниже норматива	ТНЧ, ОСН
Risk_ОбА	Риск того, что оборачиваемость активов упадёт ниже норматива	ТНЧ, ОСН
Risk_WACC	Риск того, что средневзвешенная стоимость капитала упадёт ниже норматива	ТНЧ, ОСН
Risk_ФР_1	Риск того, что финансовый рычаг упадёт ниже норматива на раскрываемом рынке («ловушка нехватки ресурсов»)	ТНЧ, ДСН
Risk_ФР_2	Риск того, что финансовый рычаг упадёт ниже норматива на раскрываемом рынке («ловушка токсичных пассивов»)	ТНЧ, ДСН
Risk_ROE	Риск того, что ROE упадёт ниже норматива	ТНЧ, ОСН

Обозначения: КЭО – качественная экспертная оценка, ЛК – лингвистическая классификация, ОСН – одноставочный норматив, ДСН – двухставочный норматив, ТНЧ – треугольное нечёткое число.

Прежде чем переходить к анализу рисков, необходимо провести нормирование всех КРІ из ССП, измеряемых количественно. Нормирование может быть:

- **одноставочным**, когда устанавливается один количественный уровень, и всё поле состояний предприятия, оцениваемых по данному КРІ, жёстко разбивается на 2 группы: позитивные и негативные. Риск оценивается как возможность попадания в негативное состояние. Принцип такой «жёсткой» классификации в зарубежной литературе назван *crisp granulation*;

- **двуставочным**, когда есть два подмножества негативных состояний, разграниченных по «жёсткой» схеме. Пример – нормирование уровня финансового рычага, для растущего и падающего рынков;

- **лингвистическим**, когда весь диапазон количественных уровней КРІ (носитель) сопоставляется набору качественных градаций, причём нормирование может быть как «жёстким», так и «мягким» (*fuzzy granulation*).

В табл. 7 сведены значения исторического разброса КРІ, их нормативные уровни, а также априорные оценки рисков, в предположении того, что КРІ в модели оценки рассматриваются как треугольные нечёткие числа. Расчёты рисков ведутся по формулам из [3]. Нормирование в табл. 7 проведено по принципу каскадирования. Вводится норматив на интегральный показатель ROE; собственниками бизнеса

признаётся, что ROE должно быть выше 30% годовых, всё остальное – это негативная реализация бизнеса. Затем, обратным счётом, с применением классической формулы Дюпона:

$$ROE = ЧР * ОБА * (1 + ФР) / 1.18 \quad (13)$$

выставляются нормативы на ЧР, ОБА и ФР, с привлечением дополнительных соображений.

Таблица 7

KPI, нормативы, риски. Априорная оценка

Показатель	Раз- мерн.	Min	Av	Max	Нор м 1	Нор м 2	Risk1	Risk2
Чистая рентабельность (ЧР)	%	-2%	6%	18%	12%		0.903	
Оборачиваемость всех активов (ОБА)	раз в год	0.8	0.85	1.0	0.95		0.945	
Средневзвешенная стоимость капитала (WACC)	% год	3%	6%	15%		8%		0.329
Финансовый рычаг (ФР)	без-разм.	0.5	1.125	3	1.0	1.5	0.117	0.351
Отдача на собственный капитал (ROE)	% год	-2%	9%	62%	30%		0.800	

Из табл. 7 видно, что требования собственника являются критически высокими и могут быть выполнены бизнесом, в том виде, как он есть, лишь при большом напряжении сил. Вспоминается бессмертная «Кавказская пленница»: «Вы даёте нереальные планы! – Это ... как его ... волюнтаризм! – В моём доме не выражаться!» ©. Отсюда – чрезмерно высокие уровни рисков того, что план по ROE и по остальным компонентам формулы Дюпона достигнут не будет.

С одной стороны, требование по ROE является вполне рациональным; с другой стороны – достижимым лишь при наиболее благоприятных ожиданиях со стороны рынка. Теперь перейдём от априорной оценки риска к апостериорной. Предположим, что взаимоотношения предприятия и банка ухудшились до уровня, распо-

знаваемого как «Низкий». В предыдущем разделе главы проведено моделирование данного кейса (табл. 5, последняя колонка таблицы). Результаты моделирования следует рассматривать как исход наиболее ожидаемого сценария развития событий. Это соответствует новой вершине треугольного нечёткого числа. Соответствующие апостериорные данные сведены в табл. 8 (колонка «Av» выделена цветом).

Из табл. 8 видно, что появление дополнительной информации снимает неопределённость и уточняет риски. Риск ухудшения отношений с банками становится 100% (событие реализовано, возможность стала фактом). Зато, наоборот, полностью ушли риски невыполнения нормативов по рентабельности и оборачиваемости. Как следствие ухудшения взаимоотношений с банком, на 100% реализовались риски по WACC и ФР. В то же время, низкий уровень ФР сводит на ноль риск ненормально высокого рычага (оборотная сторона медали сжатия кредитного предложения от банка).

Таблица 8

KPI, нормативы, риски. Апостериорная оценка

Показатель	Раз- мерн.	Min	Av	Ма х	Норм 1	Норм 2	Risk 1	Risk 2
Чистая рентабельность (ЧР)	%	-2%	18%	18%	12%		0	
Оборачиваемость всех активов (ОБА)	раз в год	0.8	1.00	1.0	0.95		0	
Средневзвешенная стоимость капитала (WACC)	% год	3%	15%	15%		8%		1
Финансовый рычаг (ФР)	без- разм.	0.5	0.5	3	1.0	1.5	1	0
Отдача на собственный капитал (ROE)	% год	-2%	23%	62%	30%		0.693	

Наконец, мы видим снижение риска по фактору ROE. Оно, это снижение, не является революционным по размеру, но указывает на то, что шансы предприятия на выполнение требований собственников некоторым образом возросли; они малы, но заведомо больше нуля.

Заключение

В главе продемонстрировано уникальное соотношение между риском и неопределённостью. Снижение неопределённости может приводить к двум альтернативным последствиям: наращивать до максимума и снижать до минимума. Для случая расчётного кейса, ухудшение взаимоотношений с банками вынудило собственника отказываться от кредитного капитала (вследствие его непомерной дороговизны) и делать ставку на собственные силы, замещая кредитный капитал собственными средствами в структуре пассивов баланса. Такой поворот предопределил кардинальное снижение финансового рычага и всех соответствующих локальных рисков, что в конечном счёте привело к росту среднеожидаемого ROE и к соответствующему снижению интегрального риска. Если бы собственник не изыскал своих средств в достаточном количестве и не довнёс бы их в бизнес, то интегральный риск возрос бы от и без того неблагоприятного уровня 0.8 вплоть до 1, то есть потеря взаимоотношений с банками привела бы к катастрофическим последствиям.

Соответственно, можно рассматривать событие ухудшения отношений со стейкхолдером как бифуркационную точку (в смысле теории катастроф), как состояние неустойчивого равновесия экономической системы и как некую развилку двух дорог. Система либо найдёт варианты стабилизации и снизит свои риски, либо пойдёт вразнос и окажется перед лицом неизбежного банкротства. Эта «катастрофическая особенность» присуща всем без исключения кибернетическим системам с обратными связями и нелинейными внутренними зависимостями, раскрывающимися в динамике, в условиях запаздывания реакций относительно входных воздействий. Подобное моделирование экономической системы предприятия некогда проводилось Форрестером [6].

Список литературы

1. *Козловский А.Н., Недосекин А.О., Абдулаева З.И.* Управление портфелем промышленных инноваций / А.Н. Козловский, А.О. Недосекин, З.И. Абдулаева. СПб.: СПбГПУ, 2016. 131 с.
2. *Недосекин А.О., Абдулаева З.И.* Оценка промышленных и экономических рисков предприятий. Учебное пособие / А.О. Недосекин, З.И. Абдулаева. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2016. – 108 с.

3. Недосекин А.О., Абдулаева З.И. Финансовая математика в 2 т. / А.О. Недосекин, З.И. Абдулаева. СПб: СПбГПУ, 2013. 219 с.

4. Недосекин А.О., Абдулаева З.И., Шкатов М.Ю. Разработка системы сбалансированных показателей (ССП) для морской нефтегазовой смешанной компании (МНСК) с использованием нечётко-множественных описаний / А.О. Недосекин, З.И. Абдулаева, М.Ю. Шкатов // Аудит и финансовый анализ. 2013. № 3. С. 126–134.

5. Недосекин А.О., Рейшахрит Е.И., Ильенко Е.П. Нетрадиционный подход к обеспечению безопасности на горнодобывающих предприятиях на уровне системы мотивации персонала / А.О. Недосекин, Е.И. Рейшахрит, Е.П. Ильенко // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера. 2016. № 2. С. 30–39. – Также на сайте: <http://vestnik-ku.ru/images/articles/2016/2/4.pdf>. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 18.01.2017.

6. Форрестер Д. Основы кибернетики предприятия (Индустриальная динамика) / Д. Форрестер. М.: Прогресс, 1971. 340 с.

ГЛАВА 4

ЧИСТЫЙ ПРИВЕДЕННЫЙ ДОХОД И ВНУТРЕННЯЯ НОРМА ДОХОДНОСТИ ДЕНЕЖНЫХ ПОТОКОВ С НЕЧЕТКО ОПРЕДЕЛЕННЫМИ ПЛАТЕЖАМИ

В.Б. Гисин, Е.С. Волкова

Введение

Выбор математических инструментов финансового моделирования в условиях неопределенности существенно зависит от природы неопределенности (см. [2, 5, 11, 13, 17, 18]). Например, если относительно некоторой величины известен только интервал ее возможных значений («пессимистические» и «оптимистические» оценки), применяются методы интервального анализа. Если известно вероятностное распределение неопределенной величины внутри интервала ее значений (в этом случае говорят о случайной величине), применяются вероятностные методы. Заметим, что применение вероятностных методов обосновано только тогда, когда выполняется ряд условий, допускающих в определенном смысле «физическую» проверку. Промежуточное положение между интервальными и вероятностными методами занимают методы теории нечетких множеств. В теории нечетких множеств не предполагается, что неопределенная величина подчиняется объективным закономерностям (как в теории вероятностей), но в тоже время на интервале ее значений задано некоторое возможностное распределение, отражающее представления экспертов о большей или меньшей реалистичности в принципе возможных значений. Отказ от предположений о распределении величин внутри интервалов неопределенности при интервальной трактовке может привести к неоправданному росту неопределенности и потере экспертной информации в ходе вычислений. Подходы, основанные на методах теории нечетких множеств и связанных с ними так называе-

мых «мягких вычислениях», позволяют трансформировать оценку возможности исходных данных в оценку возможности результатов. Эти оценки не имеют такой точной интерпретации, как вероятностные, тем не менее, они дают полезную информацию для принятия обоснованных решений.

Одним из первых, кто отметил, что в экономике исходные требования теории вероятностей являются слишком жесткими, был Шекли [47]. В частности, по Шекли суммирование «вероятностей», которые экономисты приписывают экономическим событиям, не согласуется с экономическими реалиями. Экономические идеи Шекли находят подтверждение в исследованиях по экономическому поведению [31]. Одна из основных математических интерпретаций идей Шекли состоит в переходе от распределения вероятности к распределению возможностей.

Широкое распространение получило применение нечетких величин для оценки денежных потоков, в общем, и инвестиционных проектов, в частности. Это связано с тем, что характерной чертой многих инновационных проектов является неопределенность количественных характеристик. При этом неопределенность имеет, как правило, не стохастический характер. Не стохастический характер возникающей здесь неопределенности обусловлен несколькими причинами. Инвестиционные проекты, особенно проекты, связанные с инновациями, могут быть уникальны, и достаточной статистической информации, необходимой для обоснованных выводов, может не существовать по объективным причинам (см. например, [48]). Во многих случаях размеры платежей определяются набором факторов. С некоторыми из этих факторов связана неопределенность. Неопределенность также связана с взаимодействием и динамикой факторов (см. [44, 52]). Наконец, критерии сравнения и выбора проектов могут формулироваться в лингвистической форме. Естественным аппаратом для представления таких критериев в рамках математической модели служит нечеткая логика (см. [40]).

Одна из первых работ, в которой методы теории нечетких множеств применялись для анализа инвестиционных проектов, была опубликована тридцать лет назад [9]. В дальнейшем модели с использованием нечеткости были построены для представления самых разных видов неопределенности, связанных с инвестиционными проектами. Описание этих моделей можно найти в монографиях [2, 11, 18] (см. также обзор [16]).

Наибольшее число работ посвящено изучению двух наиболее употребительных характеристик проектов: чистому дисконтированному доходу и внутренней норме доходности [10, 14, 15, 21, 22, 23, 24, 29, 30, 33, 34, 37, 45, 46, 49, 50, 43, 51, 3, 4]. В перечисленных работах нечеткие платежи представляются, как правило, треугольными или трапециевидными нечеткими числами.

Понятие чистого дисконтированного дохода распространяется на денежные потоки с нечетко определенными денежными величинами достаточно непосредственно. Возникающие здесь сложности носят вычислительный характер. Ключевой проблемой при вычислении чистого дисконтированного дохода является учет зависимости между платежами, а при использовании чистого дисконтированного дохода в качестве критерия – сравнение нечетких величин.

Без учета зависимости быстрый рост неопределенности (с увеличением числа операций) может обесценить результаты вычислений. Для описания зависимости нечетких величин используются более мягкие средства, чем в теории вероятностей. В математической теории риска для описания многомерных зависимостей получили широкое распространение копулы. Общепринятым для описания нечетких зависимостей стал аппарат треугольных норм (t-норм) – ассоциативных копул. В теории нечетких множеств t-нормы используются не только для описания зависимостей, но и для моделирования логических операций (отсюда и требование ассоциативности). Такое комбинированное применение t-норм приводит к своеобразным эффектам, в частности, к замедлению роста неопределенности.

Что касается сравнения нечетких величин, здесь существует много подходов (см., например, [17]). Как правило, отношение порядка на множестве нечетких чисел основывается на распределении возможностей. Применительно к оценке денежных потоков с нечеткими платежами аксиоматический подход к упорядочению значений чистого приведенного дохода был развит в работах [2, 5]. Близкий подход применяется в работе [51].

Исследованию специфики вычислений с нечетко определенными денежными величинами с учетом зависимости между ними посвящен раздел 4 настоящей работы. Замедление роста неопределенности тесно связано с транзитивностью сравнения нечетких величин.

С переносом понятия внутренней нормы доходности в нечеткую ситуацию дело обстоит несколько сложнее. Ряд работ был специально

посвящен изучению внутренней нормы доходности проектов с нечетко определенными параметрами [10, 46, 12, 29]. В соответствии с традиционным определением внутренняя норма доходности вычисляется как решение уравнения $NPV = 0$. В случае нечетких платежей возникает алгебраическое уравнение с нечеткими коэффициентами. Его решение может быть сопряжено со значительными трудностями.

В работе [12] предложен подход к определению внутренней нормы доходности на основе теории возможностей. Однако доказательство ключевой теоремы содержит неустранимую ошибку, а утверждение теоремы неверно. Доказательство теоремы 3.1 из [CF1999], в которой предпринята попытка установить важные свойства внутренней нормы доходности, содержит неустранимую ошибку (а сама теорема неверна). В настоящей работе, в разделе 3, мы вводим определение внутренней нормы доходности на основе принципа обобщения Заде. Внутренняя норма доходности трактуется как нечеткая величина IRR с функцией принадлежности $\mu_{IRR}(r) = \mu_{NPV(r)}(0)$. В работах [46, 18] предложен оригинальный подход к решению нечетких уравнений, основанный на методе нечеткого нуля. Предложенный подход представляется интересным и многообещающим, хотя его теоретическое обоснование представляется не вполне завершенным. Заметим, что функция принадлежности IRR может оказаться не унимодальной (аналог проблемы множественности внутренней нормы доходности в классическом случае), а нечеткое множество IRR не выпуклым. Работа с невыпуклыми нечеткими величинами требует особой техники. Интересные подходы предложены в работе [6].

С ростом и уменьшением неопределенности связана еще одна проблема теории нечетких множеств – измерение неопределенности. Вопросам оценки и устойчивости интегральных характеристик денежного потока посвящены работы [50, 43]. В задачах с нечеткими денежными величинами возникает естественный вопрос о цене информации. Естественно предполагать, что снижение неопределенности исходных данных приводит к более точным результатам. В **разделе 5** предложен подход к определению цены информации, приводящей к снижению неопределенности, в моделях, основанных на теории нечетких множеств.

Укажем еще некоторые исследования, примыкающие к настоящей работе. В ряде работ вместо задачи оценки проекта рассматривается задача формирования портфеля проектов, которая формулируется как задача нечеткого программирования [38, 7, 21, 32, 36]. В работах [1, 33,

26, 27, 52] нечеткий чистый дисконтированный доход используется в более общем контексте финансового анализа. В работах [40, 41] нечеткий чистый дисконтированный доход используется как один из трех критериев для оценки проектов. Мера неопределенности чистого приведенного дохода естественно зависит от неопределенности платежей.

В теории нечетких множеств имеются механизмы, позволяющие моделировать неопределенность более высокого порядка, чем та, которая моделируется стандартными методами. Например, можно считать нечеткими значения функции принадлежности. Эта, кажущаяся чрезмерно громоздкой конструкция, достаточно естественно возникает в некоторых ситуациях. Так, при прогнозировании числового показателя часто используются три опорные точки (соответствующие пессимистическому, оптимистическому и реалистичному сценариям). В теории нечетких множеств неопределенность такого рода принято моделировать треугольными нечеткими числами. Если сами опорные значения определены нечетко, для моделирования возникающей неопределенности используются более сложные конструкции (см. [39]). Такие конструкции применяются и при анализе денежных потоков [25, 42].

4.1. Нечеткие величины и операции над ними

Напомним, что нечеткое подмножество A множества X задается своей функцией принадлежности $\mu_A: X \rightarrow [0; 1]$. Множество A может трактоваться как свойство, а величина $\mu_A(x)$ указывает, в какой мере элемент x обладает этим свойством. Пусть A – нечеткое подмножество множества X и α – число из промежутка $(0; 1]$. Множество всех тех x , для которых $\mu_A(x) \leq \alpha$, называется множеством уровня α . Мы будем обозначать его A^α . Следуя устоявшейся традиции, будем понимать под нечеткой величиной нечеткое подмножество A множества действительных чисел $\mathbf{R}$ с функцией принадлежности $\mu_A(x)$, удовлетворяющей следующим условиям:

- 1) все уровневые множества A^α являются замкнутыми промежутками вида $[a_1(\alpha), a_2(\alpha)]$;
- 2) $\mu_A(a) = 1$ для некоторого a ;
- 3) множество $\{x | \mu_A(x) > 0\}$ ограничено.

Число a , для которого $\mu_A(a) = 1$, называется модальным значением величины A . Замыкание множества $\{x | \mu_A(x) > 0\}$ называется

носителем нечеткой величины A и обозначается $\text{supp } A$. Это множество считается множеством нулевого уровня и обозначается также через A^0 . «Обычное» четкое число a можно рассматривать как нечеткое с носителем, состоящим из единственной точки a и функцией принадлежности μ такой, что $\mu(a) = 1$ и $\mu(x) = 0$ при $x \neq a$.

Нечеткие величины, описываемые выражениями типа «примерно a », обычно представляют так называемыми треугольными нечеткими числами. Треугольное нечеткое число A задается тройкой чисел $(a^L; a; a^R)$ такой что $a^L \leq a \leq a^R$. Отрезок $[a^L; a^R]$ является носителем множества A , а уровневые множества имеют следующий вид:

$$A^\alpha = [(1 - \alpha)a^L + \alpha a; (1 - \alpha)a^R + \alpha a].$$

Для треугольных нечетких чисел мы будем использовать обозначение:

$$A = (a^L; a; a^R).$$

Арифметические операции с нечеткими величинами определяются на основе принципа обобщения. Применительно к треугольным числам они сводятся к уровневым интервальным операциям: сумма треугольных нечетких чисел $A = (a^L; a; a^R)$ и $B = (b^L; b; b^R)$ – это треугольное нечеткое число:

$$A + B = (a^L + b^L; a + b; a^R + b^R).$$

Суммирование, определенное предыдущей формулой, соответствует так называемым невзаимодействующим нечетким величинам. «Невзаимодействие» при таком определении проявляется в том, что на каждом уровне допускается реализация экстремальных сценариев сразу для обеих величин. Если, например, возможность пессимистических значений сразу и для A , и для B ниже, чем возможность пессимистических значений для каждой из этих величин по отдельности, нечеткие величины считаются зависимыми.

Для моделирования взаимодействия между нечеткими величинами применяются треугольные нормы (называемые также более коротко t -нормами), которые можно определить как ассоциативные копулы. Отрезок $[0; 1]$, снабженный t -нормой, превращается в упорядо-

ченную коммутативную полугруппу с нулем и единицей. Более подробно, t -нормой называется бинарная операция (функция двух переменных) на промежутке $T(\alpha, \beta)$, $\alpha, \beta \in [0; 1]$, монотонная по обоим аргументам и удовлетворяющая следующим условиям:

- $T(\alpha, 1) = \alpha$; $T(\alpha, 0) = 0$ (сохранение нуля и единицы);
- $T(\alpha, \beta) = T(\beta, \alpha)$ (коммутативность);
- $T[T(\alpha, \beta), \gamma] = T[\alpha, T(\beta, \gamma)]$ (ассоциативность) для любых $\alpha, \beta, \gamma \in [0; 1]$. Характерные примеры t -норм:

- $T(\alpha, \beta) = \min(\alpha, \beta)$;
- $T(\alpha, \beta) = \alpha \cdot \beta$;
- $T(\alpha, \beta) = \max(0, \alpha + \beta - 1)$.

Ассоциативность позволяет распространить t -норму на любое конечное число аргументов. Мы будем писать $T(\alpha, \beta, \gamma)$ вместо $T(T(\alpha, \beta), \gamma)$ и аналогично в других подобных случаях.

С помощью t -норм можно строить n -мерные нечеткие величины с учетом взаимодействия компонент. Пусть $A_1, \dots, A_n$ – нечеткие величины. Нечеткое подмножество A пространства $\mathbf{R}^n$ с функцией принадлежности:

$$\mu_A(x_1, \dots, x_n) = T[\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n)]$$

называется декартовым произведением нечетких величин $A_1, \dots, A_n$ и задает аналог совместного распределения в теории вероятностей. Величина $\mu_A(x_1, \dots, x_n)$ оценивает возможность того, что величины $A_1, \dots, A_n$ примут соответственно значения $x_1, \dots, x_n$, т.е.

$$\mu_A(x_1, \dots, x_n) = Pos(A_1 = x_1, \dots, A_n = x_n).$$

Пусть A – n -мерная нечеткая величина и f – функция n переменных. Образ A относительно f в соответствии с принципом обобщения определяется как нечеткая величина $f(A)$ с функцией принадлежности:

$$\mu_{f(A)}(y) = \max\{\mu_A(x) | f(x) = y\}.$$

В частности, если f – суммирование, получаем:

$$\mu_{A_1 + \dots + A_n}(y) = \max\left\{T\left(\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n)\right) | x_1 + \dots + x_n = y\right\}.$$

Величина в левой части трактуется как оценка возможности того, что значение суммы заданных нечетких величин окажется равным u с учетом взаимодействия слагаемых. Сумма относительно t -нормы $\min(\alpha, \beta)$ соответствует невзаимодействующим нечетким величинам. Суммирование относительно t -нормы $\alpha \cdot \beta$ дает эффект, схожий с эффектом диверсификации при суммировании независимых случайных величин. Суммирование относительно t -нормы $\max(0, \alpha + \beta - 1)$ предполагает, что экстремальные значения сразу для нескольких слагаемых невозможны. Пусть, например, $A = (1; 2; 3)$, $B = (2; 3; 4)$. Тогда при сложении относительно t -нормы $\min(\alpha, \beta)$ на уровне 0,5 получается промежуток $[4; 6]$, при сложении относительно t -нормы $\alpha \cdot \beta$ – промежуток $[4,41; 5,59]$, а при сложении относительно t -нормы $\max(0, \alpha + \beta - 1)$ – промежуток $[4,5; 5,5]$.

Как правило, для моделирования зависимости между нечеткими величинами используются параметризованные семейства t -норм, где параметр служит оценкой зависимости.

Существует простой и достаточно универсальный способ получения t -норм с помощью аддитивных генераторов. Пусть $g: [0; 1] \rightarrow [0; +\infty]$ – непрерывная убывающая функция, такая, что $g(1) = 0$. Обозначим через $g^{(-)}(y)$ квазиобратную функцию, совпадающую с обратной к функции $g(x)$ на промежутке $[0; g(0)]$, и тождественно равную нулю на промежутке $[g(0); +\infty]$. Тогда функция:

$$T(\alpha, \beta) = g^{(-)}(g(\alpha) + g(\beta)) \quad (1)$$

является t -нормой. Выбирая параметризованное семейство генераторов, можно получить параметризованное семейство t -норм. Рассмотрим, например, часто используемое семейство генераторов Франка:

$$g_s(\alpha) = -\ln\left(\frac{s^\alpha - 1}{s - 1}\right), s > 0, s \neq 1. \quad (2)$$

Оно порождает семейство t -норм:

$$T_s(\alpha, \beta) = \log_s \left[1 + \frac{(s^\alpha - 1)(s^\beta - 1)}{s - 1} \right]. \quad (3)$$

При $s \rightarrow 0$ t -норма $T_s(\alpha, \beta)$ стремится к $\min(\alpha, \beta)$, при $s \rightarrow 1$ – к $\alpha \cdot \beta$, а при $s \rightarrow +\infty$ – к $\max(0, \alpha + \beta - 1)$. Выбирая подходящее зна-

чение параметра s , можно при суммировании нечетких величин учесть их взаимодействие.

Для сравнения нечетких величин используются многочисленные методы в зависимости от специфики решаемой задачи. Широкое распространение получили индексы, основанные на мерах возможности и необходимости. Возможность отношения $A \leq B$ оценивается числом:

$$Pos(A \leq B) = \sup\{\min(\mu_A(x), \mu_B(y)) | x \leq y; x, y \in R\},$$

необходимость – числом:

$$Nec(A \leq B) = \inf\{\sup\{\max(1 - \mu_A(x), \mu_B(y)) | x \leq y; y \in R\} | x \in R\}.$$

Для треугольных чисел соотношение $Pos(A \leq B) \geq \alpha$ имеет место тогда и только тогда, когда $a^L(\alpha) \leq b^R(\alpha)$, а соотношение $Nec(A \leq B) \geq \alpha$ – тогда и только тогда, когда $a^R(1 - \alpha) \leq b^L(1 - \alpha)$. В частности, $Pos(A \leq B) = 1$, если $a \leq b$, и $Pos(A \leq B) = \mu_A(b)$, если $b \leq a$. Полагая:

$$Pos(A = b) = \min\{Pos(A \leq b), Pos(A \geq b)\},$$

получаем

$$Pos(A = B) = \mu_A(b).$$

Переход от нечетких величин к обычным «четким» числовым величинам, которые в определенном смысле их представляют, называют дефаззификацией. Наиболее распространенным методом дефаззификации служит метод центра тяжести. При использовании этого метода нечеткой величине A сопоставляется число:

$$CoG(A) = \frac{\int_{\text{supp } A} x \mu_A(x) dx}{\int_{\text{supp } A} \mu_A(x) dx}.$$

В работе [2] (см. также [5]) найден общий вид функции дефаззификации, удовлетворяющей ряду естественных условий. Если функ-

ция дефаззификации F сохраняет отношение доминирования, сопоставляет четкой величине ее значение и сохраняет отношение доминирования относительно (нечетких) сдвигов, она (с точностью до некоторых технических деталей) имеет следующий вид:

$$F(A) = (1 - \lambda)E[a^L(\xi)] + \lambda E[a^R(\eta)], \quad (4)$$

где λ – параметр оптимизма – пессимизма Гурвица;

ξ, η – случайные величины со значениями на промежутке $[0; 1]$.

Случайные величины ξ, η приписывают вероятность «пессимистическим» и «оптимистическим» значениям величины A на заданном уровне возможности.

4.2. Внутренняя норма доходности инвестиционных проектов с нечетко определенными платежами

Мы будем считать, что инвестиционный проект продолжительности n временных периодов задается потоком платежей:

$$CF = (a_0, a_1, \dots, a_n), \quad (5)$$

каждая компонента которого a_i при $i \geq 1$ представляет собой баланс инвестиционных затрат и чистого дохода за период i , актуализированный на конец этого периода, а $|a_0|$ – объем начальных инвестиций. Говорят, что проект, заданный потоком платежей (5) типичный, если все платежи, за исключением начального (инвестиционного), неотрицательны.

Более формально, типичный проект задается потоком платежей вида (5), в котором $a_0 < 0$, $a_i \geq 0$ при всех $i \geq 1$ и $a_n > 0$. Мы будем дополнительно предполагать, что типичный проект не убыточен:

$$a_0 + a_1 + \dots + a_n > 0.$$

Величина:

$$NPV(r) = a_0 + \frac{a_1}{1+r} + \frac{a_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{a_n}{(1+r)^n}$$

называется чистым приведенным доходом проекта (1) относительно ставки приведения r . В случае типичного проекта непрерывная функция $NPV(r)$, убывая, меняет знак с плюса на минус на промежутке $(0; 1)$. Значение r , для которого $NPV(r) = 0$, называют внутренней нормой доходности (сокращенно – ВНД или IRR). В случае типичных проектов внутренняя норма доходности является критерием эффективности проектов: проект с более высокой внутренней нормой более эффективен.

При оценке проектов в условиях неопределенности значения a_i из (5) могут определяться неоднозначно. В этом случае речь идет о количественной оценке степени возможности тех или иных сценариев. В случае стохастической неопределенности могут быть оценены вероятности тех или иных сценариев, и тогда значения a_i оказываются случайными величинами. Однако многие проекты в определенном смысле уникальны и применение вероятностных методов при их оценке может оказаться необоснованным. В этих случаях значения a_i приходится трактовать как нечеткие. Например, предположим, что группа экспертов делает прогноз относительно значения некоторой величины A . Каждый эксперт указывает интервал возможных значений. В этом случае каждому действительному числу x можно приписать вес $\mu_A(x)$, равный доле экспертов, включивших x в свой прогнозный интервал. Таким образом, возможное значение величины A описывается функцией принадлежности $\mu_A(x)$.

Пусть $A_0, A_1, A_2, \dots, A_n$ – последовательность нечетких величин, соответствующих платежам, отнесенным к моментам времени $t = 0, 1, 2 \dots n$. Формула:

$$\mu_A(x) = \min\{\mu_{A_0}(x_0), \mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n)\} \quad (6)$$

для $x = (x_0, x_1, \dots, x_n) \in \mathbf{R}^{n+1}$ задает функцию принадлежности $n + 1$ -мерной нечеткой величины A . Если выполняются аксиомы рационального поведения (монотонность, согласованность, независимость от дополнительных проектов и др., см. [2]), оценка эффективности проектов, рассматриваемая как отображение из $\mathbf{R}^{n+1}$ в $\mathbf{R}$, имеет вид:

$$v^r(x) = x_0 + \frac{x_1}{1+r} + \frac{x_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{x_n}{(1+r)^n}, \quad (7)$$

где r трактуется как ставка дисконтирования. В соответствии с принципом обобщения образ A относительно отображения $v^r(x)$ из

(7) – это нечеткое подмножество $NPV^r(\mathbf{A})$ в $\mathbf{R}$ с функцией принадлежности:

$$\mu_{NPV^r(\mathbf{A})}(w) = \sup_{x \in \mathbf{R}^{n+1}} \{\mu_{\mathbf{A}}(x) | v^r(x) = w\}.$$

Из формулы (7) следует, что:

$$NPV^r(\mathbf{A}) = A_0 + \frac{A_1}{1+r} + \frac{A_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{A_n}{(1+r)^n} \quad (8)$$

Рассмотрим случай, когда все нечеткие величины A_i , $i = 0, 1, \dots, n$, являются треугольными нечеткими числами:

$$A_i = (a_i^L; a_i; a_i^R), i = 0, 1, \dots, n.$$

Положим:

$$\mathbf{a}^L = (a_i^L)_{i=0, \dots, n}, \mathbf{a} = (a_i)_{i=0, \dots, n}, \mathbf{a}^R = (a_i^R)_{i=0, \dots, n}.$$

В соответствии с (7) и (8) $NPV^r(\mathbf{A})$ является треугольным нечетким числом, причем:

$$NPV^r(\mathbf{A}) = (v^r(\mathbf{a}^L), v^r(\mathbf{a}), v^r(\mathbf{a}^R)) \quad (9)$$

На множестве $D \subset \mathbf{R}^{n+1}$, определяемом неравенствами $x_0 < 0$ и $x_i > 0$ при $i = 1, \dots, n$, уравнение:

$$v^r(x) = 0$$

задает r как неявную функцию:

$$r = H(x).$$

Предположим, что носитель нечеткой величины $\mathbf{A}$ содержится в области D , т.е. $a_0^R < 0$ и $a_i^L > 0$ при $i = 1, \dots, n$. В соответствии с принципом обобщения образом $\mathbf{A}$ относительно отображения H служит нечеткая величина $IRR = H(\mathbf{A})$ с функцией принадлежности, заданной уравнением:

$$\mu_{IRR}(r) = \sup_{x \in R^{n+1}} \{ \min[\mu_{A_0}(x_0), \mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n)] \mid v^r(x) = 0 \}. \quad (10)$$

Формулу (10) можно принять в качестве определения нечеткого значения внутренней нормы доходности IRR . Значение r принадлежит α -срезу нечеткой величины IRR , если $v^r(x) = 0$ для некоторого $x \in R^{n+1}$ такого, что $\mu_{A_i}(x_i) \geq \alpha$ для всех $i = 0, 1, \dots, n$.

Положим:

$$w_1^r(\alpha) = v^r(a^L + \alpha(a - a^L)),$$

$$w_2^r(\alpha) = v^r(a^R - \alpha(a^R - a)).$$

В силу монотонности функции $v^r(x)$ по x значение r принадлежит α -срезу нечеткой величины IRR , если $w_1^r(\alpha) \leq 0$ и $w_2^r(\alpha) \geq 0$. Максимальное значение α , для которого $r \in IRR^\alpha$, соответствует значению функции принадлежности $\mu_{IRR}(r)$ и получается следующим образом:

если оба значения $v^r(a^L)$ и $v^r(a^R)$ оба положительны или оба отрицательны, то $\mu_{IRR}(r) = 0$;

$$\text{если } v^r(a^L) \leq 0 \text{ и } v^r(a^R) \geq 0, \text{ то } \mu_{IRR}(r) = \frac{-v^r(a^L)}{v^r(a) - v^r(a^L)};$$

$$\text{если } v^r(a) \leq 0 \text{ и } v^r(a^R) \geq 0, \text{ то } \mu_{IRR}(r) = \frac{v^r(a^R)}{v^r(a^R) - v^r(a)}.$$

Это приводит нас к заключению, что:

$$\mu_{IRR}(r) = \mu_{NPV^r(A)}(0) \quad (11)$$

Формула (11) имеет прозрачный смысл: число r может быть значением внутренней нормы доходности в той мере, в какой 0 может быть значением чистой приведенной стоимости относительно ставки приведения r .

Покажем теперь, что нечеткая величина IRR является нечетким числом в случае, когда A – типичный инвестиционный проект.

Теорема 1. Если A – типичный инвестиционный проект, нечеткая величина IRR , определенная формулой (11), является нечетким числом.

Доказательство. Проект $\mathbf{a} = (a_0, a_1, \dots, a_n)$ по предположению является типичным и, значит, для него корректно определена внутренняя норма доходности. Обозначим ее через r_0 . Тогда $v^{r_0}(\mathbf{a}) = 0$ и, следовательно, $\mu_{IRR}(r_0) = 1$ в соответствии с (8) и (10). Далее, проекты $\mathbf{a}^L = (a_0^L, a_1^L, \dots, a_n^L)$ и $\mathbf{a}^R = (a_0^R, a_1^R, \dots, a_n^R)$ также являются типичными. Пусть r_1 и r_2 – их внутренние нормы доходности соответственно. Тогда $\mu_{IRR}(r) = 0$ при $r \leq r_1$ или $r \geq r_2$. Осталось показать, что функция $\mu_{IRR}(r)$ возрастает на промежутке $[r_1, r_0]$ и убывает на промежутке $[r_0, r_2]$. Рассмотрим случай $r \in (r_0, r_2)$. Докажем, что $\mu_{IRR}(r)$ на этом промежутке убывает.

Введем для удобства следующие обозначения. Положим $x = (1 + r)^{-1}$ и пусть $x_0 = (1 + r_0)^{-1}$. Мы будем рассматривать величины $y = v^r(\mathbf{a})$ и $d = v^r(\mathbf{a}^R) - v^r(\mathbf{a})$ как функции x . Требуется показать, что величина:

$$m(x) = \frac{y(x) + d(x)}{d(x)}$$

возрастает при $x < x_0$.

Заметим, что y монотонно возрастает с ростом x и $y(x_0) = 0$, так что $y(x) < 0$ при $x < x_0$. Знак производной $m'(x)$ совпадает со знаком величины:

$$h = y'(x)d(x) - y(x)d'(x).$$

Пусть $d_i = a_i^R - a_i$, $i = 0, 1, \dots, n$. Тогда:

$$h = \sum_{i=1}^n i a_i x^{i-1} \cdot \sum_{i=0}^n d_i x^i - \sum_{i=0}^n a_i x^i \cdot \sum_{i=0}^n i d_i x^{i-1}. \quad (12)$$

Равенство (12) можно представить следующим образом:

$$h = \sum_{l=0}^n \left(\sum_{k=0}^n (k-l) a_k x^k \right) d_l x^{l-1}. \quad (13)$$

Рассмотрим внутреннюю сумму из (13) при фиксированном l . Она распадается на два слагаемых:

$$\sum_{k=0}^n (k-l)a_k x^k = \sum_{k=0}^{l-1} (k-l)a_k x^k + \sum_{k=l}^n (k-l)a_k x^k. \quad (14)$$

Второе слагаемое в правой части (14) заведомо неотрицательно. Рассмотрим первое слагаемое. Его можно записать следующим образом:

$$\sum_{k=0}^{l-1} (k-l)a_k x^k = - \sum_{k=0}^{l-1} \left(\sum_{j=0}^k a_j x^j \right). \quad (15)$$

Заметим, что:

$$\sum_{j=0}^k a_j x^j = \sum_{j=0}^n a_j x^j - \sum_{j=k+1}^n a_j x^j = y(x) - \sum_{j=k+1}^n a_j x^j.$$

Таким образом, все внутренние суммы в правой части (15) отрицательны. Следовательно, сумма в левой части положительна.

Тот факт, что функция $\mu_{IRR}(r)$ возрастает на промежутке $[r_1, r_0]$, доказывается аналогично.

Пример 1. Рассмотрим проект со следующими нечеткими платежами:

$$\begin{aligned} A_0 &= (-1010, -1000, -990); \\ A_1 &= (670, 700, 730); \\ A_2 &= (750, 800, 850). \end{aligned}$$

Если ограничиться интервальными оценками, мы придем к выводу, что внутренняя норма доходности находится в промежутке от 25,5% до 36,6%. На рис. 1 представлен график функции принадлежности нечеткой внутренней нормы доходности $\mu_{IRR}(r)$ с модальным значением 31%.

Так как нечеткое значение внутренней нормы доходности получено по принципу обобщения, оно будет удовлетворять требованиям,

предъявляемым к оценке эффективности проекта из [2], в их нечеткой интерпретации. Дефаззификация (переход к четкой оценке) может быть проведена в соответствии с рекомендациями из [2].

Заметим, что определение нечеткой нормы внутренней доходности по формуле (11) может быть использовано и в тех случаях, когда «классическое» значение внутренней нормы доходности не определяется корректным образом.

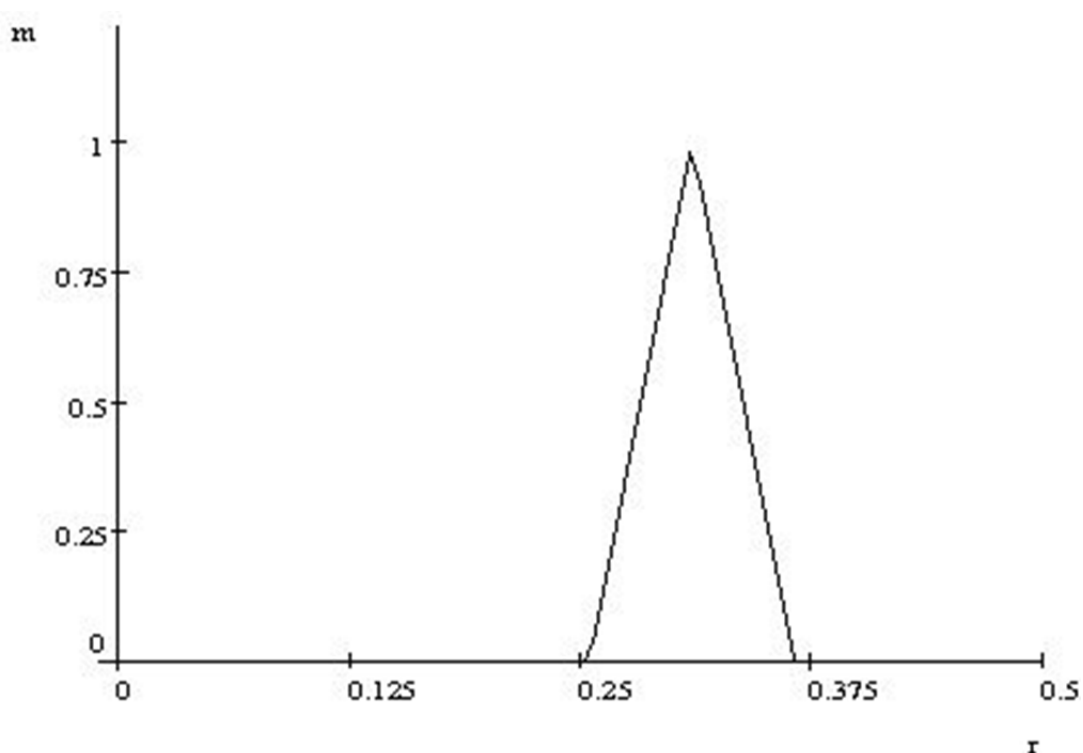


Рис. 1. Функция принадлежности IRR (типичный проект)

Пример 2. Пусть:

$$\begin{aligned}A_0 &= (-1010, -1000, -990); \\A_1 &= (4490, 4500, 4510); \\A_2 &= (-6550, -6540, -6520); \\A_3 &= (3060, 3080, 3100).\end{aligned}$$

График функции принадлежности нечеткой величины IRR представлен на рис. 2. Видно, что на уровне $\alpha = 0,5$ возможные значения образуют интервал, расположенный в положительной зоне. Значит, на этом уровне может быть применен, например, метод Гурвица. Впрочем,

как уже отмечалось во введении, можно использовать также методы работы с подобным нечетким множеством, предложенные в работе [6].

Рассмотрим теперь случай, когда платежи являются взаимодействующими нечеткими величинами, и суммирование проводится относительно некоторой t -нормы T . Будем предполагать, что T порожденной аддитивным генератором g .

Комбинируя (6) и определение суммирования относительно t -нормы T , получаем:

$$\mu_{IRR(A)}(r) = \sup_{x \in R^{n+1}} \{T\{\mu_{A_0}(x_0), \mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n)\} | v^r(x) = 0\}.$$

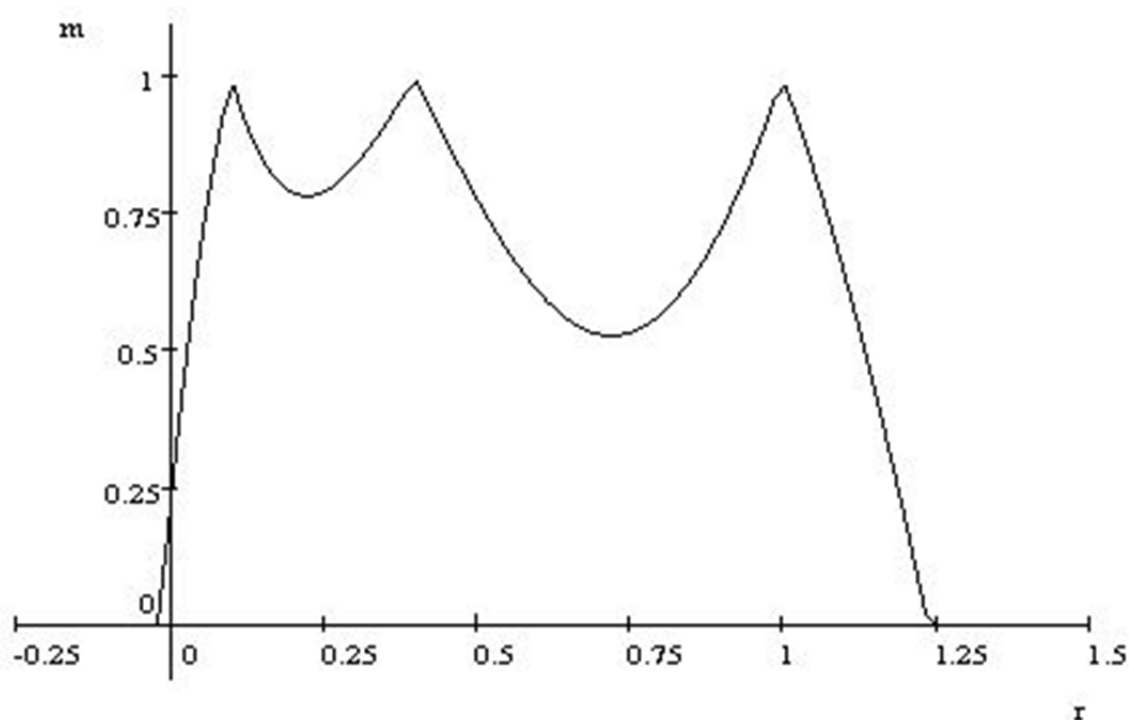


Рис. 2. Функция принадлежности IRR (нестандартный проект)

Теперь воспользуемся представлением t -нормы T с помощью аддитивного генератора:

$$\mu_{IRR(A)}(r) = \sup_{x \in R^{n+1}} \left\{ g^{(-)} \left(g(\mu_{A_0}(x_0)) + \dots + g(\mu_{A_n}(x_n)) \right) \mid v^r(x) = 0 \right\}$$

Учитывая монотонность аддитивного генератора, предыдущую формулу можно переписать следующим образом:

$$\mu_{IRR(A)}(r) = \inf \left\{ \sum_{i=0}^n g(\mu_{A_i}(x_i)) \mid v^r(x) = 0 \right\}. \quad (16)$$

Далее будем предполагать, что все платежи являются треугольными нечеткими числами, и воспользуемся введенными ранее обозначениями.

Если $v^r(a^L) \leq 0$ и $v^r(a) \geq 0$, нетрудно показать, что минимальное значение (6.16) достигается при таком x , для которого $x_i \in [a_i^L; a_i]$, $i = 0, 1, \dots, n$.

Положим:

$$\alpha_i = \mu_{A_i}(x_i), d_i = a_i - a_i^L \text{ и } k_i = \frac{d_i}{(1+r)^i}.$$

Тогда $x_i = a_i^L + \alpha_i d_i$ и условие $v^r(x) = 0$ принимает следующий вид:

$$v^r(a^L) + \sum_{i=0}^n k_i \alpha_i = 0. \quad (17)$$

Будем считать, что аддитивный генератор g является выпуклой функцией. В этом случае вычисление $\mu_{IRR(A)}(r)$ сводится к задаче выпуклого программирования:

найти $\min \sum_{i=0}^n g(\alpha_i)$ при выполнении (17) и ограничениях:

$$0 \leq \alpha_i \leq 1, i = 0, 1, \dots, n. \quad (18)$$

В общем случае эта оптимизационная задача может быть решена с использованием численных методов.

Пример 3. Найдем функцию принадлежности внутренней нормы доходности $\mu(r)$ денежного потока из примера 1 относительно t -нормы $T(\alpha, \beta) = \alpha\beta$.

Если $v^r(a^L)$ и $v^r(a^R)$ одного знака, то $\mu(r) = 0$. Вычислим значение функции принадлежности для тех значений r , для которых:

$$v^r(a^L) \leq 0, v^r(a) \geq 0. \quad (19)$$

В этом случае оптимизационная задача (18) для заданного значения r приобретает следующий вид:

$$\begin{aligned} -\ln \alpha_0 - \ln \alpha_1 - \ln \alpha_2 &\rightarrow \min; \\ k_0 \alpha_0 + k_1 \alpha_1 + k_2 \alpha_2 &= V(r); \\ 0 \leq \alpha_0, \alpha_1, \alpha_2 &\leq 1, \end{aligned}$$

где

$$k_0 = 10; k_1 = \frac{30}{1+r}; k_2 = \frac{50}{(1+r)^2}; V = -1010 + \frac{670}{1+r} + \frac{750}{(1+r)^2}.$$

Применяя теорему Куна–Таккера, приходим к системе уравнений:

$$-\frac{1}{\alpha_i} - \lambda_i + \lambda k_i = 0; \lambda_i(1 - \alpha_i) = 0; \lambda \geq 0; \sum_{i=0}^n k_i \alpha_i = V.$$

Условия (19) выполняются при значениях r , лежащих в промежутке от $r_1 = 25,50\%$ до $r_2 = 31,05\%$. В этом промежутке $k_0 < k_1 < k_2$. Промежуток $[r_1; r_2]$ разбивается точками $r_3 = 28,11\%$ и $r_4 = 30,48\%$ на три промежутка. На этих промежутках $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ и $\mu(r)$ определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{если } r_1 \leq r \leq r_3, \text{ то } \alpha_i &= \frac{|V|}{3k_i}, i = 0,1,2, \text{ и } \mu(r) = \frac{|V|^3}{27k_0k_1k_2}; \\ \text{если } r_3 \leq r \leq r_4, \text{ то } \alpha_0 &= 1, \alpha_i = \frac{|V|-k_0}{2k_i}, i = 1,2, \text{ и } \mu(r) = \frac{(|V|-k_0)^2}{2k_1k_2}; \\ \text{если } r_4 \leq r \leq r_2, \text{ то } \alpha_0 &= 1, \alpha_1 = 1, \alpha_2 = \frac{|V|-k_0-k_1}{k_2} \text{ и } \mu(r) = \frac{|V|-k_0-k_1}{k_2}. \end{aligned}$$

Аналогичным образом $\mu(r)$ вычисляется для тех значений r , для которых $v^r(\mathbf{a}) \leq 0$, $v^r(\mathbf{a}^R) \geq 0$. График функции принадлежности $\mu(r)$ приведен на рис. 3.

Рассмотрим случай, когда нечеткие платежи представлены треугольными нечеткими числами, причем определены на своих временных горизонтах с одной и той же относительной погрешностью, которая меняется вместе со ставкой приведения.

Более точно, пусть $A_i = (a_i - d_i; a_i; a_i + d_i)$, $i = 0,1, \dots, n$, при этом $d_i = d(1+r)^i$. Тогда в предыдущих обозначениях $k_i = d$ для

всех $i = 0, 1, \dots, n$. Решение оптимизационной задачи (16) при условии (17) получается, когда:

$$\alpha_0 = \alpha_1 = \dots = \alpha_n = \frac{|v^r(\mathbf{a}^L)|}{(n+1)d}.$$

При этом:

$$\mu_{IRR(A)}(r) = g^{(-)}\left((n+1)g\left(\frac{|v^r(\mathbf{a}^L)|}{(n+1)d}\right)\right). \quad (20)$$

Аналогично, если $v^r(\mathbf{a}) \leq 0$, $v^r(\mathbf{a}^R) \geq 0$, то:

$$\mu_{IRR(A)}(r) = g^{(-)}\left((n+1)g\left(\frac{v^r(\mathbf{a}^R)}{(n+1)d}\right)\right). \quad (21)$$

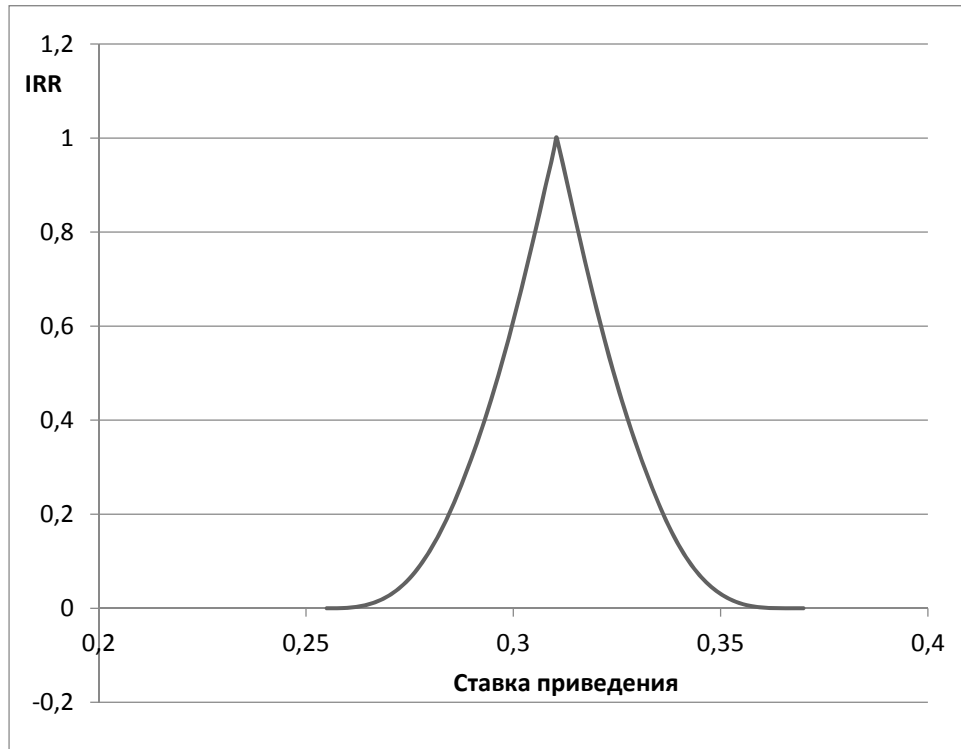


Рис. 3. Функция принадлежности IRR относительно t-нормы $T(\alpha, \beta) = \alpha\beta$

Формулы (20) и (21) справедливы, в частности, для генераторов семейства Франка $g_s(\alpha)$.

4.3. Суммирование нечетко определенных платежей с учетом зависимости

В разделе изучаются ситуации, когда вычисление чистого дисконтированного дохода (NPV) денежного потока с нечеткими платежами с учетом их взаимозависимости не приводит к росту неопределенности. Одновременно формулируются условия, при которых отношение нестрогого предпочтения транзитивно относительно композиции, заданной с помощью t -нормы.

Рассмотрим ситуацию, когда на множестве нечетких денежных величин, отнесенных к одному моменту времени, задана функция полезности, которая нечеткой денежной величины A сопоставляет число $u(A)$ значение полезности. Мы предполагаем, что $\mu_A(u(A)) = 1$ (считая тем самым, что полезность нечеткой денежной величины является в определенном смысле ее приближенным значением).

Введем нечеткое отношение предпочтения $\succ$, определяя интенсивность отношения $A \succ B$ формулой:

$$\langle A \succ B \rangle = P(u(A) > u(B) + \varepsilon_{AB}).$$

где ε_{AB} – неотрицательная случайная величина (порог различения).

Платежи A и B связаны нечетким отношением безразличия $\sim$, интенсивность которого определяется по формуле:

$$\langle A \sim B \rangle = P(|u(A) - u(B)| \leq \varepsilon_{AB}). \quad (22)$$

Будем говорить, что отношение безразличия транзитивно, если:

$$\begin{aligned} P(|u(A) - u(B)| \leq \varepsilon_{AB}, |u(B) - u(C)| \leq \varepsilon_{BC}) \\ \leq P(|u(A) - u(C)| \leq \varepsilon_{AC}) \end{aligned}$$

Мы считаем, что все пороги различения ε_{AB} одинаково и непрерывно распределены. Пусть $F(x)$ – функция распределения. Мы предполагаем также, что пороги различения ε_{AB} и ε_{BC} имеют одинаковые совместные распределения независимо от A , B и C . Пусть $H(x, y)$ – копула, описывающая совместное распределение ε_{AB} и ε_{BC} .

Формулу (22) можно теперь переписать следующим образом:

$$\langle A \sim B \rangle = 1 - F(|u(A) - u(B)|). \quad (23)$$

Запишем условие транзитивности отношения $\sim$, используя копулу доживания $G(x, y)$, ассоциированную с копулой $H(x, y)$:

$$\begin{aligned} G(1 - F(|u(A) - u(B)|), 1 - F(|u(B) - u(C)|)) &\leq \\ &\leq 1 - F(|u(A) - u(C)|) \end{aligned} \quad (24)$$

Функция $G(x, y)$ не убывает по обоим аргументам, при этом $G(x, 1) = x$ и $G(1, y) = y$. Если $u(C)$ находится между $u(A)$ и $u(B)$, условие (24) выполняется автоматически. Предположим для определенности, что:

$$u(C) \leq u(B) \leq u(A)$$

и положим $s = u(A) - u(B)$, $t = u(B) - u(C)$.

Далее, пусть $q(x) = 1 - F(x)$. Тогда формулу (24) можно записать следующим образом:

$$G(q(s), q(t)) \leq q(s + t). \quad (25)$$

Далее мы будем предполагать, что копула $G(x, y)$ является непрерывной архимедовой t -нормой. Это означает, что $G(x, y)$ порождается с помощью аддитивного генератора (1):

$$G(x, y) = g^{(-)}(g(x) + g(y)). \quad (26)$$

Применим представление (26) к левой части неравенства (25):

$$g^{(-)}(g(q(s)) + g(q(t))) \leq q(s + t).$$

Теперь применим функцию g к обеим частям полученного неравенства. Получаем:

$$g(q(s)) + g(q(t)) \geq g(q(s + t)). \quad (27)$$

Свойство функции $h(s) = g(q(s))$, выраженное неравенством (27), называют субаддитивностью. Легко видеть, что $h(0) = 0$. Без

потери общности можно считать, что функция $h(s)$ определена на положительной полуоси. Вогнутость функции $h(s)$ является достаточным условием ее субаддитивности.

Подытожим предыдущие рассуждения в следующей теореме.

Теорема 2. Если функция $h(s) = g(q(s))$ субаддитивна, отношение безразличия транзитивно.

Замечание. Результат, содержащийся в предыдущей теореме, был опубликован в работах [19] и [20]. В случае, когда функция $g(x)$ является квазиобратной для функции $q(s)$, результат был получен в [35]. Результат теоремы 2 был использован в ряде более поздних работ, см. [8]. Определение отношения предпочтения и отношения безразличия с использованием случайных величин служит лишь для мотивировки. Она применима в случае, когда нечеткое отношение безразличия определяется формулой (23), а композиция отношений выполняется с использованием t-нормы.

Рассмотрим теперь, как суммируются нечеткие платежи. В соответствии с (23) с нечетким платежом A ассоциируется нечеткая величина с функцией принадлежности:

$$\mu_A(x) = 1 - F(|x - u(A)|), \quad (28)$$

или, что то же:

$$\mu_A(x) = q(|x - u(A)|).$$

По принципу обобщения сумма нечетких величин A и B определяется формулой:

$$\mu_{A+B}(z) = \sup\{G(\mu_A(x), \mu_B(y)) | x + y = z\}.$$

В теории нечетких множеств величина $\mu_{A+B}(z)$ трактуется как оценка возможности того, что значение суммы нечетких величин A и B окажется равным z .

Теорема 3. Если функция $h(s) = g(q(s))$ субаддитивна, то:

$$\mu_{A+B}(z) = q(|z - (u(A) + u(B))|). \quad (29)$$

Смысл теоремы 3 в том, что при выполнении ее условий суммирование нечетких платежей не приводит к росту неопределенности: сумма нечетких платежей с точностью до сдвига вдоль оси имеет такую же функцию принадлежности, что и слагаемые. Теорема 3 допускает очевидное усиление, которое понадобится нам для дальнейшего.

Теорема 3'. Пусть функция $h(s) = g(q(s))$ субаддитивна, функция принадлежности величины A задается формулой (6.28), а функция принадлежности нечеткой величины B такова, что $\mu_B(x) \leq q(|x - u(B)|)$ для всех x и $\mu_B(u(B)) = 1$. Тогда справедливо (29).

Рассмотрим теперь поток платежей $(A_0, A_1, \dots, A_n)$, в котором нечеткий платеж A_k отнесен к моменту времени $t = k$. Чистый приведенный доход относительно ставки приведения r задается формулой:

$$NPV = A_0 + \frac{A_1}{1+r} + \dots + \frac{A_n}{(1+r)^n}. \quad (30)$$

Суммирование нечетких величин в (30) выполняется относительно t -нормы G .

Рассмотрим более подробно нечеткость отдельных слагаемых в (30). Предположим, что нечеткость платежей A_k задается функцией принадлежности вида (28), в которой распределение $F(x)$ берется из параметрического семейства распределений $F_\alpha(x)$, монотонно зависящих от параметра. Для определенности будем считать, что если $\alpha_1 \leq \alpha_2$, то $F_{\alpha_1}(x) \geq F_{\alpha_2}(x)$ при всех x . Соответственно $q_{\alpha_1}(x) \leq q_{\alpha_2}(x)$, где $q_\alpha(s) = 1 - F_\alpha(x)$. Параметр α служит в определенной мере показателем нечеткости на соответствующем временном горизонте.

Предположим, что функция принадлежности $\mu(x)$ нечеткого платежа A_k имеет вид (28), т.е. $\mu_k(x) = q_{\alpha(k)}(|x - u(A_k)|)$ для некоторого $\alpha(k)$. Тогда функция принадлежности $\mu'(x)$ дисконтированного платежа $\frac{A_k}{(1+r)^k}$ в соответствии с принципом обобщения вычисляется следующим образом:

$$\mu'(x) = \mu((1+r)^k x) = q_{\alpha(k)}\left((1+r)^k \left|x - \frac{u(A_k)}{(1+r)^k}\right|\right).$$

Будем говорить, что нечеткость платежей согласована с дисконтированием, если для каждого k имеется такое значение параметра $\alpha'(k)$, что:

$$q_{\alpha(k)}((1+r)^k s) = q_{\alpha'(k)}(s)$$

для всех $s \geq 0$.

Предположим, что это так для потока платежей $A_0, A_1, \dots, A_n$. Положим:

$$\alpha = \max\{\alpha'(k) | k = 1, \dots, n\}.$$

В случае, когда функция $g(q_\alpha(s))$ субаддитивна, чистый приведенный доход, вычисленный по формуле (9), представляет собой нечеткую величину с функцией принадлежности:

$$\mu_{NPV}(x) = q_\alpha(|x - u(NPV)|), \quad (31)$$

где

$$u(NPV) = u(A_0) + \frac{u(A_1)}{1+r} + \dots + \frac{u(A_n)}{(1+r)^n} -$$

чистый приведенный доход, вычисленный для приближенных значений платежей.

Пример 4. Рассмотрим параметрическое семейство функций распределения $F_\lambda(x) = 1 - e^{-\lambda x}$, $\lambda > 0$. Здесь $F_{\lambda_1}(x) \geq F_{\lambda_2}(x)$, если $\lambda_1 \geq \lambda_2$. Легко видеть, что $F_\lambda((1+r)^k x) = F_{\lambda'}(x)$ для $\lambda' = (1+r)^k \lambda$. Значит, нечеткость платежей A_k , заданная набором функций распределения $F_{\lambda(k)}$, $k = 0, 1, \dots, n$, будет согласована с дисконтированием. Пусть $G(x, y) = \max(x + y - 1, 0)$ – t-норма, порожденная аддитивным генератором $g(x) = 1 - x$. Имеем $g(q_\lambda(x)) = 1 - e^{-\lambda x}$. Легко непосредственно проверить, что функция $h(x) = 1 - e^{-\lambda x}$ субаддитивна при любом λ . Таким образом, выполняются все условия, при которых применима формула (10). Имеем:

$$\mu_{NPV}(x) = 1 - \exp(-\lambda |x - u(NPV)|),$$

где $\lambda = \min\{(1+r)^k \lambda(k) | k = 0, 1, \dots, n\}$.

В заключение приведем результаты исследования субаддитивности функций $h(x) = g(1 - F(x))$, полученных в результате ком-

бинирования функций распределения $F(x)$ и аддитивных генераторов $g(x)$.

Для удобства рассмотренные семейства распределений перенумерованы.

(F1) Равномерное распределение на промежутке $[0, \alpha]$: $F(x) = x/\alpha$ при $0 \leq x \leq \alpha$ и $F(x) = 1$ при $x \geq \alpha$, $\alpha > 0$.

(F2) Симметричное треугольное распределение на промежутке $[0, \alpha]$: $F(x) = 2x^2/\alpha^2$ при $0 \leq x \leq \alpha/2$, $F(x) = 1 - 2(x - \alpha)^2/\alpha^2$ при $\alpha/2 \leq x \leq \alpha$ и $F(x) = 1$ при $x \geq \alpha$, $\alpha > 0$.

(F3) Гамма распределение с функцией плотности $f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \lambda^\alpha x^{\alpha-1} e^{-\lambda x}$, $\alpha > 0$, $\lambda > 0$.

(F4) Бета распределение с функцией плотности $f(x) = \frac{1}{B(r,s)} x^{r-1} (1-x)^{s-1}$ на промежутке от нуля до единицы и нулевой плотностью за пределами этого промежутка, $r > 0$, $s > 0$.

(F5) Распределение Вейбула $F(x) = 1 - e^{-\lambda x^\alpha}$, $\alpha > 0$, $\lambda > 0$.

Рассматриваются семейства t-норм, порожденные следующими аддитивными генераторами:

$$\begin{aligned} (g1) \quad g(x) &= (1-x)^a, \quad a > 0; \\ (g2) \quad g(x) &= x^{-a} - 1, \quad a > 0; \\ (g3) \quad g(x) &= 1 - x^a, \quad a > 0; \\ (g4) \quad g(x) &= \log_a(x + (1-x)a), \quad a > 0, \quad a \neq 1; \\ (g5) \quad g(x) &= \ln\left(1 - a + \frac{a}{x}\right), \quad a > 0; \\ (g6) \quad g(x) &= \left| \log_a \frac{a-1}{a^x-1} \right|, \quad a > 0, \quad a \neq 1. \end{aligned}$$

Приведем теперь полученные результаты.

1. Если $q(x) = 1 - F(x)$ имеет ограниченный носитель, $g(0) = +\infty$ и $g(x) < +\infty$ при $x > 0$, то $h(x)$ не субаддитивна.

2. Для $g(x) = (1-x)^a$ результаты приведены в таблице 1.

3. Субаддитивность функции $h(x)$ установлена в следующих случаях:

- 1) (F1) в комбинации с (g3) при $a \geq 1$ и (g4) при $a > 1$;
- 2) (F3), $\alpha = 1$, в комбинации с (g3) при $a > 0$, (g4) при $a > 0$, $a \neq 1$, (g5) при $a \geq 1$, (g6) при $a > 1$.

4. (F5) при $\alpha = 1$ в комбинации с перечисленными генераторами приводит к нарушению субаддитивности при всех значениях параметров.

Таблица 1

Полученные результаты

Субаддитивность	F1	F2	F3	F4	F5
да	$a \leq 1$	$a \leq 1/2$	$a \leq 1/\alpha$	$ar \leq 1,$ $a(r + s) \geq 2,$ $r + s \geq 2$	$a \leq 1/\alpha$
нет	$a > 1$	$a > 1/2$	$a > 1/\alpha$	$a > 1/r$	$a > 1/\alpha$

Семейство (F1) дает треугольные нечеткие числа. При их сложении относительно t-норм (g1) при $a \leq 1$, (g3) при $a \geq 1$ или (g4) при $a > 1$ показатель неопределенности суммы будет равен максимальному из показателей неопределенности α для слагаемых. Этим t-нормам соответствует антиперсистентное взаимодействие платежей, т.е. отклонение одного из платежей от наиболее вероятного значения делает более вероятными отклонения в противоположную сторону других платежей. Ясно, что при этом итоговая сумма будет близка к сумме наиболее вероятных значений. Сформулированные выше условия придают этому рассуждению точный смысл.

В случаях, когда функция h субаддитивна, неопределенность прогнозного значения NPV, соответствует неопределенности худшего прогнозного значения отдельных платежей.

4.4. Цена информации в задачах оценки инвестиционных проектов с нечетко определенными денежными потоками

Естественно предполагать, что снижение неопределенности исходных данных приводит к более точным результатам. В этом разделе предложен подход к определению цены информации, приводящей к снижению неопределенности, в моделях, основанных на теории нечетких множеств. В общем виде подход может быть описан следующим образом. Пусть имеется процедура F , которая по нечетким входным данным X выдает финансовый результат $Y = F(X)$. Обозначим через $U(X)$ неопределенность, связанную с исходными данными. Предположим, что за счет получения дополнительной информации исходные данные были уточнены и трансформировались в X' . Объем полученной информации I измеряется уменьшением неопределенности. Стоимость этой информации можно оценить приращением ре-

зультата $\Delta Y = F(X') - F(X)$. Цена информации в этом случае составляет $\Delta Y/I$.

Ниже рассматривается ситуация, когда процедура F связана с принятием решения об участии в инвестиционном проекте.

4.4.1. Мера неопределенности нечетких величин

Для оценки неопределенности нечетких величин используются различные меры [28]. Наиболее употребительными являются следующие меры, по существу однозначно определяемые естественными требованиями.

1. Мера Хартли:

$$H(A) = K \int_0^1 \ln[1 + \text{mes}(A^\alpha)] d\alpha,$$

где $\text{mes}(A^\alpha)$ – мера (длина) уровневого множества A^α , а K – некоторая положительная константа.

2. Мера нечеткости (расстояние до ближайшего четкого множества):

$$\rho(A) = \text{mes}(\text{supp}(A)) - \int_{\text{supp}(A)} |2\mu_A(x) - 1| dx.$$

3. Энтропийная неопределенность (по Больцману):

$$B(A) = -K \int_{-\infty}^{+\infty} \mu_A(x) \ln \mu_A(x) dx.$$

Параллельно с мерой $B(A)$ используется также близкая к ней мера:

$$S(A) = -K \int_{-\infty}^{+\infty} (\mu_A(x) \ln \mu_A(x) + (1 - \mu_A(x)) \ln(1 - \mu_A(x))) dx.$$

Для треугольного нечеткого числа вида $A = (a - d; a; a + d)$ имеем:

$$\begin{aligned} H(A) &= \frac{1 + 2d}{2d} \ln(1 + 2d) - 1; \\ \rho(A) &= d, B(A) = 0,5d; S(A) = d. \end{aligned}$$

Каждая из приведенных мер измеряет свою специфическую неопределенность. Мера Хартли $H(A)$ измеряет «недоопределенность»

величины A . Энтропийные меры $B(A)$ и $S(A)$ измеряют размытость границы между возможными и невозможными значениями величины A . Например, интервальная величина (функция принадлежности равна единице на интервале возможных значений и нулю вне него) имеет нулевую энтропийную меру.

В случае, когда неопределенность возникает при определении денежной суммы, имеет смысл оценивать относительную неопределенность. В формуле $\frac{\Delta y}{I}$, определяющей цену информации, величина I не должна зависеть от масштаба.

Покажем, как можно модифицировать меру Хартли, чтобы обеспечить независимость I от масштаба. Выберем некоторую эталонную нечеткую величину C , неопределенность которой примем за единицу измерения. Рассмотрим нечеткую величину A , носитель которой не содержит нуля. Пусть a – число такое, что $\mu_A(a) = 1$ (если срез A^1 содержит более одной точки, в качестве a можно взять середину среза). Обозначим через A' нечеткую величину с функцией принадлежности $\mu_{A'}(x) = \mu_A(ax)$ и положим:

$$H_m(A) = \frac{1}{\ln 2} \int_0^1 \left(1 + \frac{\text{mes}(A'^\alpha)}{\text{mes}(C^\alpha)} \right) d\alpha. \quad (32)$$

Если C – интервальная нечеткая величина и $\text{mes}(C^\alpha) = 1$ для всех $\alpha > 0$ (например, величина C имеет в качестве носителя промежуток $[0,5; 1,5]$ и ее функция принадлежности тождественно равна единице на носителе), то $H_m(A) = H(A')$. Таким образом, модификация меры Хартли, задаваемая формулой (32), может рассматриваться как обобщение меры Хартли, связанное с выбором эталонной нечеткой величины.

Пусть нечеткие величины A и C заданы уровнями множествами:

$$\begin{aligned} A^\alpha &= [a^L(\alpha), a^R(\alpha)]; \\ C^\alpha &= [c^L(\alpha), c^R(\alpha)]. \end{aligned}$$

Тогда формула (32) приобретает следующий вид:

$$H_m(A) = \frac{1}{\ln 2} \int_0^1 \left(1 + \frac{1}{a} \cdot \frac{a^R(\alpha) - a^L(\alpha)}{c^R(\alpha) - c^L(\alpha)} \right) d\alpha.$$

По существу $H_m(A)$ измеряет неопределенность величины A , когда отклонение ее значений от основного значения измеряется в процентах. В дальнейшем мы будем использовать в качестве эталонной единицы треугольную нечеткую величину, соответствующую относительной погрешности в 1%:

$$C = (0,99; 1; 1,01).$$

Полагая $K = \frac{1}{\ln 2}$, получаем $H_m(C) = 1$. Для:

$$A = ((1 - p)a; a; a(1 + p)a)$$

Имеем:

$$\begin{aligned} H_m(A) &= \frac{1}{\ln 2} \int_0^1 \ln \left(1 + \frac{2p(1 - \alpha)}{2 \cdot 0,01 \cdot (1 - \alpha)} \right) d\alpha = \\ &= \log_2(1 + 100p). \end{aligned} \quad (33)$$

Ограничение, связанное с тем, чтобы носитель величины A не содержал нуля, является несущественным для многих практических задач. Как правило, исходные денежные величины имеют вполне определенный знак, а величины, близкие к нулю, получаются в процессе вычислений. Таким образом, если оценивать неопределенность исходных величин, требование их знакоопределенности не является ограничительным. Для измерения неопределенности величин, близких к нулю, введем дополнительную эталонную величину C_0 (нечетко определенный ноль) и будем измерять неопределенность таких величин формулой, подобной формуле (32):

$$H_m(A) = \frac{1}{\ln 2} \int_0^1 \left(1 + \frac{mes(A^\alpha)}{mes(C_0^\alpha)} \right) d\alpha. \quad (34)$$

Заметим, что выбор C_0 зависит от используемой денежной единицы и в некотором смысле задает масштаб. Например, в зависимости от решаемой задачи близость к нулю может оцениваться копейками, рублями или более крупными денежными единицами. В соответствии с этим должна выбираться эталонная величина C_0 .

В случае энтропийных мер неопределенности независимость от масштаба можно обеспечить, полагая $I = \log_2 \frac{U(X,A)}{U(X',A')}$.

Будем говорить, что нечеткая величина A' является уточнением нечеткой величины A , если для всех срезов:

$$A^\alpha = [a^L(\alpha), a^R(\alpha)], A'^\alpha = [a'^L(\alpha), a'^R(\alpha)]$$

выполняются соотношения:

$$a^L(\alpha) \leq a'^L(\alpha) \leq a'^R(\alpha) \leq a^R(\alpha).$$

4.4.2. Цена информации при выборе инвестиционного проекта с нечетко определенными платежами по критерию чистого приведенного дохода

Будем называть проект с нечеткими платежами:

$$CF = (A_0, A_1, \dots, A_n) \quad (35)$$

эффективным, если необходимость выполнения условия $NPV > 0$ превосходит некоторое пороговое значение h , определяемое отношением к риску. Более формально: проект эффективен, если:

$$Nec(NPV > 0) \geq h. \quad (36)$$

Рассмотрим проект, который неэффективен по критерию (36). После уточнения исходных нечетких величин поток платежей (35), характеризующий проект, может быть заменен потоком платежей:

$$CF' = (A'_0, A'_1, \dots, A'_n). \quad (37)$$

Если чистый приведенный доход, соответствующий (37), удовлетворяет критерию (36), проект будет принят и принесет доход, равный:

$$NPV' = NPV(CF').$$

Можно считать, что величина дохода соответствует стоимости полученной информации I . Ценой информации естественно считать

минимальное значение отношения NPV'/I , где минимизация проводится по уточнениям, приводящим к принятию проекта.

Поясним существо предложенного подхода на примере.

Пример 5. Проект длится два года. Начальные инвестиции составляют примерно 1000 денежных единиц. Отдача по годам составляет примерно 600 единиц за первый год и примерно 700 – за второй. Для вычисления чистого приведенного дохода используется ставка 15%. В качестве порога значимости примем величину 0,8 (пренебрегая сценариями, возможность которых оценивается ниже, чем 20%).

Если, считать, что значения денежных величин определены точно, то чистый приведенный доход равен 51,04 и проект принимается. Предположим теперь, что неопределенность планируемых показателей представлена треугольными нечеткими числами (для упрощения вычислений мы считаем их симметричными):

$$A_0 = (-1025; -1000; -975); \\ A_1 = (550; 600; 650); A_2 = (600; 700; 800).$$

Чистый приведенный доход V в этом случае также оказывается нечеткой величиной:

$$V = (-93,05; 51,04; 195,13).$$

Так как $m_V(0) = 0,65$, то $Nec(V > 0) = 0,35$, и, значит, условие принятия проекта не выполняется.

Вычислим неопределенность, связанную с потоком платежей $CF = (A_0, A_1, A_2)$. Сначала, используя модифицированную меру Хартли, находим неопределенность отдельных платежей. В соответствии с формулой (33) имеем:

$$H_m(A_0) = \log_2(1 + 100p),$$

где $p = 0,025$. Следовательно,

$$H_m(A_0) = \log_2 3,5.$$

Аналогично,

$$H_m(A_1) = \log_2 9,33, H_m(A_2) = \log_2 15,29.$$

Таким образом,

$$U(CF) = 8,96.$$

Найдем теперь, при каких уточнениях, проект можно принять.
Пусть:

$$\begin{aligned} A'_0 &= tfn(-(1 + p_0) \cdot 1000; -1000; -(1 - p_0) \cdot 1000); \\ A'_1 &= tfn((1 - p_1) \cdot 600; 600; (1 + p_1) \cdot 600); \\ A'_2 &= tfn((1 - p_2) \cdot 700; 700; (1 + p_1) \cdot 700). \end{aligned}$$

где

$$0 < p_i < 1, i = 0, 1, 2, \quad (38)$$

уточнения исходных величин.

Чистый приведенный доход денежного потока:

$$CF' = (A'_0, A'_1, A'_2)$$

представляет собой треугольное нечеткое число V' вида:

$$V' = (v^L; 51,04; v^R),$$

где

$$\begin{aligned} v^L &= -(1 + p_0) \cdot 1000 + \frac{(1 - p_1) \cdot 600}{1,15} + \frac{(1 - p_2) \cdot 700}{1,15^2}; \\ v^R &= -(1 - p_0) \cdot 1000 + \frac{(1 + p_1) \cdot 600}{1,15} + \frac{(1 + p_2) \cdot 700}{1,15^2}. \end{aligned}$$

Условие $Nec(V' > 0) \geq h$ означает, что:

$$1 - \mu_{V'}(0) \geq h. \quad (39)$$

Оно, очевидно, выполняется, если $v^L \geq 0$. Если же $v^L < 0$, то:

$$\mu_{V'}(0) = \frac{-v^L}{51,04 - v^L}.$$

Подставляя $\mu_{v'}(0)$ в (39) при $h = 0,8$, находим $v^L \geq -12,76$.

Значения p_0, p_1, p_2 , при которых относительно проекта с денежным потоком CF' будет принято положительное решение, определяются неравенством:

$$-(1 + p_0) \cdot 1000 + \frac{(1 - p_1) \cdot 600}{1,15} + \frac{(1 - p_2) \cdot 700}{1,15^2} \geq -12,76. \quad (40)$$

Вычислим теперь неопределенность нечетких платежей уточненного потока CF' :

$$H_m(A'_i) = \log_2(1 + 100p_i), i = 0, 1, 2.$$

$$U(CF') = \sum_{i=0}^2 \log_2(1 + 100p_i).$$

Объем информации, необходимый для уточнения составляет величину:

$$I = 8,96 - U(CF').$$

Задача минимизации I сводится к задаче максимизации произведения:

$$(1 + 100p_0)(1 + 100p_1)(1 + 100p_2)$$

при выполнении условия (38) и (40). Искомый максимум достигается при:

$$p_0 = 1,81\%, p_1 = 4,39\%, p_2 = 4,31\%.$$

Соответственно $U(CF') = 6,33$. Теперь находим объем информации, сокративший неопределенность с 8,96 до 6,33:

$$I = 2,63.$$

Эта дополнительная информация позволила получить доход, представленный нечетким числом:

$$V' = (-12,76; 51,04; 114,84).$$

Таким образом, нечеткая цена информации представляется нечетким числом:

$$Z = (-4,84; 19,37; 43,58).$$

Дефазификация дает значение цены 19,37.

Выведем общую формулу для определения цены информации, связанной с решением о выборе инвестиционного проекта.

Рассмотрим типичный инвестиционный проект, который задан потоком нечетких платежей:

$$CF = (A_0, A_1, \dots, A_n). \quad (41)$$

Каждый платеж A_i , $i = 0, 1, 2, \dots, n$, представляется нечетким числом вида:

$$A_i = (a_i^L; a_i; a_i^R),$$

где

$$a_0 < 0, a_i \geq 0 \text{ при } i = 1, 2, \dots, n;$$

$$a_0^L = (1 + p_0)a_0, a_i^L = (1 - p_i)a_i \text{ при } i = 1, 2, \dots, n; \quad (42)$$

$$a_0^R = (1 - p_0)a_0, a_i^R = (1 + p_i)a_i \text{ при } i = 1, 2, \dots, n; \quad (43)$$

$$0 \leq p_i \leq 1 \text{ при } i = 0, 1, 2, \dots, n.$$

Неопределенность, связанная с денежным потоком (41) вычисляется следующим образом:

$$U(CF) = \sum_{i=0}^n \log_2(1 + 100p_i). \quad (44)$$

Чистый приведенный доход вычисляется относительно ставки дисконтирования r и представляется нечетким числом:

$$NPV(CF) = \sum_{i=0}^n \frac{A_i}{(1+r)^i}.$$

Для $\mathbf{x} = (x_i)_{i=0}^n \in \mathbf{R}^{n+1}$ положим:

$$v(\mathbf{x}) = \sum_{i=0}^n \frac{x_i}{(1+r)^i}.$$

Тогда:

$$NPV(CF) = (v(\mathbf{a}^L), v(\mathbf{a}), v(\mathbf{a}^R)),$$

где

$$\mathbf{a}^L = (a_i^L)_{i=0}^n, \mathbf{a}^L = (a_i)_{i=0}^n, \mathbf{a}^R = (a_i^R)_{i=0}^n$$

Если $v(\mathbf{a}) \leq 0$, то $Nec(VPV > 0) = 0$, и проект отвергается. Если $v(\mathbf{a}^L) \geq 0$, то $Nec(VPV > 0) = 1$, и проект принимается, несмотря на имеющуюся неопределенность. Если $v(\mathbf{a}^L) < 0 < v(\mathbf{a})$, Условие выбора проекта – $Nec(NPV > 0) \geq h$, где h – заданный пороговый уровень. Рассмотрим случай, когда это условие не выполняется, и проект с денежным потоком CF отвергается. Пусть:

$$CF' = (A'_0, A'_1, \dots, A'_n) —$$

уточнение проекта CF . Каждый платеж A'_i является уточнением платежа A_i и имеет вид, определяемый формулами (42) и (43):

$$a_0'^L = (1 + p'_0)a_0, a_i'^L = (1 - p'_i)a_i \text{ при } i = 1, 2, \dots, n; \quad (45)$$

$$a_0'^R = (1 - p'_0)a_0, a_i'^R = (1 + p'_i)a_i \text{ при } i = 1, 2, \dots, n. \quad (46)$$

Имеем:

$$Nec(NPV' > 0) = 1 - \mu_{NPV'}(0) = 1 - \frac{-v(\mathbf{a}'^L)}{v(\mathbf{a}) - v(\mathbf{a}'^L)} = \frac{v(\mathbf{a})}{v(\mathbf{a}) - v(\mathbf{a}'^L)}.$$

Условие выбора проекта приобретает следующий вид:

$$\frac{v(\mathbf{a})}{v(\mathbf{a}) - v(\mathbf{a}'^L)} \geq h. \quad (47)$$

Положим $v = v(\mathbf{a})$. Неравенство (47) равносильно неравенству:

$$v(\mathbf{a}'^L) \geq \left(1 - \frac{1}{h}\right) v. \quad (48)$$

Найдем значения коэффициентов $p'_0, p'_1, \dots, p'_n$, которые обеспечивают выполнение условия (48) и минимизируют объем информации:

$$I = U(CF) - U(CF').$$

Поскольку $U(CF') = \sum_{i=0}^n \log_2(1 + 100p'_i)$, эта задача равносильна задаче нахождения максимума произведения:

$$y = \prod_{i=0}^n (1 + 100p'_i) \quad (49)$$

при выполнении условия (48).

Запишем более подробно левую часть неравенства (48):

$$\begin{aligned} v(\mathbf{a}'^L) &= \sum_{i=0}^n \frac{a_i'^L}{(1+r)^i} = \sum_{i=0}^n \frac{a_i}{(1+r)^i} + p'_0 a_0 - \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{(1+r)^i} p'_i = \\ &= v + p'_0 a_0 - \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{(1+r)^i} p'_i. \end{aligned}$$

Положим для краткости:

$$\begin{aligned} x_i &= 100p'_i, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n; \\ c_0 &= -\frac{a_0}{100}, \quad c_i = \frac{a_i}{100(1+r)^i}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \end{aligned}$$

Приходим к следующей задаче:

найти максимум произведения:

$$y = \prod_{i=0}^n (1 + x_i) \quad (50)$$

при выполнении условия:

$$\sum_{i=0}^n c_i x_i \leq \frac{1}{h} v.$$

Поскольку все коэффициенты c_i неотрицательны, максимум величины y достигается при выполнении равенства:

$$\sum_{i=0}^n c_i x_i = \frac{1}{h} v. \quad (51)$$

Используя функцию Лагранжа, получаем уравнения:

$$\frac{y}{1 + x_i} = \lambda c_i, i = 0, 1, \dots, n. \quad (52)$$

Отсюда:

$$c_i x_i = \frac{y}{\lambda} - c_i, i = 0, 1, \dots, n. \quad (53)$$

Заметим, что:

$$\sum_{i=0}^n c_i = -\frac{a_0}{100} + \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{(1+r)^i} = -\frac{2a_0}{100} + \frac{v}{100}.$$

Теперь, суммируя равенства (53), с учетом (51) получаем:

$$(n+1) \cdot \frac{y}{\lambda} + \frac{2a_0}{100} - \frac{v}{100} = \frac{1}{h} v.$$

Следовательно:

$$\frac{y}{\lambda} = \frac{\left(\frac{1}{h} + \frac{1}{100}\right)v - \frac{2a_0}{100}}{n+1}. \quad (54)$$

Положим:

$$w = \frac{\left(\frac{1}{h} + \frac{1}{100}\right)v - \frac{2a_0}{100}}{n+1}. \quad (55)$$

Теперь находим явные выражения для переменных x_i , $i = 1, 2, \dots, n$:

$$x_i = \frac{100w}{a_i/(1+r)^i} - 1. \quad (56)$$

Формула (56) применима и для $i = 0$, но в этом случае, a_0 в формуле (56) нужно заменить на $|a_0|$.

Чтобы найти y рассмотрим произведение равенств (52):

$$\frac{y^{n+1}}{y} = \lambda^{n+1} \cdot \prod_{i=0}^n c_i.$$

Значит:

$$y = \frac{w^{n+1}}{\prod_{i=0}^n c_i}. \quad (57)$$

Таким образом:

$$U(CF') = (n+1) \log_2 w - \sum_{i=0}^n \log_2 c_i. \quad (58)$$

Так как $U(CF) = \sum_{i=0}^n \log_2(1 + 100p_i)$, это позволяет получить значение величины I :

$$I = \log_2 \prod_{i=0}^n \frac{(0,01 + p_i) \cdot |a_i|}{w \cdot (1 + r)^i}. \quad (59)$$

Применим формулу (59) в случае, когда все платежи имеют одинаковую неопределенность, т.е. $p_i = p, i = 0, 1, \dots, n$. Получаем:

$$I = (n + 1) \log_2(0,01 + p) + \sum_{i=0}^n \log_2 \frac{|a_i|}{w \cdot (1 + r)^i}. \quad (60)$$

Формула (60) показывает, что с ростом неопределенности цена информации падает и, вообще говоря, обратно пропорциональна числу платежей.

В случае, когда суммирование проводится относительно t-норм, не приводящих к росту неопределенности, цена информации может существенно возрасти.

Пример 6. Пусть $CF = (A_0, A_1, A_2)$ – инвестиционный проект из примера 5, и ставка приведения равна 15%. Дисконтированные платежи составляют:

$$\begin{aligned} 1,15^{-1}A_1 &= (478,26; 521,74; 565,22); \\ 1,15^{-2}A_2 &= (453,69; 529,30; 604,91). \end{aligned}$$

Суммируя дисконтированные платежи относительно t-норм (g1) при $a \leq 1$, (g3) при $a \geq 1$ или (g4) при $a > 1$, мы получим в качестве чистого приведенного дохода треугольную нечеткую величину:

$$NPV = (-24,75; 51,04; 126,65).$$

Ее модальное значение равно сумме модальных значений слагаемых, а левая и правая границы носителя отстоят от модального значения на таком же расстоянии, как и в наиболее нечетком из трех слагаемых – нечеткой величине $1,15^{-2}A_2$ на 75,61.

Так как $Nec(NPV) = 0,675 < 0,8$, проект должен быть отвергнут. Проект с теми же модальными значениями был бы принят, если бы левая граница носителя была расположена правее числа $-12,76$ (см. пример 5). Уточненные нечеткие величины:

$$A'_i = (a_i'^L; a_i; a_i'^R), i = 0, 1, 2,$$

должны быть в этом случае таковы, что:

$$51,04 - 1,15^{-i}(a_i - a_i'^L) \geq -12,76 \quad (61)$$

для $i = 0, 1, 2$. При $i = 0, 1$ неравенство (61) выполняется и без уточнений. Дополнительная информация нужна лишь относительно величины A_2 . Таким образом, минимальное уточнение проекта должно передвинуть «пессимистическую» левую границу носителя A_2 в точку $a_2'^L = 615,62$. Необходимый для этого объем информации составляет:

$$I = \log_2 \frac{1 + 100p_2}{1 + 100p_2'},$$

где p_2 и p_2' определяются из уравнений:

$$(1 - p_2) \cdot 700 = 600 \text{ и } (1 - p_2') \cdot 700 = 615,62.$$

Следовательно, $I = 0,18$. Цена информации представляется нечетким числом:

$$NPV'/I = (-12,76; 51,04; 114,84)/0,18.$$

Дефазификация дает значение цены 283,56.

Заключение

В работе рассмотрен комплекс вопросов, связанных с оценкой и выбором инновационных проектов в условиях, когда денежные потоки определены нечетко. Основой исследования служит теория возможностей. В работе введены внутренней нормы доходности инвестиционного проекта с нечетким денежным потоком, цены информации, связанной с уменьшением неопределенности. Изучен вопрос о вычислении чистого приведенного дохода с учетом зависимости между компонентами денежного потока. Установлено, в каких случаях рост неопределенности будет замедлен по сравнению с традиционно используемыми сценарными подходами.

Список литературы

1. Баранов А.О., Музыка Е.И., Павлов В.Н. Нечетко-множественная оценка параметров эффективности инновационного проекта // Вестник Финансового университета. 2016. № 6 (96). С. 120–132.
2. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. М.: Дело, 2002. 888 с.
3. Волкова Е.С., Гусин В.Б. Оценка проектов с нечетко определенными денежными потоками // Экономические науки. 2013. № 101. С. 147–150.
4. Волкова Е.С., Гусин В.Б. Меры возможности и внутренняя норма доходности инвестиционных проектов с нечетко определенными платежами // Вестник Финансового университета. 2014. № 3 (81). С. 93–104.
5. Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов в условиях риска и неопределенности. М.: 2012 (интернет-версия). 158 с.
6. Anzilli L., Facchinetti G. A general fuzzy set representation for decision making // 2015 Conference of the International Fuzzy Systems Association and the European Society for Fuzzy Logic and Technology (IFSA-EUSFLAT-15). Atlantis Press, 2015. Pp. 857–864.
7. Bas E., Kahraman C. Fuzzy capital rationing model // Journal of Computational and Applied Mathematics. 2009. T. 224. №. 2. Pp. 628–645.
8. De Baets B., Mares M, Mesiar R. T-partitions of the real line generated by idempotent shapes // Fuzzy Sets and Systems. 1997. T. 91. № 2. Pp. 177–184.
9. Buckley J.J. The Fuzzy Mathematics of Finance // Fuzzy Sets and Systems. 1987. T. 21. Pp. 257–273.
10. Buckley J.J. Solving fuzzy equations in economics and finance // Fuzzy Sets Syst. 1992. T. 48. № 3. Pp. 289–296.
11. Buckley J.J., Eslami E., Feuring T.F. Fuzzy Mathematics in Economics and Engineering. Heidelberg; New York: Physica-Verlag, 2002. 272 p.
12. Carlsson C., Fuller R. Capital Budgeting Problems with Fuzzy Cash Flows // Mathware & Soft Computing. 1999. T. 6. Pp. 81–89.
13. Chen S.-H., Wang P.P. (Eds.) Computational Intelligence in Economics and Finance. Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 2002. 480 p.
14. Chiu C.Y., Park C.S. Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion // The Engineering Economist. 1994. T. 39. №. 2. Pp. 113–138.
15. Chiu C.Y., Park C.S. Capital budgeting decisions with fuzzy projects // The Engineering Economist. 1998. T. 43. №. 2. С. 125–150.

16. *Dong M.G., Li S.Y.* Project investment decision making with fuzzy information: A literature review of methodologies based on taxonomy // *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. 2016. Т. 30. №. 6. Pp. 3239–3252.
17. *Dubois D., H Prade H.* Possibility theory and its application: Where do we stand // *Mathware and Soft Computing*. 2011. Т. 18. № 1. Pp. 18–31.
18. *Dymowa L.* *Soft Computing in Economics and Finance*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. 296 p.
19. *Gisin V.B.* Fuzzy orderings of real numbers / In: *Towards a Unified Fuzzy Sets Theory, 2-d Joint IFSA-EC and Euro-WG Workshop on Fuzzy Sets*, Visegrad, Hungary. 1990. Pp. 39–40.
20. *Huang, X.* Chance-constrained programming models for capital budgeting with NPV as fuzzy parameters // *J. Comput. Appl. Math.* 2007. Т. 198. № 1. Pp. 149–159.
21. *Kahraman C., Ruan D., Tolga E.* Capital budgeting techniques using discounted fuzzy versus probabilistic cash flows // *Inf. Sci.* 2002. Т. 142. Pp. 57–76.
22. *Kahraman C., Beskese A., Ruan D.* Measuring flexibility of computer integrated manufacturing systems using fuzzy cash flow analysis // *Inf. Sci.* 2004. Т. 168. Pp. 77–94.
23. *Kahraman C., Gülbay M., Ulukan Z.* Applications of fuzzy capital budgeting techniques / In: *Kahraman, C. (ed.). Fuzzy Applications in Industrial Engineering*. 2006. Springer, Berlin. Pp. 177–203.
24. *Kahraman C., Öztaysi B., Onar S.C.* Annual cash flow analysis using hesitant fuzzy sets // *Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2015 IEEE International Conference on. IEEE*, 2015. Pp. 1–5.
25. *Kaspina R.G., Molotov L.A.* Fuzzy Forecasting of the Cash Flow Statement Based on Accounting Data // *Mediterranean Journal of Social Sciences*. 2014. Т. 5. №. 24. P. 237.
26. *Kaspina R.G., Molotov L.A., Kaspin L.E.* Cash flow forecasting as an element of integrated reporting: an empirical study // *Asian social science*. 2015. Т. 11. № 11. Pp. 89–94.
27. *Klir G.J.* *Uncertainty and Information: foundations of generalized information theory*. –Hoboken, New Jersey: Wiley Interscience, A John Wiley & Sons Inc., 2006.
28. *Kuchta D.* Fuzzy capital budgeting // *Fuzzy Sets Syst.* 2000. Т. 111. № 3. Pp. 367–385.
29. *Kuchta D.* Optimization with Fuzzy Present Worth Analysis and Applications // In: *Kahraman C. (Ed.) Fuzzy Engineering Economics with Applications*. Berlin; Heidelberg: Springer, 2008. Pp. 43–69.

30. *Magni C.A.* Reasoning the 'net-present-value' way: Some biases and how to use psychology for falsifying decision models / papers.ssrn.com, Jan, 2010.

31. *Maleki I. et al.* Project selection using fuzzy linear programming model // International Journal of Operational Research. 2014. T. 19. №. 2. Pp. 211–233.

32. *Neto A.C.G., Marujo L.G., Cosenza C.A.N., Dória F.A.M., Lima Jr, J.M.* Using fuzzy NPV evaluation to justify the acquisition of business interruption insurance // Expert Syst. Appl. 2012. T. 39. № 12. Pp. 10821–10831.

33. *Omitaomu O.A., Badiru A.* Fuzzy present value analysis model for evaluating information system projects // Eng. Econ. 2007. T. 52. № 2. Pp. 157–178.

34. *Ovchinnikov S.* Transitive fuzzy orderings of Real Numbers // Fuzzy Sets and Systems. 1989. № 3. Pp. 283–295.

35. *Petković D.* Adaptive neuro-fuzzy optimization of the net present value and internal rate of return of a wind farm project under wake effect // The Business and Economics Research Journal. 2015. T. 8. № 1. Pp. 11–28.

36. *Pohjola V.J., Turunen I.* Estimating the internal rate of return from fuzzy data // Eng. Costs Prod. Econ. 1990. T. 18. № 3. Pp. 215–221.

37. *Rębiasz B., Gawel B., Skalna I.* Capital budgeting of interdependent projects with fuzziness and randomness. 2014. Pp. 125–135. In: Z. Wilimowska (ed.) Information systems architecture and technology. – Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. – Wrocław.

38. *Rodríguez R.M. et al.* Hesitant fuzzy sets: state of the art and future directions // International Journal of Intelligent Systems. 2014. T. 29. №. 6. Pp. 495–524.

39. [Ro 2012] *Rouyendegh B.D.* Evaluating projects based on intuitionistic fuzzy group decision making // Journal of Applied Mathematics. 2012. T. 2012. ID 824265. Pp. 1–16.

40. *Salehi K.* A hybrid fuzzy MCDM approach for project selection problem // Decision Science Letters. 2015. T. 4. №. 1. Pp. 109–116.

41. *Sari I.U., Kahraman C.* Interval type-2 fuzzy capital budgeting // International Journal of Fuzzy Systems. 2015. T. 17. №. 4. Pp. 635–646.

42. *Sari I.D., Kuchta D.* Fuzzy global sensitivity analysis of fuzzy net present value // Control and Cybernetics. 2012. T. 41. №. 2. Pp. 481–496.

43. *Sayadi A.R. et al.* Application of neural networks to predict net present value in mining projects // Arabian Journal of Geosciences. 2014. T. 7. №. 3. Pp. 1067–1072.

44. *Sevastjanov P., Dimova L., Sevastianov D.* Fuzzy capital budgeting: investment project evaluation and optimization // In: Kahraman C. (ed.) *Fuzzy Applications in Industrial Engineering*. Springer, Berlin, 2006. Pp. 205–228.
45. *Sewastjanov P., Dymowa L.* On the Fuzzy Internal Rate of Return // In: Kahraman C. (Ed.) *Fuzzy Engineering Economics with Applications*. Berlin; Heidelberg: Springer, 2008. Pp. 105–128.
46. *Shackle G.L.S.* *Decision, Order and Time in Human Affairs* / Cambridge University Press, 1961.
47. *Tavana M., Zandi F.* Applying fuzzy bi-dimensional scenario-based model to the assessment of Mars mission architecture scenarios // *Advances in Space Research*. 2012. T. 49. № 4. Pp. 629–647.
48. *Terceño A., De Andrés J., Barberà G., Lorenzana T.* Using fuzzy set theory to analyse investments and select portfolios of tangible investments in uncertain environments // *Int. J. Uncertain. Fuzz. Knowl.-Based Syst.* 2003. T. 11. № 3. Pp. 263–281.
49. *Tsao C.-T.* Fuzzy net present values for capital investments in an uncertain environment // *Comput. Oper. Res.* 2012. T. 39. № 8. Pp. 1885–1892.
50. *Yao J.S., Chen M.S., Lin H.W.* Valuation by using a fuzzy discounted cash flow model // *Expert Systems with Applications*. 2005. T. 28. № 2. Pp. 209–222.
51. *Yan M., Hall M.J.B., Turner P.* Estimating Liquidity Risk Using The Exposure-Based Cash-Flow-At-Risk Approach: An Application To The Uk Banking Sector // *International Journal of Finance & Economics*. 2014. T. 19. № 3. Pp. 225–238.

ГЛАВА 5

МЯГКИЕ ТЕХНОЛОГИИ НОРМИРОВАНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Ю.В. Ефимов

5.1. Классификация факторов неопределенности среды и оценка их влияния на деятельность предприятий

Рассматривая деятельность предприятия в рыночной среде и изучая вопросы управления предприятием как сложной системой, необходимо выделить основные группы факторов влияния на данную систему, обуславливающие ее изменения под их воздействием.

Внутренняя среда предприятия – это совокупность агентов, действующих внутри предприятия, и их отношений, возникших в процессе финансово-хозяйственной деятельности. Рисунок 1 иллюстрирует эти взаимосвязи. Внутренняя среда судостроительного предприятия определяется множеством факторов, которые тоже называются внутренними, поскольку формируются самим предприятием в процессе его деятельности, оказывая влияние и на его результаты, и на перспективы развития. В укрупненном виде внутреннюю среду предприятия можно представить как совокупность пяти групп интегральных факторов, каждая из которых включает десятки конкретных факторов. Комбинация их индивидуальна для каждого предприятия и зависит от особенностей производимой продукции, величины предприятия, а также внешних условий его функционирования. Значимость отдельных факторов тоже различается для разных предприятий. Рассмотрим далее в качестве примера судостроительное предприятие.

В качестве факторов внутренней среды (ресурсная группа), оказывающих негативное воздействие на деятельность российских предприятий можно выделить:



Рис. 1. Факторы воздействия на предприятие в условиях неопределенности [46, с. 189]

- высокий уровень физического и морального износа основных фондов (по различным оценкам – более 60 или даже 70%);– устаревшие технологические и проектные решения.
- дефицит квалифицированных кадров;
- значительный объем недозагруженных мощностей, многие из которых являются избыточными;
- высокий уровень трудоемкости судостроительного производства, обусловленный, в свою очередь, совокупностью следующих факторов:
 - неразвитостью универсальных технологий крупноблочного строительства;
 - низким уровнем автоматизации работ, обусловленным отсутствием высокотехнологичного оборудования.

Российские судостроительные предприятия работают со стальным листом, имеющим размер в полтора-два раза меньше того, с которым работают зарубежные верфи, в результате чего количество сварных швов возрастает в 2,5–3 раза, а трудоемкость – на 50–60%.

Факторными аспектами маркетинга являются следующие:

- преимущественная перевозка российских внешнеторговых грузов судами зарубежных перевозчиков: при общей стоимости фрахта более 10 млрд. долл., доля российских компаний не превышает 10%, при характерных для большинства зарубежных стран 50% и более [100, с. 72];
- производственные мощности российских предприятий судостроения не позволяют строить суда водоизмещением более 80 тыс. тонн, что существенно сужает потенциальные ниши, в которых Россия могла бы быть представлена на мировом рынке;
- в виду небольшого по мировым меркам объема заказов в сегменте гражданского судостроения, закупки стали со стороны отечественных судостроителей относительно нерегулярны и невелики по объемам и поэтому не могут заинтересовать российские металлургические предприятия так, как внутренние и экспортные поставки для других отраслей (машиностроение, энергетика и т.д.). Это зачастую приводит к сбоям поставок материалов и необходимости поиска верфями альтернативных поставщиков. Ситуация усугубляется также неслаженной работой проектных бюро и запаздыванием в формировании закупочных ведомостей.

Факторами группы «принципы деятельности», определяющими специфику российских судостроительных предприятий являются:

- большая доля участия государства в деятельности судостроительных предприятий;

- несоответствие масштабов и структуры производства, технического и технологического потенциала российской судостроительной отрасли платежеспособному спросу на внутреннем и внешнем рынке, особенно в сегменте гражданского судостроения [1].

В качестве отдельных факторов финансового менеджмента, влияющих на деятельность судостроительных предприятий можно выделить:

- низкую скорость оборачиваемости средств;
- проблемы в области привлечения финансовых инвестиционных ресурсов;
- неликвидность структуры имущества (большая доля внеоборотных активов).

Внешнюю среду можно условно разделить на две части: макроокружение и микроокружение. Если на макроокружение предприятию трудно оказывать значительное влияние или контролировать его процессы, то динамика микроокружения может напрямую зависеть от выбора стратегии судостроительного предприятия.

Экономические факторы в рыночной среде должны постоянно оцениваться, так как состояние экономики влияет на судостроительные предприятия и способы достижения их целей. Это темпы инфляции, международный платежный баланс, уровни занятости населения, ставки кредитования бизнеса и т.д. Каждый из них может представлять либо угрозу, либо новую возможность для предприятия.

Рассмотрим влияние отдельных экономических факторов внешней среды на деятельность судостроительных предприятий, оказывающих негативное влияние на развитие судостроения в России.

В качестве проблем судостроительной промышленности России можно выделить следующие:

- менее благоприятные, по сравнению с зарубежными верфями, условия финансирования реализации проектов по строительству судов, а также более высокий уровень налоговой и таможенной нагрузки;
- проблему финансирования крупных долгосрочных инвестиционных проектов, обусловленную особенностями отечественного налогового законодательства и финансовой инфраструктуры гражданского судостроения.
- существующую систему финансирования цикла строительства судов ставят российские судостроительные предприятия и компании-судовладельцы в худшие, по сравнению с зарубежными компаниями, финансово-экономические условия.

В большинстве зарубежных стран судовладелец в рамках строительства судна может получить банковский кредит в размере до 80% от стоимости судна сроком 10–15 лет по ставке LIBOR плюс 0,3–2,0% в зависимости от кредитного рейтинга компании заемщика.

В России, несмотря на наличие тенденции к росту величины кредита и снижению процентных ставок, возможно привлечение кредита не более чем на 5–7 лет по ставке не ниже 10–12% годовых в размере до 60% от общей стоимости судна. Такой срок кредита недостаточен для окупаемости судна, а стоимость кредита и отсутствие налоговых льгот делает проект нерентабельным.

Привлечение средств на мировых финансовых рынках для строительства судов на российских верфях, возможно только для крупнейших отечественных судовладельцев, однако, независимо от выбранного партнера среди российских судостроительных компаний условия кредитования хуже, чем при строительстве судна на зарубежной верфи.

При строительстве речных судов получить кредит затруднительно из-за невозможности заключения долгосрочного фрахтового договора и длительного срока окупаемости, обусловленного отсутствием навигации в зимний период.

Как показывает практика строительства судов в России, большая часть финансирования затрачивается на закупку оборудования (до 60–70% стоимости судна), значительная часть которого импортируется. Поставка зарубежного оборудования для судов, строящихся для российских заказчиков, облагается НДС и таможенной пошлиной, что удорожает строительство. Таким образом, стоимость строительства гражданских судов в России только в виду различия в условиях финансирования и налогообложения превосходит показатели большинства других стран не менее чем на 20% [1].

Политико-правовые факторы.

Для судостроительных предприятий имеет большое значение политическая стабильность в обществе. От этого зависит уровень притока инвестиций и другого рода ресурсов в определенный регион. Отношение административных органов власти к бизнесу выражается в установлении различных льгот или пошлин, которые либо развивают бизнес в регионе, либо вытесняют его, создавая неравноправные условия для различных организаций. Также используются приемы лоббирования интересов определенных промышленных групп в правительственных учреждениях, что также оказывает влияние на весь бизнес в целом.

Изменения в законодательстве прямо воздействует на многие виды деловой активности. Эти изменения происходят и на достаточно высоком уровне (так, введение налогового учета в России оказало сильное влияние на деятельность предприятий, которым пришлось организовывать введение дополнительного учета), и в области конкретной отраслевой проблематики (например, круг вопросов, связанных с введением тех или иных санкций и правил, изменениями в законодательстве о труде и в работе).

Социокультурные факторы.

При организации деятельности нельзя не учитывать ту культурную среду, в которой она происходит. Речь идет, прежде всего, о преобладающих в обществе жизненных ценностях и традициях. На этой основе базируется стандарт поведения. Известно принципиальное отличие американского и японского стандартов. В первом случае стандарт выражен в «индивидуалистическом» подходе к организации, а во втором – в «семейном» подходе. Отсюда нормой поведения в одном случае является стремление к карьерному росту с регулярной сменой мест работы (в США считается, что человек должен менять работу раз в несколько лет), в другом – человек работает в организации всю жизнь, относясь к начальнику как к отцу, поручения которого надо безоговорочно исполнять.

Научно-технологические факторы.

Эти факторы определяет возможность повышать эффективность производства, а, следовательно, эффективность способов удовлетворения конечных потребителей судостроительных предприятий. Для того чтобы организация могла быть конкурентоспособной, необходимо собирать, хранить и распределять большие объемы информации о новациях, возникающих в среде деятельности. В последнее время появились совершенно новые технологии обработки ресурсов и информации: компьютерная и лазерная техника, робототехника, спутниковая связь, биотехнологии и т.д. Исследователи говорят о высокой скорости изменения коммуникационных технологий, и эта тенденция сохраняется. Однако, на предприятиях судостроительной промышленности эти возможно используется не в полной мере.

Природные факторы.

В настоящее время все большее число компаний уделяет внимание состоянию окружающей среды. Поэтому круг вопросов, связанных с ее защитой, играет важную роль при стратегическом планиро-

вании деятельности судостроительных предприятий. В настоящее время ряд судостроительных предприятий использует новые технологии, эффективно контролирующие экологические воздействия на окружающую среду и снижающие уровень воздействия. К ним, например, можно отнести предприятие «Адмиралтейские верфи», которое еще в 2003 году внедрило информационно-аналитическую систему «Экоаналитик» для мониторинга и оценки воздействия на окружающую среду, построенную на основе международных стандартов серий ISO.

Отдельно следует отметить то, что региональная структура судостроительной отрасли России характеризуется высоким уровнем территориальной неравномерности: большая часть предприятий судостроения сосредоточена в Санкт-Петербурге, Архангельской области и на Дальнем Востоке.

В целом все воздействие факторов на судостроительное предприятие как сложную систему можно охарактеризовать следующим образом:

- система влияющих факторов самого предприятия и внешней среды представлена большим количеством разнообразных факторов с различной природой, степенью и направленностью этого влияния;
- система факторов характеризуется большой степенью изменчивости или подвижности;
- большое количество факторов и их изменчивость приводят к тому, что теряется точность информации о процессах, происходящих в среде, что повышает неопределенность среды и усложняет процесс принятия решений.

Проведенный анализ факторов, влияющий на деятельность судостроительных предприятий показывает, что современные социально-экономические системы порождают процессы со столь сложной динамикой, что условия деятельности данных систем не являются постоянными и в полной мере определенными. Также экспертами отмечаются тенденции роста факторов деловой среды, которые необходимо принимать во внимание, их динамичности и взаимосвязанности между собой. В итоге неопределённость стала неотъемлемой характеристикой социально-экономической деятельности и всех процессов, протекающих как на отдельных предприятиях, в субъектах Федерации и отраслях, так и в целом по национальной экономике.

В соответствии с этими выводами необходимо отметить, что для обеспечения безопасности и устойчивости функционирования судо-

строительных предприятий необходимо организовывать на них мониторинг и оценку влияния факторов в условиях неопределенности и нестабильности.

Одним из эффективных современных подходов к созданию систем мониторинга, измерения и управления производством промышленной продукции в условиях неопределенности является регулирующий байесовский подход (РБП) и байесовские интеллектуальные технологии, созданные на его основе [2, 3]. Успешный опыт применения этих технологий в вышеуказанных задачах дает основание к применению их в судостроительной промышленности.

Литература:

1. *Овчинников И.Д.* Управление затратами в судостроении // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2012. Т. 1. № 11. С. 102–106.
2. Организация финансирования судостроительного проекта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ruspelagic.ru/organizaciya_finansirovaniya_sudost1.
3. *Прокопчина С.В.* Принципы создания развивающихся информационных технологий на основе регулирующего байесовского подхода // Сб. докладов Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям «SCM-2005», Санкт-Петербург, 27–29 июня 2005. Т. 1.
4. *Лукьянец А.А., Прокопчина С.В.* Методология поддержки решений в управлении энергоснабжающими организациями на основе регулирующего байесовского подхода. Томск: Некоммерческий фонд развития региональной энергетики, 2006.

5.2. Применение регулирующего байесовского подхода для нормирования нормирование труда на предприятиях в условиях неопределенности

В основе нормирования труда лежит расчет нормы времени – величины затрат рабочего времени, определяемой для выполнения единицы работы работником или группой работников соответствующей квалификации в определенных организационно-технических условиях.

Трудовым кодексом РФ в статье 161 [1] предусмотрено, что для однородных работ могут разрабатываться и устанавливаться типовые

(межотраслевые, отраслевые, профессиональные и иные) нормы труда в порядке, установленном Постановлением Правительства РФ от 11.11.2002 г. № 804 «О Правилах разработки и утверждения типовых норм труда» [6]. Однако со времени начала его действия до настоящего времени принято незначительное количество документов с межотраслевыми нормами труда: приказы Минздравсоцразвития РФ от 26.04.2006 г. № 317 «Об утверждении Межотраслевых типовых норм выработки на лесокультурные работы, выполняемые в равнинных условиях» и от 16.01.2006 г. № 22 «Об утверждении Межотраслевых типовых норм времени на работы по сервисному обслуживанию оборудования телемеханики, сопровождению и доработке программного обеспечения», при этом для всех остальных отраслей, а также для не типовых видов работ вопрос остается открытым.

Потребность в нормировании труда с переходом к рыночной экономике возросла. Хозяйствующие субъекты в рыночной среде должны экономически грамотно управлять имеющимися ресурсами, и в первую очередь трудовыми. Оптимальность соотношения ресурсов задействованных в производственном процессе определяет эффективность деятельности предприятия. Затраты труда каждого работника определяются на основе их сравнения с мерой труда, которая устанавливается на предприятии с учетом требований к данному виду работы. Конкретным выражением меры труда являются нормы, отражающие различные стороны трудового процесса [14 с. 142].

За счет нормирования труда оптимизируются соотношения предметов, средств труда и непосредственно самого труда. На основе нормирования производится экономически обоснованная комплектация бригад, участков производства работниками и средствами труда. Данная экономическая категория является важным и необходимым элементом при планировании деятельности хозяйствующих субъектов.

Факторы, определяющие необходимость нормирования труда обобщены в таблице 1.

В качестве основных задач нормирования труда можно выделить:

- а) определение резервов роста производительности труда за счет совершенствования организации труда и технологии выполнения операций;
- б) расширение сферы нормирования труда;
- в) совершенствование методов установления норм;
- г) обеспечение прогрессивности норм;

д) внедрение эффективных форм мотивации за разработку и внедрение научно обоснованных норм и нормативов.

Таблица 1

Факторы, определяющие необходимость нормирования труда

№ п/п	Факторы
1	Устанавливает оптимальные пропорции в составе орудий и средств труда и самого труда
2	Решает проблемы: а) оптимального комплектовании бригад, участков – людьми и техникой б) расстановки людей и техники в пространстве и во времени на предприятии
3	Выполнение функций: а) организации в) мотивации д) целеполагание ж) координирования б) контроля г) планирования е) регулирования з) кооперации
4	Ведение расчета загрузки оборудования и рабочих мест
5	Установление затрат труда и условий необходимых для данной работы
6	Стимулирование работников к росту производительности труда
7	Выявление резервов: а) снижения себестоимости б) повышения производительности труда
8	Определение потребности предприятия в кадрах: а) по численности б) по профессиям в) по специальностям г) по классификации.
9	Устанавливает оплату: а) за труд, как за товар б) за творческие новшества (достижения) а) одной отрасли б) одного региона в) одной формы собственности

При нормировании труда рабочих и служащих применяются следующие виды норм затрат труда: нормы времени, норма выработки, норма времени обслуживания, и нормы численности соответственно рисунку 2.

Норма времени – это величина затрат рабочего времени, установленная для выполнения единицы работы работников (в частности, бригадой) соответствующей квалификации в определенных организационных условиях.

Норма выработки – это установленный объем работы (количество единиц продукции), который работник или группа работников (в частности, бригада) соответствующей квалификации обязаны выполнить (изготовить, перевезти и т.д.) в единицу рабочего времени в определенных организационно-технических условиях.

Норма времени обслуживания – это время, необходимое для обслуживания единицы оборудования.

Норма обслуживания – это количество производственных объектов (единиц оборудования, рабочих мест и т.п.), которое работник или группа работников (в частности, бригада) соответствующей квалификации обязаны обслужить в течение единицы рабочего времени в определенных организационно-технических условиях. Нормы обслуживания предназначаются для нормирования труда работников, занятых обслуживанием оборудования, производственных площадей, рабочих мест и т.д.

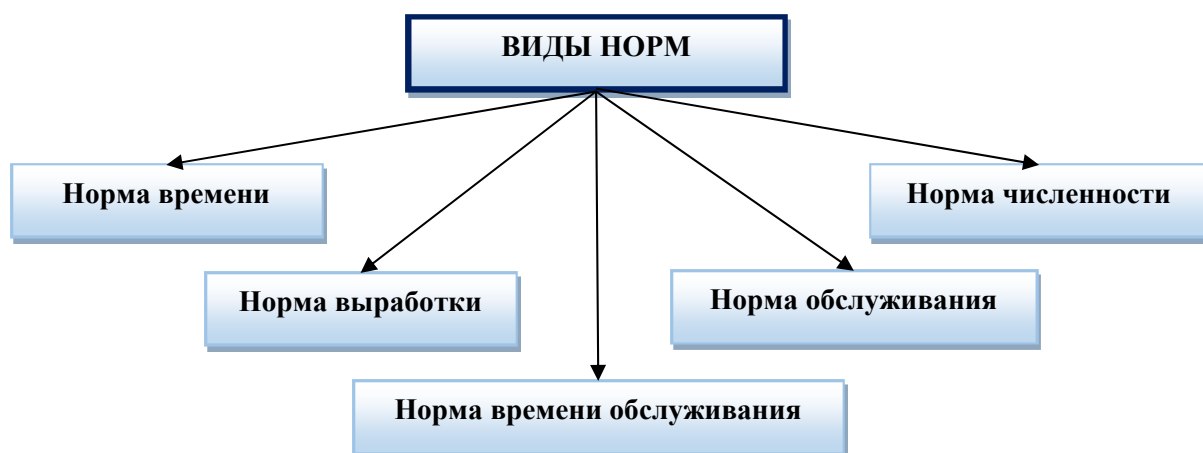


Рис. 2. Виды норм труда

Разновидностью норм обслуживания является норма управляемости работников, которыми должен управлять один руководитель.

Норма численности – это установленная численность работников определенного профессионально – квалификационного состава, необходимая для выполнения конкретных производственных, управленческих функций или объемов работ.

По степени обоснованности нормы затрат труда делятся на технически обоснованные и опытно-статистические.

Технически обоснованными нормами времени, выработки, обслуживания и численности считаются такие, которые в условиях дан-

ного предприятия рассчитаны на наиболее эффективное использование оборудования и рабочего времени, а также наиболее рациональные технологии работ, организацию и обслуживание рабочих мест и применение передовых методов труда при обязательном соблюдении требований физиологии, обеспечивающих сохранение здоровья и работоспособности работников, т.е. соответствуют требованиям НОТ.

Опытно-статистические нормы устанавливают на основе статистических данных о затратах труда на выполнение работ или устанавливаются на основе опыта работ. Такие нормы включают потери рабочего времени и ориентированы на низкий уровень интенсивности труда.

Состав технически обоснованной нормы времени можно представить в виде регуляризированных байесовских оценок или мягких функций от них (89):

$$\begin{aligned} & \{h^{(H^{BP})} | \mu x^{(H^{BP})}\} \\ &= \{h^{(T_0)} | \mu x^{(T_0)}\} + \{h^{(T_B)} | \mu x^{(T_B)}\} \\ &- \{h^{(T_{\text{ТЕХ}})} | \mu x^{(T_{\text{ТЕХ}})}\} + \{h^{(T_{\text{ОРГ}})} | \mu x^{(T_{\text{ОРГ}})}\} \\ &+ \{h^{(T_{\text{ОТЛ}})} | \mu x^{(T_{\text{ОТЛ}})}\} + \{h^{(T_{\text{ПТ}})} | \mu x^{(T_{\text{ПТ}})}\} \\ &+ \{h^{(T_{\text{ПЗ}})} | \mu x^{(T_{\text{ПЗ}})}\} \end{aligned} \quad (1)$$

где T_0 – основное время;

T_B – вспомогательное время;

$T_{\text{ТЕХ}}$ – время на техническое обслуживание рабочего места;

$T_{\text{ОРГ}}$ – время организационного обслуживания рабочего места;

$T_{\text{ОТЛ}}$ – время на отдых и личные надобности;

$T_{\text{ПТ}}$ – перерывы, обусловленные технологией и организацией производства;

$T_{\text{ПЗ}}$ – подготовительно – заключительное время.

Все затраты рабочего времени (кроме подготовительно – заключительного) определяются на принятую для расчета единицу работы (операцию, штуку и т.д.) и составляют норму штучного времени:

$$\begin{aligned} \{h^{(T_{\text{ШТ}})} | \mu x^{(T_{\text{ШТ}})}\} &= \{h^{(T_{\text{оп}})} | \mu x^{(T_{\text{оп}})}\} + \{h^{(T_{\text{обс}})} | \mu x^{(T_{\text{обс}})}\} + \\ &+ \{h^{(T_{\text{ОТЛ}})} | \mu x^{(T_{\text{ОТЛ}})}\} + \{h^{(T_{\text{ПТ}})} | \mu x^{(T_{\text{ПТ}})}\} \end{aligned} \quad (2)$$

где $T_{\text{оп}}$ – оперативное время.

$$\{h^{(T_{\text{оп}})}|\mu x^{(T_{\text{оп}})}\} = \{h^{(T_o)}|\mu x^{(T_o)}\} + \{h^{(T_b)}|\mu x^{(T_b)}\} \quad (3)$$

$T_{\text{обс}}$ – время обслуживания рабочего места.

$$\{h^{(T_{\text{обс}})}|\mu x^{T_{\text{обс}}}\} = \{h^{(T_{\text{тех}})}|\mu x^{T_{\text{тех}}}\} + \{h^{(T_{\text{орг}})}|\mu x^{T_{\text{орг}}}\} \quad (4)$$

Норма времени состоит из двух основных частей: штучного и подготовительно-заключительного времени:

$$\{h^{(H^{\text{BP}})}|\mu x^{(H^{\text{BP}})}\} = \{h^{(T_{\text{шт}})}|\mu x^{(T_{\text{шт}})}\} + \{h^{(T_{\text{пз}})}|\mu x^{(T_{\text{пз}})}\} \quad (5)$$

Для ручных и машинно-ручных работ, где время на обслуживание рабочего места, а также на отдых и личные потребности нормируемая в процентах от оперативного времени, формула принимает следующий вид:

$$\{h^{(T_{\text{шт}})}|\mu x^{(T_{\text{шт}})}\} = \{h^{(T_{\text{оп}})}|\mu x^{(T_{\text{оп}})}\} + (\{h^{(T_{\text{оп}})}|\mu x^{(T_{\text{оп}})}\} \times \{h^{(k)}|\mu x^{(k)}\}) \div 100 \quad (6)$$

где K – коэффициент времени на обслуживание рабочего места, отдых и личные потребности, % от оперативного времени.

Для определения полных затрат времени на производство продукции или выполнение операции рассчитывают штучно-калькуляционное время, в которое, кроме штучного входит часть подготовительно-заключительного времени, приходящаяся на единицу продукции:

$$\{h^{(T_{\text{штк}})}|\mu x^{(T_{\text{штк}})}\} = \{h^{(T_{\text{шт}})}|\mu x^{(T_{\text{шт}})}\} + (\{h^{(T_{\text{пз}})}|\mu x^{(T_{\text{пз}})}\} \times \{h^{(n)}|\mu x^{(n)}\}) \quad (7)$$

где n – количество изделий в партии (задании).

Норму времени на изготовление всей партии изделий определяют следующим образом:

$$\{h^{(T_{\text{штк}})}|\mu x^{(T_{\text{штк}})}\} \{h^{(T_{\text{пар}})}|\mu x^{(T_{\text{пар}})}\} = \{h^{(T_{\text{пз}})}|\mu x^{(T_{\text{пз}})}\} + (\{h^{(T_{\text{шт}})}|\mu x^{(T_{\text{шт}})}\} \times \{h^{(n)}|\mu x^{(n)}\}) \quad (8)$$

или

$$\{h^{(T_{\text{пар}})}|\mu x^{(T_{\text{пар}})}\} = \{h^{(T_{\text{шт}})}|\mu x^{(T_{\text{шт}})}\} \times \{h^{(n)}|\mu x^{(n)}\} \quad (9)$$

Норма выработки рассчитывается как частное от деления фонда времени на норму времени. В качестве фонда времени целесообразно использовать продолжительность смены. Исходя из ее величины, исчисляется средняя выработка в час и месяц.

Для расчета норм выработки ($H^{\text{Вып}}$) в виде регуляризированной байесовской оценки применяют несколько формул. Наиболее общая имеет следующий вид:

$$\{h^{(H^{\text{Вып}})}|\mu x^{(H^{\text{Вып}})}\} = \{h^{(T_{\text{см}})}|\mu x^{(T_{\text{см}})}\} \div \{h^{(H^{\text{Вып}})}|\mu x^{(H^{\text{Вып}})}\} \quad (10)$$

где $T_{\text{см}}$ – сменный фонд рабочего времени.

В тех производствах, где подготовительно-заключительное время, а также время на обслуживание рабочего места, отдых и личные потребности нормируют на смену, норму выработки рассчитывают по мягким функциям в виде:

$$\{h^{(H^{\text{Вып}})}|\mu x^{(H^{\text{Вып}})}\} = (\{h^{(T_{\text{см}})}|\mu x^{(T_{\text{см}})}\} - \{h^{(T_{\text{пз}})}|\mu x^{(T_{\text{пз}})}\}) \div \{h^{(T_{\text{шт}})}|\mu x^{(T_{\text{шт}})}\} \quad (11)$$

$$= [\{h^{(T_{\text{см}})}|\mu x^{(T_{\text{см}})}\} - (\{h^{(T_{\text{пз}})}|\mu x^{(T_{\text{пз}})}\} + \{h^{(T_{\text{обс}})}|\mu x^{(T_{\text{обс}})}\} + \{h^{(T_{\text{отл}})}|\mu x^{(T_{\text{отл}})}\})] \div \{h^{(T_{\text{оп}})}|\mu x^{(T_{\text{оп}})}\} \quad (12)$$

Нормы выработки определяются как целые числа. Если при расчете получается дробь, она округляется по общим правилам.

Между нормой времени и нормой выработки существует связь, т.е. с уменьшением нормы времени норма выработки увеличивается. Изменяются эти величины не в одинаковой мере: норма выработки увеличивается в большей степени, чем уменьшается норма времени. Зависимость между нормой времени и нормой выработки можно выразить следующим образом:

$$\{h^{(H^{\text{Вып}})}|\mu x^{(H^{\text{Вып}})}\} = 1 \div \{h^{(H^{\text{Вып}})}|\mu x^{(H^{\text{Вып}})}\} \quad (13)$$

Классификация норм затрат труда представлена в таблице 2.

По построению и степени укрупнения различают следующие нормы затрат труда:

- микроэлементные нормы, устанавливаемые по микроэлементным нормативам на трудовые действия рабочего;
- дифференцированные нормативы, т.е. нормы затрат рабочего времени, устанавливаемые на базе дифференцированных нормативов по элементам операции;
- укрупненные нормы, устанавливаемые на базе укрупненных нормативов на более крупные по составу элементы операции;
- комплексные нормы, устанавливаемые на конечный укрупненный измеритель, характеризующий определенный комплекс взаимосвязанных работ одного технологического назначения.

Таблица 2

Классификация норм затрат труда

Классификационные признаки	Виды нормативов
По видам норм	- Нормы времени - Нормы численности - Нормы выработки - Нормы обслуживания
По сфере применения	По территориальной принадлежности: - общегосударственные - субъектов РФ - местные По отраслевому применению - межотраслевые - отраслевые - корпоративные
По методу обоснования	- Технически обоснованные - Опытно-статистические
По построению и степени укрупненности	- Микроэлементные - Дифференцированные - Укрупненные - Комплексные
По обязательности применения	- Типовые - Единые
По охвату рабочих	- Индивидуальные - Коллективные

По обязательности применения различают:

- типовые нормы, под которыми понимаются нормы затрат рабочего времени, устанавливаемые дифференцированным методом применительно к типовому процессу на типовые представители из данной группы деталей или изделий, с которыми затем сравниваются по соотношению главнейших параметров, характеризующих размеры, обработки и затраты по конфигурации и технологии обработки деталей;
- единые нормы, представляющие собой нормы затрат рабочего времени, устанавливаемые на технологически однородные работы с небольшим количеством организационно – технических вариантов их исполнения, которые применяются на предприятиях одной или различных отраслей производства при одинаковых организационно-технических условиях.

Нормы затрат труда по сфере применения делятся на местные, отраслевые и межотраслевые, а в зависимости от их территориальной распространенности – на общесоюзные, республиканские [24, с. 110].

К нормативным материалам для нормирования труда относят нормативы по труду соответственно рисунку 3, представляющие собой руководящие справочно-расчетные материалы, предназначенные для определения регламентированных значений на выполнение отдельных элементов (комплексов) работ, обслуживания единицы оборудования, рабочего места, структурного подразделения и т.д., а также численности работников, необходимых для выполнения производственных, управленческих функций или объема работ, принятого за единицу измерения, в зависимости от конкретных организационно-технических условий и факторов производства.

Нормативы разрабатываются для определенных организационно-технических условий выполнения работы. По мере внедрения нового, более совершенного оборудования, прогрессивной технологии, совершенствования труда и производства нормативы пересматриваются и уточняются.

По степени дифференциации нормативы разделяются на микроэлементные и укрупненные. Пределом дифференциации нормативов являются нормативы на отдельные движения (микроэлементы) операций. Пределом укрупненных нормативов являются типовые нормы времени на отдельные операции.

К укрупненным нормам относят единые и типовые нормы. Единые нормы затрат труда разрабатывают на работы, выполняемые по одинаковой технологии в аналогичных условиях производства в од-

ной или ряде отраслей народного хозяйства, и являются обязательными для применения на всех предприятиях при нормировании труда работников на соответствующих видах работ.

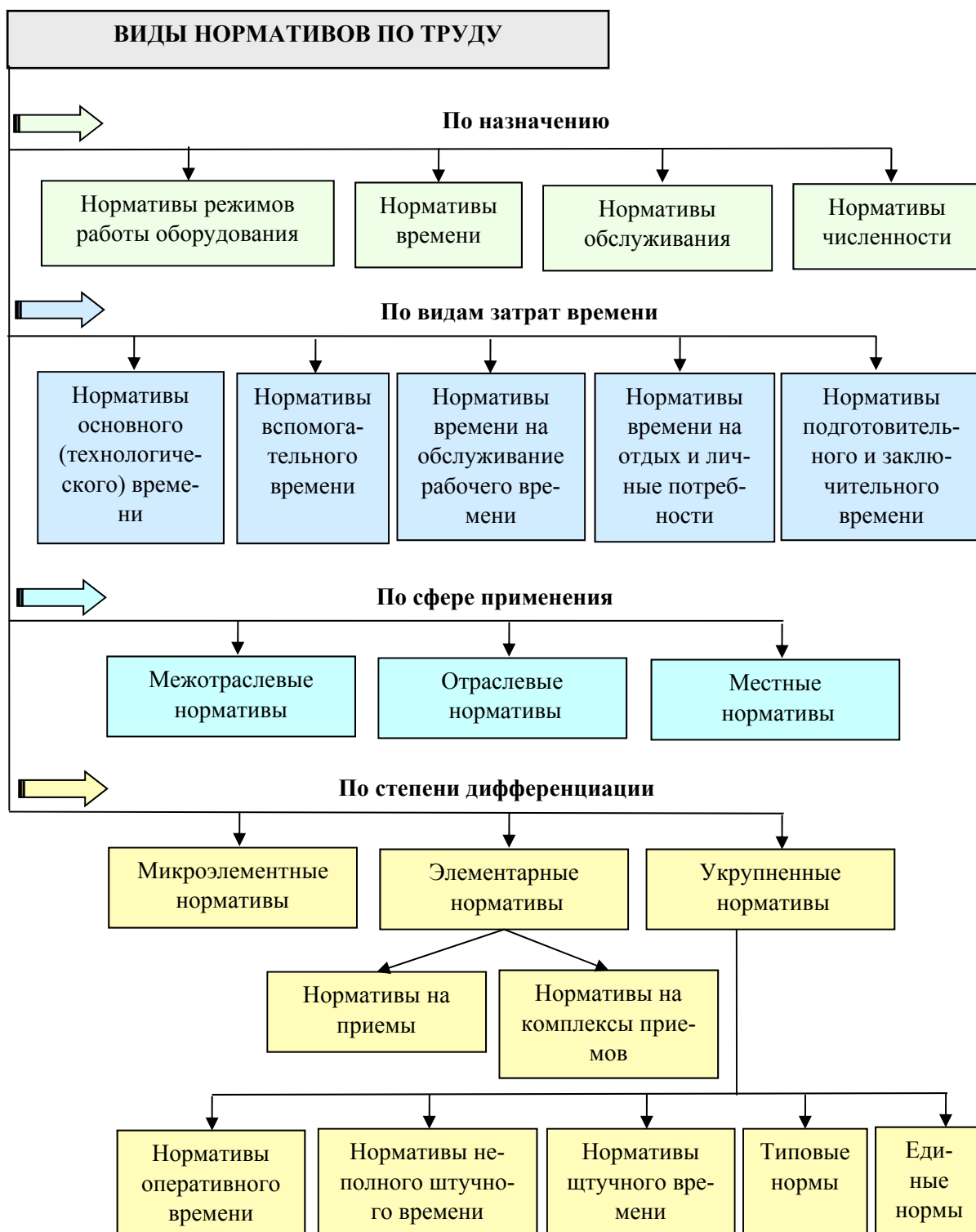


Рис. 3. Классификация нормативов по труду

При любой организации нормирования труда сама работа по установлению норм труда включает в себя несколько последовательных этапов (см. рис. 4).



Рис. 4. Схема разработки, внедрения и изменения «мягких» норм времени

Таким образом, необходимость нормирования труда вызвана потребностью в постоянной работе по выявлению резервов снижения затрат на производство тщательного изучения и планирования затрат труда работника. На предприятиях необходимо постоянно вести работу по обеспечению роста производительности труда, как главного источника повышения эффективности производства и важного показателя всей системы трудовых показателей. Для планирования на предприятии уста-

навливают плановую нормативную фактическую трудоемкость. Показатель нормативной трудоемкости применяется для расчета заработной платы себестоимости и оптовой цены.

Мягкое нормирование позволяет, как отмечалось в [1], получить регуляризированные байесовские оценки норм в виде многоальтернативных их значений с соответствующим им вероятностями, что полностью соответствует требованиям производственной практики.

5.3. Особенности нормирования труда на судостроительных предприятиях

Многообразие и важность решаемых судостроительной отраслью задач во многом обусловили сложность ее организационной структуры. Ведь основной объект судостроения – судно или корабль – объединяя в себе достижения научной и технической мысли различных отраслей народного хозяйства, представляет собой сложную многоуровневую систему. Процесс создания этой системы и всего последующего ее существования вплоть до момента утилизации судна длится десятилетия, вовлекая в работу большое количество людей самых различных профессий.

Значительное количество видов работ выполняется и на самой верфи, в том числе при изготовлении корпуса, систем, осуществлении монтажа трубопроводов, механизмов, электрооборудования, прокладке кабельных трасс, достроечных работах, наконец, при испытаниях судна. Такое многообразие видов и подвидов работ, безусловно, ставит перед предприятиями очень непростую задачу с точки зрения нормирования труда. В этом отношении можно выделить следующие специфические особенности судостроения:

- необходимость создания (приобретения) и внедрения на предприятии большого количества нормативов по труду, каждый из которых, в принципе, должен быть проверен на соответствие существующему организационно-техническому уровню предприятия;

- часто возникающую необходимость нормирования «нестандартных» работ, для которых не существует «готовых» норм, и связанную с этим повышенную погрешность нормирования (особенно при выполнении работ по ремонту или модернизации);

- потребность в значительном количестве узкоспециализированных нормировщиков либо (что сложнее) в меньшем количестве специалистов широкого профиля в сфере нормирования труда;

- наличие (в связи с широко распространенным запараллеливанием работ) тесной взаимосвязи между различными видами производств, не позволяющее порой четко разграничить работы, а значит, и выполнить по ним учет трудозатрат;

- многовариантность (неоднозначность) в задании маршрута выполнения работ из-за существующего дублирования функций между производствами, вследствие чего в оперативном порядке может происходить перераспределение работ (например, выполнение заготовительных, сварочно-сборочных работ, обработка деталей корпуса и т.д.);

- большую номенклатуру оборудования, участвующего в производственном процессе, что делает задачу технического перевооружения производства очень актуальной для судостроительного предприятия (по этой причине при выполнении нормирования труда следует особое внимание уделять существующему техническому уровню предприятия).

Многообразие видов и подвидов работ – это первая специфическая черта судостроительной отрасли, важная для нормирования труда.

Вторая черта связана с длительным циклом изготовления изделия и, как правило, малой серийностью производства. Вследствие этого задача освоения нормы по конкретному изделию, даже отдельному элементу судна, становится затруднительной. Нет возможности создать поточное производство. Зачастую от рабочего требуется нестандартный творческий подход в решении сложных производственных задач. Поэтому навыки судостроительных рабочих формируются в основном с точки зрения освоения типовых приемов работ и расширения собственного производственного опыта. По этой же причине в той части судостроительного производства, которая касается работ верфи, широкое распространение получили укрупненные и комплексные нормы, охватывающие целые комплексы работ без их пооперационного разбиения.

Третья особенность судостроительного производства связана со значительной долей ручного труда. Этот фактор играет большую роль, например, при расчете трудовых и временных затрат на выполнение электромонтажных работ на судне. Ведь ручной труд напрямую связан с индивидуальными возможностями (способностями) исполнителя. Ускорить, значительно механизировать этот процесс не всегда представляется возможным, следовательно, нормирование таких работ требует знания и учета различных субъективных факторов, пренебрегать которыми нельзя. Кроме того, ручной труд, в отличие от

механизированного и автоматизированного труда, сопряжен с большими потерями рабочего времени.

Важно отметить еще одну черту судостроения – свойственную ему сложную организацию производства, что напрямую отражается на реальных затратах рабочего времени. Работы по строительству судна ведутся одновременно и в цехах, и на стапеле.

Таким образом, решение вопросов нормирования труда в судостроении, в том числе в судовом электромонтажном производстве, требует обязательного учета вышеуказанных особенностей отрасли.

Актуальность вопроса о необходимости разработки новых нормативов по труду в судостроении является сегодня бесспорной. Поэтому судостроительные предприятия пытаются решить эту проблему, создавая собственные нормативные документы. Процесс разработки новых трудовых нормативов требует строго продуманного, математически доказательного и экономически выверенного подхода в решении поставленной задачи с использованием методологии системного анализа и синтеза.

Приступая к разработке нормативов, необходимо, в первую очередь, определиться, какими они будут – укрупненными или дифференцированными. Первые применяются, главным образом, для укрупненной оценки трудоемкости строительства судна с разбивкой по видам и подвидам работ, а также иногда для нормирования технологических нарядов; вторые – только для нормирования технологических нарядов.

Рассмотрим создание укрупненных нормативов по труду, так как применение дифференцированных норм мало распространено на судостроительных предприятиях, для которых характерно мелкосерийное и единичное производство. А также, укрупненные нормативы позволяют выполнить оценку трудозатрат в тех случаях, когда отсутствует подробная информация об объекте (например, на ранних этапах проектирования или при заключении договора на строительство заказа).

Укрупненные нормативы по труду должны отражать специфические особенности конкретного предприятия только в том случае, если исходными данными для их разработки являются фактические значения трудозатрат, зафиксированные на предприятии в течение последних нескольких лет.

Такие значения могут быть получены тремя способами [192]:

- из отчетов цехов в ПДО и в бухгалтерии по фактическим затратам трудоемкости с учетом всех дополнительных работ по изготовлению конкретной продукции или выполнении конкретного вида работ;

- путем проведения фотографии рабочего времени и хронометража [110];
- переработкой существующих бумажных нормативов по труду с учетом действующих на предприятии поправочных коэффициентов к ним.

Первый способ, с точки зрения затрат времени на его реализацию, является средним из трех названных. Он требует решения следующих задач.

Во-первых, разработчику нормативов необходимо обеспечить себя отчетными данными за длительный период, например, за последние пять-десять лет, что позволит выявить временные тенденции изменения нормативов, то есть их динамику.

Во-вторых, используемые данные должны быть подвергнуты анализу на предмет выявления влияния на них инфляционных процессов, о чем было сказано выше. Выделение инфляционной составляющей позволит определить условно постоянную часть фактических трудозатрат, не зависящую от текущей экономической ситуации.

Второй способ получения исходных данных – выполнение фотографии рабочего времени и хронометража – является более трудоемким и направлен на создание, в первую очередь, дифференцированных норм времени. Он требует привлечения к исследовательской работе определенного числа специалистов, задача которых состоит в непосредственном контроле над производственным процессом с секундомером в руках и в последующем анализе полученных результатов.

Наконец, третий способ, состоящий в переработке существующих на предприятии бумажных нормативов по труду с учетом действующих на предприятии поправочных коэффициентов к ним, является наиболее простым. Однако он может быть применен только в тех случаях, когда используемые нормативы, действительно, с допустимой погрешностью отражают реальные затраты времени и вся проблема состоит только в неудобстве пользования громоздкими таблицами и нограммами. Использование такого способа разработки новых нормативов целесообразно, например, для машиностроительного или сварочного производства, существующего в условиях цеха, с хорошо отлаженным технологическим процессом.

Одно из основных требований к разработчику новых нормативов – это обеспечить создание единой системы укрупненных нормативов по труду в рамках конкретного предприятия. Такой подход упростит

процессы обучения нормированию, выполнения нормирования, совершенствования и обновления нормативов.

Система укрупненных нормативов по труду должна создаваться предприятием в рамках его инновационной деятельности как элемент систем более высокого уровня (например, систем планово-учетных единиц [41], автоматизированной системы технологической подготовки производства, автоматизированной системы управления ресурсами предприятия, т.е. ERP-системы [142] и т.д.) – элемент отдельный, но структурно и функционально с ними связанный.

Область применения разрабатываемых нормативов по труду должна обеспечить, нормирование, в первую очередь, основной номенклатуры работ предприятия. К ним должны быть отнесены следующие виды и подвиды работ:

- корпусозаготовительные (первичная обработка металлопроката, различные виды резки, гибки, правки и штамповки металла);
- корпусособорочные (различные виды сварки узлов и секций, их правка, формирование блоков корпуса, формирование корпуса на стапеле);
- изготовление трубопроводов систем;
- трубомонтажные работы;
- механомонтажные работы;
- изготовление и монтаж изоляции;
- нанесение лакокрасочных покрытий;
- отделка и оборудование судовых помещений;
- монтаж электрооборудования и судовых кабельных трасс (для электромонтажных предприятий);
- испытания и сдача судов;
- изготовление оснастки для строительства корпуса (плазовые работы, изготовление постелей, кондукторов, стапельной позиции);
- изготовление изделий МСЧ.

Последний вид работ является наиболее сложным с точки зрения нормирования, поскольку включает широкую номенклатуру производств.

Степень укрупнения нормируемых видов работ напрямую зависит от объема исходных данных для разработки нормативов.

Важная особенность разрабатываемых нормативов, должна заключаться в учете влияния временного фактора (т.е. даты выполнения работ) на количественные оценки норм труда. Под датой достаточно понимать конкретный год выполнения работ.

Таким образом, при формировании объема исходных данных для разработки нормативов всегда необходимо включать в него параметр времени, что позволит в конце концов выявить динамику изменения трудозатрат в зависимости от даты выполнения работ.

Как уже было сказано выше, сегодня многие судостроительные предприятия заинтересованы в создании новых нормативов по труду, отражающих реальные трудозатраты их производства. Оперативному решению этой задачи могут способствовать предъявляемые к нормативам требования простоты и универсальности способов разработки:

Первое требование – **простота способа** – заключается в создании общедоступного (т.е. понятного инженеру, не имеющему специальной подготовки в области нормирования труда) алгоритма процедуры разработки норматива. Алгоритм должен состоять из последовательности решаемых на персональном компьютере (ПК) математических задач со строго определенными исходными данными, логикой принятия решений и проверкой конечных результатов на их адекватность фактическим значениям показателей норм труда.

Второе требование – универсальность способа – подразумевает единообразие применяемых подходов (алгоритмов) в создании новых нормативов. Алгоритм должен обеспечить решение поставленной задачи вне зависимости от вида работ, для которых разрабатывается норматив, и при любом объеме исходных данных.

Точность нормативных материалов характеризуется средним отклонением установленных по ним норм от фактических затрат труда. Допустимое отклонение составляет в условиях крупносерийного производства $\pm 7\%$, среднесерийного – $\pm 10\%$, мелкосерийного – $\pm 15\%$, единичного – $\pm 20\%$. Точность нормативов определяется численным значением систематических и случайных погрешностей, которые возникают в процессе сбора и математической обработки исходных данных, построения и применения нормативных таблиц (графиков).

Из перечисленного выше следует, что отсутствие информации о погрешности оценки трудоемкости снижает степень доверия к конечному результату. Поэтому одним из требований к разрабатываемым нормативам является обязательное исследование каждой полученной аналитической зависимости с целью определения величины ее погрешности.

Таким образом, разработка нормативов по труду на предприятиях судостроительной отрасли будет эффективна только в том случае, если

она проводится в соответствии с предъявляемыми к ней требованиями. К таким требованиям предлагается отнести следующие: 1) создание единой системы нормативов по труду, учитывающей организационно-технические, хозяйственно-экономические и кадровые особенности предприятия и тесно связанной с действующими на данном предприятии автоматизированными системами более высокого уровня; 2) приоритетность укрупненных нормативов по труду перед дифференцированными нормативами в процессе создания системы трудовых нормативов как новое требование, учитывающее современные условия деятельности судостроительных и электромонтажных предприятий и позволяющее оперативно охватить всю номенклатуру выполняемых ими работ; 4) минимизация погрешности оценки значений норм труда; 5) максимально возможное сокращение затрат времени и финансовых средств на разработку нормативов; 6) учет динамики изменения норм труда во времени; 7) согласование нормативов с профсоюзной организацией, действующей на предприятии, а также с другими подразделениями предприятия, участвующими в формировании норм труда и планировании объемов работ.

5.4. Методологические подходы к нормированию труда на судостроительных предприятиях в условиях неопределенности

Точность и качество норм труда является основой эффективности организации труда на предприятии, рациональности использования рабочего времени и достижения максимальной заинтересованности работников в результатах своего труда. Точность и качество норм достигается путем применения наиболее совершенного метода нормирования труда, обеспечивающего высокую степень вероятности того, что установленная величина затрат труда действительно необходима и достаточна для конкретных условий производства.

Методы нормирования труда представляют собой совокупность приемов установления норм труда, включающую анализ трудового процесса, проектирование рациональной технологии и организации труда, расчет норм. Выбор метода нормирования труда определяется характером нормируемых работ и условиями их выполнения [129]. Методы нормирования труда различаются достоверностью норм труда и подходом к определению их величины.

Для нормирования труда используют две группы методов [88]:

- аналитические методы;
- опытно-статистические (суммарные) методы.

Аналитические методы предполагают анализ конкретного трудового процесса, разделение его на элементы, изучение возможностей оборудования, рациональности организации рабочего места, применяемых приемов и методов труда, психофизиологических факторов и условий труда [80, с. 206].

В свою очередь аналитические методы классифицируются на группы по следующим признакам:

- а) по методике получения исходных данных:
 - аналитически-расчетные;
 - аналитически-исследовательские;
- б) по степени дифференциации трудового процесса:
 - дифференцированные;
 - укрупненные;
- в) по характеру зависимости норм труда от факторов, влияющих на их величину:
 - прямые;
 - косвенные.
- г) по объекту нормирования:
 - методы нормирования затрат труда и соотношений между численностью групп работников;
 - методы нормирования результатов труда; методы установления норм сложности труда.

Рассмотри перечисленные аналитические методы более подробно.

Аналитически-расчетный метод состоит в том, что при установлении норм труда используются соответствующие нормативные материалы. При этом операция разделяется на укрупненные элементы, продолжительность которых определяется по централизованно установленным нормативам или по формулам в зависимости от факторов, влияющих на их продолжительность. Таблицы нормативов строятся таким образом, чтобы можно было легко установить временную характеристику элемента операции с учетом наличия конкретного фактора, влияющего на его продолжительность. После суммирования значений времени на выполнение каждого элемента операции получают норму времени на выполнение всей операции. Действующая в настоящее время в России система общемашинострои-

тельных, межотраслевых, отраслевых и местных нормативов охватывает около 90% всех имеющихся видов работ.

Основными способами аналитически-расчетного метода являются:

- моделирование трудовой операции (процесса) и расчет нормы по нормативам на элементы операции (процесса), содержащие затраты времени на эти элементы;
- установление нормы путем сравнения нормируемого процесса с эталонным (типовым) и подбор нормы по укрупненным (типовым) нормам в целом на объект нормирования [161].

При установлении норм труда аналитически-расчетным методом применяются различные виды нормативных материалов:

- нормативы времени;
- нормативы численности;
- нормативы централизации работ;
- нормативы числа подчиненных;
- нормативы соотношений численности различных категорий работников;
- нормированные задания.

Аналитически-расчетный метод позволяет сократить время на разработку норм труда, так как при этом отпадает необходимость проведения хронометража и фотографии рабочего времени для определения фактических затрат времени на выполнение каждого элемента операции. Наряду с этим при установлении норм аналитически-расчетным методом точность устанавливаемых норм несколько снижается, поскольку нормативы не учитывают многообразие и особенности условий труда на каждом рабочем месте, применяемые нормативы труда основаны на типовых (усредненных) организационно-технических условиях выполнения работ. В связи с этим в том случае, если требуется большая точность норм, целесообразнее для установления норм труда использовать аналитически-исследовательский метод.

Несмотря на имеющиеся недостатки аналитически-расчетного метода, он является основным на российских предприятиях.

Аналитически-исследовательский метод основан на том, что исходная информация для установления норм труда получается путем наблюдений и экспериментов. Аналитически-исследовательский метод предполагает нормирование, анализ и проектирование состава и последовательности выполнения элементов оперативной работы при помощи непосредственного изучения операции методом хрономет-

ражных наблюдений, выполняемых в условиях предварительно обеспеченной рациональной организации труда и производства на рабочем месте. При этом:

- машинное время рассчитывается исходя из производительности оборудования или оптимальных режимов его работы;
- продолжительность подготовительно-заключительного времени, времени обслуживания рабочего места определяется на основе проведения фотографии рабочего времени;
- величина времени на отдых и личные надобности определяется на основе специальных физиологических исследований или рассчитывается по нормативам в процентах от оперативного времени.

Основными способами аналитически-исследовательского метода являются: исследование в производственных условиях и исследования в лабораторных условиях.

Достоинством аналитически-исследовательского метода является применение способа исследования в конкретных производственных условиях на конкретном рабочем месте, поскольку такое исследование позволяет выявить и устранить недостатки в организации труда, обслуживании рабочего места, условиях труда.

Аналитически-исследовательский метод достаточно трудоемок и требует больших затрат времени, чем аналитически расчетный. Однако точность установленных с его помощью норм гораздо выше, так как учитываются особенности и специфика условий, где они будут применяться. Тогда как нормативы разработаны на типовые организационно-технические условия.

Применение аналитически исследовательского метода необходимо в тех случаях, когда требуется достаточно высокая точность норм труда, либо нормы труда на некоторые виды работ и операций отсутствуют вовсе.

На практике аналитически-расчетный и аналитически-исследовательский методы комбинируются. На стадии освоения выпуска новой продукции, нормы труда устанавливаются аналитически-расчетным методом с использованием нормативов труда. Затем нормы труда уточняются с помощью аналитически-исследовательского метода, который позволяет оптимизировать затраты труда на новую продукцию, рационализировать приемы и методы труда, а также выявить несоответствие фактических затрат времени проектным нормам (установленным по нормативам) и скорректировать действующие нормы.

Применение двух аналитических методов в тандеме позволяет поддерживать высокое качество норм труда длительный период, поскольку недостатки одного из методов, компенсируются достоинствами другого.

Существуют определенные особенности применения аналитических методов. Комплекс методов целесообразнее использовать в условиях массового и крупносерийного производства. Аналитически-расчетный метод с применением дифференцированных нормативов на приемы и их комплексы лучше использовать в серийном производстве, где невысока детализация технологического процесса и небольшая повторяемость операций. В условиях единичного и мелкосерийного производства более приемлемым для установления норм труда является использование укрупненных норм и типовых нормативов времени, так как нормы труда устанавливаются для технологически однородных операций по изготовлению типовых видов продукции.

Границы применения аналитических методов, а, следовательно, и технически обоснованных норм, определяются следующими факторами:

- наличием нормативных материалов соответствующей степени укрупнения;
- практической возможностью применения аналитически-исследовательского метода;
- экономической целесообразностью аналитически-расчетного и аналитически-исследовательского методов;
- определенностью способов и методов выполнения нормируемой работы. Аналитические методы нормирования труда предусматривают необходимость
- комплексного обоснования норм, при котором анализируются все зависящие от производства и исполнителей факторы, определяющие величину затрат труда. Кроме того, комплексное обоснование предполагает единство и одновременность рассмотрения и оптимизации технологического процесса (включая технологические режимы работы оборудования), трудовые процессы и величины нормированных затрат труда [71].

Пример комплексного обоснования нормы затрат труда приведен в таблице 3 [161].

По степени дифференциации трудового процесса аналитические методы делятся еще на две группы методов: дифференцированные и укрупненные методы.

Таблица 3

Общий алгоритм комплексного обоснования норм затрат труда

Этапы	Работы	Критерии
1. Обоснование вида нормы и метода ее установления	1.1. Обоснование вида нормы 1.2. Выявление вариантности технологического и трудового процесса 1.3. Обоснование метода и технических средств установления нормы	- особенности нормируемого процесса и назначения нормы; - экономические
2. Обоснование технологии	2.1. Проектирование возможных вариантов технологического процесса 2.2. Выбор подмножества допустимых решений 2.3. Выбор локально оптимального решения	- технические - организационные; - психофизиологические; - экономические
3. Обоснование технологических режимов	3.1. Проектирование возможных вариантов 3.2. Выбор подмножества допустимых решений 3.3. Предварительное определение нормы основного времени 3.4. Выбор локального оптимального решения	- технические; - организационные; - психофизиологические; - технические; - экономические
4. Обоснование трудового процесса	4.1. Проектирование возможных вариантов 4.2. Выбор подмножества допустимых решений 4.3. Определение необходимых затрат времени для допустимых вариантов 4.4. Выбор локально оптимального решения	- технические; - организационные; - социальные; - психофизиологические; - экономические
5. Совместная оптимизация технологии, технологических режимов и трудового процесса. Установление нормы затрат труда	5.1. Совместное рассмотрение и выбор оптимального варианта из числа локально оптимальных и допустимых 5.2. Установление нормы с учетом отклонений реальных условий от спроектированных	- экономические; - социальные; - технические; - психофизиологические

Дифференцированные методы предполагают детальное расчленение трудового процесса на элементы (до трудовых движений и действий), и исследование факторов, влияющих на продолжительность каждого элемента. Дифференцированные методы ис-

пользуются для проектирования нового состава, последовательности и длительности выполнения элементов операции с учетом передового опыта. Особое значение дифференцированные методы имеют при разработке и установлении особо точных норм труда, применяемых при больших объемах производства. Дифференцированное нормирование является преобладающей частью аналитически-расчетного метода.

Укрупненные методы основаны на использовании укрупненных нормативов (трудоемкости на работу, операцию, обслуживания, численности) и типовых норм. Укрупненные методы предполагают расчленение трудового процесса до комплексов приемов и операций.

По характеру зависимости норм труда от факторов различают прямые и косвенные методы нормирования.

Прямые методы нормирования получили распространение при установлении функциональных зависимостей величин норм от трудоемкости соответствующих работ. Они являются наиболее рациональными и применяются для установления нормативов численности работников на определенные виды работ или по отдельным функциям управления, а также для расчета нормативов соотношений численности работников разных квалификационных групп.

Косвенные методы применяются для установления зависимости норм времени или нормы численности от факторов, которые не оказывают прямого влияния на трудоемкость нормируемых работ (чаще используются для установления оптимальной численности аппарата управления).

В свою очередь методы нормирования затрат труда и соотношений между численностью групп работников можно классифицировать следующим образом:

- метод технического расчета норм времени по нормативам;
- микроэлементное нормирование;
- нормирование по типовым нормам и укрупненным нормативам;
- нормирование на основе изучения затрат рабочего времени наблюдением (фотография рабочего дня, самофотография, хронометраж);
- методы, основанные на факторном (корреляционно-регрессионном) анализе;
- экономико-математические методы (методы моделирования).

Характеристика данных групп методов и их взаимосвязь представлена на **рисунке 5**.



Рис. 5. Классификация и характеристика аналитических методов

Разработка и установление норм труда аналитическим методом осуществляется в следующей последовательности:

1. Операция разделяется на составляющие ее элементы, то есть приемы, действия, движения. Причем, степень деления зависит от необходимой точности норм (для массового производства – более дробное, для серийного – менее, для единичного можно и не разделять вовсе, а установить комплекс приемов).

2. По каждому элементу операции определяются факторы, оказывающие влияние на его продолжительность (вес предмета труда, его параметры и др.). Также определяются условия, при которых время на выполнение каждого элемента операции будет минимальным, при наиболее эффективном использовании средств труда.

3. Особое внимание уделяется психофизиологическим факторам и ограничениям труда при выполнении работы в неблагоприятных, тяжелых и напряженных условиях труда, которые приводят к преждевременному утомлению работника и снижению его работоспособности.

4. Проводится анализ состава и последовательности выполнения операции и ее элементов, оценивается их целесообразность и рациональность выполнения.

5. Проектируется рациональный состав операции и последовательность выполнения ее элементов с учетом наилучшего влияния факторов, оказывающих влияние на ее продолжительность.

6. Определяется продолжительность выполнения каждого запроектованного элемента операции и операции в целом.

7. Разрабатываются рациональные приемы и методы труда, организационно-технические условия, обеспечивающие запроектованную продолжительность операции и ее элементов.

8. Разрабатываются организационно-технические мероприятия, позволяющие внедрить (с минимальными затратами) запроектованный рациональный трудовой процесс.

9. Внедряется рассчитанная норма труда.

Аналитические методы позволяют установить наиболее рациональные режимы работы оборудования, рациональные приемы и методы труда, определить оптимальную последовательность трудовых действий, устранить недостатки в организации рабочего места, условиях труда, а также установить рациональные режимы труда и отдыха. В целом аналитические методы позволяют рассчитать оптимально необходимые затраты времени на каждый элемент

операции и разработать обоснованную норму затрат труда на операцию (работу) в целом.

Опытно-статистические (суммарные) методы позволяют устанавливать нормы в целом на всю работу или операции без расчленения ее на соответствующие элементы. Эти методы основываются либо на опыте нормировщика, либо на статистических данных о выполнении аналогичных работ, либо их комбинации. Опытно-статистические нормы труда можно с большой условностью отнести к научно и технически обоснованным, поскольку опыт нормировщика достаточно субъективен и далеко не всегда может учесть все особенности производственного процесса.

Эти методы подразделяются на опытные (интуитивные), статистические и сравнительные (см. рис. 6).



Рис. 6. Классификация опытно-статистических методов

Опытный (экспертный) метод предполагает установление норм труда на основе опыта нормировщика и мастера.

В общем виде он должен включать следующую последовательность шагов:

- 1) набор будущих экспертов;
- 2) подготовительные работы по сбору информации и организации процесса экспертизы;
- 3) непосредственно сбор мнений экспертов;
- 4) анализ, обобщение и подведение итогов по результатам экспертизы.

Этап формирования экспертной группы оказывает основополагающее действие на качество итогового полученного результата. В качестве экспертов могут выступать руководители подразделений, непосредственные исполнители, экономисты и нормировщики.

Подготовительные мероприятия занимают больше всего времени и включают в себя следующие мероприятия:

- 1) постановка задачи и консультирование будущих экспертов;
- 2) подготовка критериев оценки проблемы и разработка шкалы для измерения значимости ответов;
- 3) создание информационного пакета для подготовки оценщиков проблемы;
- 4) выбор алгоритма конечной обработки полученных результатов.

Для упрощения сбора данных разрабатываются специальные бланки, в которые участники опроса вносят данные. После фиксации оценочных суждений выбранным математико-статистическим методом на основе полученных данных выявляются итоговое значение нормы. На данный момент в методических материалах есть несколько подходов к решению данной проблемы.

В данной работе предлагается воспользоваться одной из следующих формул, в виде мягких функций на основе РБП и РБО.

$$\{h^{(T_H)}|\mu x^{(T_H)}\} = (\{h^{(T_{min})}|\mu x^{(T_{min})}\} + 2 \times \{h^{(T_B)}|\mu x^{(T_B)}\} + \{h^{(T_{max})}|\mu x^{(T_{max})}\}) \div 4 \quad (14)$$

Или

$$\{h^{(T_H)}|\mu x^{(T_H)}\} = (3 \times (\{h^{(T_{min})}|\mu x^{(T_{min})}\}) + 2 \times (\{h^{(T_{max})}|\mu x^{(T_{max})}\})) \div 5 \quad (15)$$

где T_H – будущая норма времени;

T_{min} – минимальная экспертная оценка;

$2T_{max}$ – максимальная экспертная оценка;

T_B – наиболее вероятное значение нормы по оценкам экспертов.

Вторая методика является более простым вариантом как, с точки зрения, реализации, так и с точки зрения восприятия, так как не требует определения какого-то наиболее подходящего среднего показателя с высокой вероятностью его фактического появления. Для наглядности рассмотрим применение данных методик на примере:

Условие: Стоит задача на определение нормы времени необходимого бригаде их 5 техников, для монтажа новой, уникальной линии. В результате опроса были получены следующие данные (см. табл. 4).

Таблица 4

**Исходные данные для расчета нормы времени
опытным (экспертным) методом**

Эксперт	1	2	3	4	5
Оценка чел./час.	17	28	23	20	26

Применим первый вариант, в качестве наиболее вероятного сценария примем значение 20:

$$(17 + 2 \times 20 + 28) / 4 = 21,25 \text{ чел. час.}$$

По второму методу

$$(3 \times 17 + 2 \times 28) / 5 = 21,4 \text{ чел. час}$$

Как видно, результат получен практически идентичный и выбор формулы в данном случае не так критичен, однако с точки зрения расчетов, применение второго варианта проще.

В практике может иметь место ситуация, когда разбег значений мнений экспертов очень велик и привести их к единому мнению практически невозможно. Для подобных случаев очень давно был придуман метод Делфи. Первоначально он разрабатывался для выработки общего объективного мнения формализованным и обоснованным способом из множества абсолютно противоположных. Его главное отличие от использования одной формулы в том, что он предполагает проведение опроса в несколько этапов, и последующую планомерную обработку полученных данных.

Рассмотрим подробно методику Делфи более подробно:

1. Проводится первый раунд опроса, на основе полученных результатов рассчитывается медиана по формуле среднеарифметической простой:

$$\{h^{(M)} | \mu x^{(M)}\} = \{h^{(\Sigma x)} | \mu x^{(\Sigma x)}\} \div \{h^{(N)} | \mu x^{(N)}\} \quad (16)$$

где X – оценки участников опроса;

N – общее количество участников опроса.

2. Рассчитывается первый квардиль – средняя всех значений меньше медианы.

3. Рассчитывается третий квардиль – средняя цифра результатов больше медианы.

4. Проводится следующий этап опроса, однако перед экспертами ставится ряд ограничений:

- обязательная аргументация при изменении оценки;
- если озвученное экспертом значение выходит за пределы диапазона между первым и третьим квардилем, он либо корректирует его, либо оставляет неизменным, но подробно аргументирует почему.

После окончания этого тура, проводятся подсчеты аналогичные приведенным в **пунктах 1–3**.

5. Далее последовательность шагов повторяется до того момента, пока все оценочные значения экспертов не попадут в промежуток между первым и третьим квардилем.

6. Полученная на последнем этапе медиана и будет искомой цифрой норматива.

7. Затем рассчитывается коэффициент вариации (K_B) позволяющий оценить, насколько согласованы ответы экспертов по формуле:

$$\{h^{(K_B)} | \mu_X^{(K_B)}\} = \left(\left(\left(\{h^{(K_3)} | \mu_X^{(K_3)}\} \right) - \left(\{h^{(K_1)} | \mu_X^{(K_1)}\} \right) \right) \times \left(2 \times \left(\{h^{(M)} | \mu_X^{(M)}\} \right) \right) \right) \times 100\% \quad (17)$$

где K_3 – третий квардиль;

K_1 – первый квардиль;

M – медиана.

Возможная интерпритация полученных результатов отражена в таблице 5.

Таблица 5

Интерпретация полученных результатов

Значение коэффициента K_B	Степень согласованности
$K_B < 20\%$	Хорошая
$20\% < K_B < 50\%$	Удовлетворительная
$K_B > 50\%$	Неудовлетворительная

Рассмотрим применение данного метода на примере.

Предположим, была поставлена задача разработать норму времени на разовые работы, для чего была создана экспертная комиссия из 2 линейных руководителей, 2 специалистов финансового отдела и 2 нормировщиков. Всего 6 человек. Результаты ее работы было решено оформить в форме протокола.

После проведения начального опроса были получены значения в часах 10,15,13,16,21,17. Далее производится расчет описанному выше алгоритму:

1. Медиана: $(10 + 15 + 13 + 16 + 21 + 17) / 6 = 15,3$ чел. час.
2. Первый квартиль: $(10 + 15 + 13) / 3 = 12,7$ чел. час
3. Второй квартиль: $(16 + 21 + 17) / 3 = 18$ чел. час.

Таблица 6

Исходные данные для оценки по методу Делфи

Наименование оцениваемого норматива	Тур опроса	Экспертная оценка нормативной трудоемкости, час						Медиана М	Квартили		Коэффициент вариации
		1	2	3	4	5	6		К 1	К 3	
Выполнение разовой работы i-го вида	1	10	15	13	16	21	17	15,3	12,7	18,0	11%
	2	13	16	13	16	19	18	15,8	13,0	17,3	
	3	13	16	13	16	17	17	15,3	13,0	16,5	

4. После завершения первой попытки, экспертам было предложено поменять мнение. Первый эксперт увеличил свою оценку, поскольку признал, что не настолько опытен в данном вопросе, однако он против чрезмерного увеличения сроков выполнения, второй согласился немного увеличить свою оценку. Третий настоял на том, что за меньший срок работу выполнить нельзя, как и четвертый. Пятый сказал, что его первоначальный прогноз был чрезмерно пессимистичным и уменьшил свой прогноз времени. Шестой напротив, решил увеличить норму времени. После этого повторяется расчет по алгоритму пункта 1-3.

5. Третий тур становится завершающим, так как все значения оказались в диапазоне предыдущего тура. В качестве норматива принимается значение 15,3 часа.

6. Проверка степени согласованности также дает великолепный результат в 11%: $(16,5 * 13) / (2 * 15,3) \times 100\%$.

Полученное значение коэффициента говорит о приемлемом результате.

Метод сравнения сравнительный метод сводится к установлению нормы труда посредством сравнения сложности и объема нормируемого вида работ с такими же работами (работой), на которую ранее уже была установлена норма (то есть по аналогии). Для реализации данного метода необходимо провести определенную подготовительную работу, заключающуюся в выполнении следующих шагов:

1) выбор эталона который будет являться отправной точкой в расчетах;

2) определение факторов, которые потребуют проведение его корректировки и значений их весов;

3) разработка повышающих или понижающих коэффициентов для учета влияния установленных факторов;

4) пересчет итогового норматива на основе сводного коэффициента.

Факторами, ведущими к изменению базового норматива, могут быть:

1) недостаток элементной базы;

2) слабость производственных мощностей;

3) неритмичность поставок сырья и материалов;

4) квалификация персонала;

5) технический уровень производства и т.д.

Сводный корректирующий коэффициент в этом случае определяется по формуле:

$$\{h^{(K_C)}|\mu x^{(K_C)}\} = \{h^{(\sum V_K)}|\mu x^{\sum V_K}\} \quad (18)$$

где K_C – сводный корректирующий коэффициент;

V – удельный вес коэффициента;

K – значение коэффициента по конкретному фактору.

Рассмотрим пример определения веса коэффициента по каждому фактору. Для этого создается таблица, в котором каждому фактору проставляется определенное количество баллов, а затем баллы по нему делятся на общий итог всем факторам (см. табл. 7).

Определение коэффициента повышения либо понижения по каждому фактору производит либо исполнителей на основе оценки, насколько каждый из них влияет на результат, либо нормировщик, опираясь на свой опыт. Результатом может стать следующая таблица:

Таблица 7

Определение удельного веса коэффициента по факторам

Фактор	Баллы	Удельный вес
Площадь объекта	8	0,25
Наличие необходимой техники	15	0,45
Квалификация персонала	10	0,30
Итого	33	1

Как видно из таблицы, за счет площади объекта норма увеличится на 0,32, за счет недостатка техники на 0,405, за счет недостатка квалификации рабочих на 0,33, сводный коэффициент прироста нормы составит 1,05. Предположим, согласно выбранному эталону нужно 150 человеко-часов. Тогда искомый норматив составит $150 \times 1,05 = 157,5$ человеко-часов на проект.

Статистический (экстраполяционный) метод заключается в установлении норм труда по данным, взятым из соответствующих статистических отчетов, о фактических затратах времени на аналогичную работу в прошлом периоде, [80, с. 210] т.е. с помощью экстраполяции (перенесения тенденций, сложившихся в прошлом и настоящем на будущий период).

Таблица 8

Определение корректирующих коэффициентов

Фактор	Баллы	Удельный вес, V	Коэффициент корректировки затрат времени, K	VK
Площадь объекта	8	0,25	1,3	0,32
Наличие необходимой техники	15	0,45	0,9	0,405
Квалификация персонала	10	0,30	1,1	0,33
Итого	33	1		1,05

Таким образом, опытно-статистические методы основываются на состоянии производства и отражают фактически сложившиеся затраты времени. Поэтому, установленные таким образом нормы не позволяют эффективно использовать производственные ресурсы и должны заменяться нормами, установленными аналитическими методами.

Сравнительная характеристика рассмотренных аналитических и опытно-статистических методов нормирования труда представлена в таблице 9.

Таблица 9

Сравнительная характеристика аналитических и опытно-статистических методов нормирования труда [81]

Характеристика	Аналитические методы		Суммарные (опытно-статистические методы)		
	Аналитически-расчетные	Аналитически-исследовательские	Опытный (экспертный)	Статистический (экстраполяционный)	Сравнительный (метод аналогии)
Трудоемкость	Менее трудоемок	Более трудоемок	Низкая трудоемкость работ	Более трудоемок	Низкая трудоемкость
Точность полученных нормативов труда	Точность ниже, так как нормативы разработаны на типовые организационно-технические условия [129, с. 209] и не учитываются изменения в конкретных производственных условиях. Высокая степень точности для дифференцированных аналитически-расчетных методов (например, микроэлементное нормирование) [129, с. 211]	Точность выше, так как учитываются конкретные организационно-технические условия	Точность норм зависит от опыта и квалификации нормировщика, являются субъективными	Имеют своей базой математическую статистику (теорию выборочного метода), а следовательно, значения норм труда более достоверны, так как устанавливаются на основе определенной выборки работы [127, с. 136]	Ориентирован на аналогичные работы, нормируемые в прошлом, а следовательно, не могут учесть специфику нормируемых в реальных условиях работ
Эффективность использования производственных ресурсов	Позволяют определить наиболее эффективные режимы оборудования, рациональные приемы и методы труда, последовательность трудовых действий, устранить недостатки в организации рабочего места, условий труда, установить рациональные режимы труда и отдыха и в итоге рассчитать необходимые затраты времени на каждый элемент и разработать норму затрат труда на работу (операцию) в целом [129, с. 206]		Такие нормы не позволяют эффективно использовать производственные ресурсы.		
Обоснованность	Технически обоснованные		Не являются технически обоснованными		
	Обеспечивают необходимую степень обоснованности норм при значительно меньших затратах на сбор исходной информации [129, с. 59]	Обеспечивают необходимую степень обоснованности норм при значительно больших затратах на сбор исходной информации			

Продолжение Таблицы 9

Прогрессивность норм	Проблема поддержания уровня прогрессивности норм путем периодических пересмотров и корректировок с учетом изменений, происходящих в технике, технологии и организации труда [129, с. 207]	Достоинством является проведение исследования непосредственно на рабочем месте, что позволяет выявить и устранить недостатки в организации труда, обслуживании рабочего места, условиях труда. [129, с. 207] Ориентируется не на прогрессивные, а на местные достижения, на местную трактовку уровня научности организации производства работу. [127, с. 142]	Устанавливает нормы на основе фактических затрат в прошлых периодах на такую же работу	Переносит недостатки норм прошлого периода на будущий, не учитывает изменение организационно-технических условий	Устанавливает нормы на основе фактических затрат в прошлых периодах на аналогичную работу
Условия применения	В условиях массового и крупносерийного производства В серийном производстве используется данный метод с применением дифференцированных нормативов на приемы и их комплексы [129, с. 209] В единичном и мелкосерийном производстве целесообразно применение данного метода для расчета укрупненных норм и типовых нормативов времени	В серийном производстве (где сравнительно меньше дательная разработка технологического процесса, значительно меньше повторяемость операций, больше разнообразие приемов) устанавливаются нормы с помощью данного метода в основном на ручные элементы наиболее распространенных операций [129, с. 209] На тех рабочих местах, где точность норм имеет особую значимость Отсутствуют нормативы, необходимые для нормирования работ [129, с. 209]	Базируются на фактическом состоянии производства и, следовательно, отражают фактические затраты времени. [129, с. 210] Нормы, как правило, занижены и не соответствуют сложившимся организационно-техническим условиям, не учитывают опыт новаторов производства, а потому не стимулируют рост производительности труда работу [127, с. 137–138] Используются в исключительных случаях, при установлении временных норм, когда по каким-то причинам своевременно, до начала работ, не представляется возможным определить величину трудовых затрат другими методами нормирования труда: – в опытном производстве; – при выполнении аварийных работ [127, с. 138] [80, с. 210]		

	Такие нормы разрабатываются для технологически однородных операций по изготовлению типовых деталей данной группы. [129, с. 210]	Когда нет утвержденного технологического процесса на нормируемые операции (работы) и отсутствуют разработанные нормативы. При определении норм, точность которых не обеспечивается применением нормативов, так как они разрабатываются на типовые организационно-технические условия выполнения работ (например, при нормировании ручных работ в массовом производстве, где точность норм особенно необходима). При разработке новых и корректировке действующих нормативов времени на отдельные составные части нормы времени. Когда условия на производстве резко отличаются от условий, заложенных в нормативах. Для определения уровня напряженности условно-постоянных норм после отмены временных норм работу. [127, с. 140-141]	

Аналитические и опытно-статистические методы нормирования труда определяют условия, обеспечивающие равную напряженность норм труда. Равная напряженность норм состоит в равенстве объективных предпосылок (возможностей) для выполнения норм.

На практике нормы затрат труда, как правило, отклоняются по своей величине от уровня необходимых затрат рабочего времени, поэтому для оценки этого различия и используется понятие «напряженность норм». Отношение необходимого времени к величине его затрат, предусмотренной нормой, называют показателем напряженности норм. Если величина нормы отклоняется от необходимого времени в допустимых пределах, то напряженность такой нормы называется оптимальной.

В практике нормирования приняты следующие допустимые отклонения норм от необходимых затрат, зависящие от типа производства, где эти нормы применяются (таблица 10).

Достижение равной напряженности норм является сложным процессом, предполагающим соблюдение следующих условий:

- единство методов и методик нормирования труда;
- единство нормативных материалов для расчета норм и методов исследования затрат рабочего времени;
- достаточная квалификация технологов и специалистов по нормированию труда;
- возможность практической реализации проектной технологии, организации труда и производства;
- материальная и моральная заинтересованность рабочих, инженерно-технических работников и руководителей производства в высоком качестве норм труда.

Таблица 10

Допустимые отклонения норм от необходимых затрат

Показатель	Тип производства				
	Массовое	Крупносерийное	Среднесерийное	Мелкосерийное	Единичное
Число выполненных операций, приходящихся в среднем на одно рабочее место	1	2–10	11–20	21–40	Больше 40
Допустимое отклонение норм от необходимых затрат, %	±5	±7	±10	±15	±20

Основным условием сохранения равной напряженности норм является их своевременный пересмотр с изменением условий труда и требований точности.

Таким образом, методы нормирования труда – это совокупность приемов установления норм, включающая анализ трудового процесса, проектирование рациональной организации труда и расчет норм труда. Выбор метода определяется характером нормируемых работ и условиями их выполнения, выполнявшейся ранее аналогичной операцией.

Чтобы определить время выполнения такого микроэлемента, необходимо задать число, показывающее, сколько раз микроэлемент повторяется. Например, время микроэлемента «Вращать рукой» определено в расчете на один оборот. Если процессом предусмотрено четыре оборота, то следует указать количество полных оборотов $4n$, на которое умножается время микроэлемента «Вращать рукой».

Микроэлементы могут выполняться последовательно, одновременно или совмещаться во времени.

Последовательными микроэлементами называются такие комплексы микроэлементов, при которых один орган либо различные органы тела человека совершают циклы отдельных микроэлементов без перекрытия времени их выполнения. Например, комплекс микроэлементов «Протянуть руку» и «Взять» выполняются последовательно.

Одновременными микроэлементами называют микроэлементы, которые выполняются обеими руками при взаимодействии их с одним и тем же предметом. При выполнении одновременных микроэлементов как правая, так и левая рука начинают и заканчивают работу в одно и то же время, например, микроэлементы «Переместить предмет», «Установить на плоскость», выполняемые двумя руками, являются одновременными.

Совмещенными микроэлементами называют такие сочетания микроэлементов, при которых два и более органа тела в один и тот же промежуток времени выполняют несколько движений. Например, комплекс, состоящий из микроэлементов «Повернуть туловище», «Протянуть руку» и «Взять предмет», выполняется в большинстве случаев совмещено.

Совмещенные микроэлементы характеризуются различными значениями перекрытий во времени. Отдельные микроэлементы перекрываются полностью, но большинство – частично, то есть часть микроэлемента совмещается во времени с другими микроэлементами.

Таблица 11

Классификатор микроэлементов и факторов, влияющих на их продолжительность (извлечение) [71]

№ п/ п	Группа микроэлементов		Вид микроэлемента		Количественные факторы		Качественные факторы			
	Наименование	Код	Наименование	Код	Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	Краткая характеристика	Код
1	Протянуть руку	ПР	Протянуть руку	ПР	Расстояние протягивания руки	S, мм	Степень контроля	К	Малая – к предмету, расположенному в другой руке	1
							Наличие осторожности	ОС	Средняя – к единичному предмету, расположение которого заранее определено или известно приблизительно, к предметам, расположенным в ряд или однородным, находящимся в таре	2
									Большая – в точное место, к предмету, который перемешан с другими, разнородными, к очень маленькому предмету или предмету, находящемуся в пачке	3
									Без осторожности – к твердому или мягкому предмету	1
									С осторожностью – к скользкому, горячему, хрупкому или острому предмету	2

Определение времени выполнения микроэлементов должно осуществляться с учетом совмещения, для этого используются коэффициенты совмещения, которые устанавливаются ко времени перекрываемых микроэлементов и определяют ту часть времени микроэлемента, которая совмещается со временем перекрывающего микроэлемента.

Описание содержания трудового процесса по микроэлементам достаточно трудоемко и объемно. Сократить объем и трудоемкость работ можно при помощи использования нормативов на часто встречающиеся типовые комплексы микроэлементов. Чем выше степень укрупнения комплекса, тем меньше трудоемкость работ по установлению норм труда.

Типовые комплексы должны формироваться с учетом следующих основных принципов:

1. Принцип универсальности предполагает возможность использования типового комплекса в различных трудовых процессах без изменения его содержания.

2. Принцип иерархии укрупнения заключается в том, что предусматривается ряд степеней укрупненных типовых комплексов. При этом типовые комплексы низшей степени укрупнения должны иметь такой состав движений, чтобы их можно было легко, желательно без добавления микроэлементов, могли сформироваться комплексы более высокой степени укрупнения.

3. Организационный принцип предполагает необходимость формирования типовых комплексов в соответствии с тем или иным типом планировки, имеющим место на производстве. В зависимости от типа планировки реализация трудового процесса достигается использованием микроэлементов вспомогательной группы, связанных со сменой позы либо положения исполнителя в пространстве. К ним относятся микроэлементы: Х – «Ходить»; ПТ – «Повернуть туловище»; Н – «Наклониться»; В – «Выпрямиться»; С – «Сесть»; ВС – «Встать».

4. Целевой принцип предполагает, что в основе формирования типовых комплексов любого уровня укрупнения заложен признак цели. Цель действий достигается использованием микроэлементов основной группы, то есть связанных с непосредственным обращением с предметом труда. Для типовых комплексов формулировка цели носит предельно формализованный характер, например, «Установить предмет». Содержание комплекса «Установить», может быть таким: «Переместить», «Установить на плоскость», «Отпустить». Данным со-

держанием комплекса охватывается значительное число ситуаций, имеющих конкретное смысловое наименование. Это может быть «Отложить молоток», «Установить заготовку в матрицу штампа», «Установить лекало на крой» и т.д.

Каждый отдельно взятый елевой признак должен быть конкретизирован в зависимости от способа выполнения, то есть должны быть сформированы разновидности комплексов в пределах одной целевой группы.

5. Принцип отсутствия совмещений между комплексами заключается в том, что типовые комплексы должны формироваться таким образом, чтобы при их агрегации в элемент трудового процесса между ними не возникало совмещений.

Исходя из степени удобства описания трудовых процессов, существует следующая классификация типовых элементов по степени укрупнения:

I степень укрупнения – микроэлемент; описывает отдельное движение или их сочетание; соответствует мельчайшим элементам трудовых процессов, которые далее расчленять нецелесообразно (взять);

II степень укрупнения – сочетание микроэлементов; описывает элемент трудового процесса, представляющий собой простое действие либо их сочетание (сложное действие), не имеющее законченности в обращении с предметом. Производится без использования предмета либо с использованием одного или двух предметов одновременно (совмещенная работа двух рук). Нормативы времени на трудовые действия могут представлять собой систему микроэлементных нормативов времени второй степени укрупнения – БСМ-2;

III степень укрупнения – сочетание комплексов II степени укрупнения и микроэлементов; описывает законченный элемент трудового процесса от момента начала движений по взятию одного либо двух предметов (при совмещенной работе двух рук) от отпущения одного из них либо обоих и представляющий собой, как правило, прием. Нормативы времени на трудовые приемы могут представлять систему микроэлементных нормативов третьей степени укрупнения – БСМ-3;

IV степень укрупнения – сочетание комплексов III и II степени укрупнения и микроэлементов; описывает элемент трудового процесса, связанный с последовательным использованием нескольких предметов и представляющий собой комплекс приемов либо технологически неделимый переход (установить и закрепить гайку гаечным ключом). Нор-

мативы времени на комплексы приемов могут представлять систему микроэлементных нормативов IV степени укрупнения – БСМ-4.

Схематично иерархия нормативов разной степени укрупнения может быть изображена следующим образом:

$$\text{БСМ 1} \rightarrow \text{БСМ 2} \rightarrow \text{БСМ 3} \rightarrow \text{БСМ 4}.$$

При проектировании трудовых процессов и расчете норм времени с использованием типовых элементов и микроэлементных нормативов времени разной степени укрупнения первоначально обращаются к комплексам приемов и микроэлементным нормативам IV (высшей) степени укрупнения.

Таким образом, наиболее рационально применение системы микроэлементных нормативов времени для проведения микроэлементного анализа и проектирования рациональных трудовых процессов; нормирования трудовых процессов; при разработке нормативов времени различной степени укрупнения.

Анализ и проектирование трудового процесса с помощью системы микроэлементных нормативов состоит из следующих этапов:

- выбор объекта исследования;
- определение организационно-технических условий выполнения работы;
- расчленение работы (операции) на микроэлементы;
- выявление факторов, влияющих на время их выполнения;
- нормирование трудового процесса;
- проектирование трудового процесса;
- анализ трудового процесса;
- проектирование трудового процесса и установление времени его выполнения. Время выполнения микроэлементов определяются по таблицам – номограммам. Затем
- путем суммирования времени выполнения микроэлементов (с учетом времени совмещения одновременно выполняемых микроэлементов) определяется нормативное время на выполнение приема. Суммируя время выполнения приемов, получают необходимое время на выполнение операции.

Учитывая зарубежный и российский опыт, микроэлементное нормирование является наиболее универсальным, поскольку именно его использование обеспечивает единство норм труда, необходимое качество и снижение трудоемкости работ по нормированию труда и проектированию трудовых процессов [71].

Таким образом, учитывая актуальность вопроса современного нормирования труда и вышеизложенное, необходимо решать проблемы применения микроэлементного нормирования труда как технического, программного, так и нормативного характера. Решение имеющихся проблем в дальнейшем позволит, используя опыт наших соотечественников, подкрепленный современными информационными технологиями, оптимизировать процедуры нормирования труда современных производственных процессов, точность норм, а также обеспечит специалистов, отвечающих за нормирование труда на предприятии, соответствующим эффективным инструментарием. Для работника появится возможность реализовывать свои трудовые способности за счет повышения интереса в более эффективном использовании рабочего времени, и в то же время это требования нормальных условий и организации труда, оптимальной его напряженности, установленной на базе объективно рассчитанных затрат. Таким образом, в условиях развития экономики страны возрастает необходимость возрождения и развития основ научной организации труда, ее основных направлений применительно к условиям конкретной организации независимо от форм собственности и структур управления. Тем самым результат проводимого исследования и дальнейшей научно-исследовательской работы нацелен на достижения положительного экономического эффекта, при этом будет оказана значительная помощь руководителям предприятий повысить рентабельность производства, в том числе и за счет повышения производительности труда.

ГЛАВА 6

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЦИКЛОВ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ: ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИКОЙ В УСЛОВИЯХ ПОЛИЦИКЛИЧНОСТИ

Г.А. Щербаков

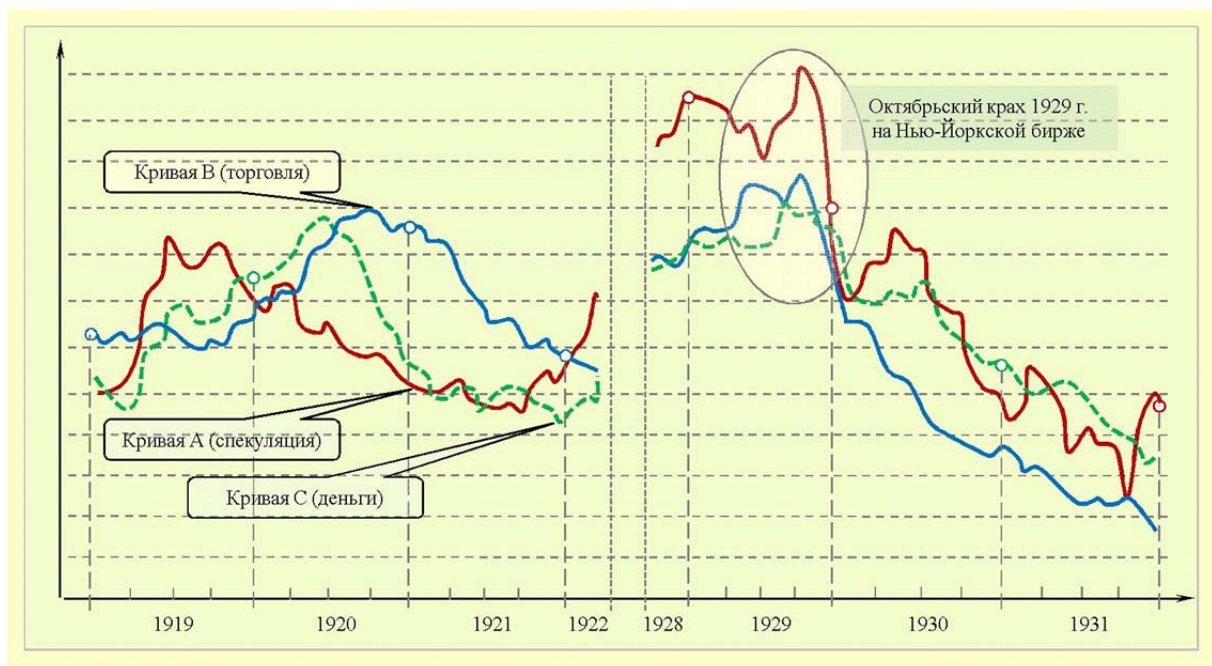
Введение

Более восьмидесяти лет назад английская газета «Manchester Guardian» писала, что «мы больше знаем о вращении нашей планеты вокруг солнца и солнца вокруг вселенной, чем об экономических циклах. Мы можем предсказывать движения неведомых и непостижимо далеких небесных тел с несравненно большей точностью, чем предсказывать экономический кризис» (цит. по: [8, с. 6]). За прошедший период данное утверждение не утратило своей актуальности, что побуждает мировую экономическую мысль вновь и вновь возвращаться к изучению экономического цикла. Его происхождение продолжает оставаться одной из наиболее спорных и обсуждаемых проблем, к которой экономическая теория не сформировала единой научной позиции. При этом до настоящего времени предметом научных дискуссий остается не только вопрос о природе и содержании, но даже и о видах циклических колебаний.

К настоящему времени практически каждая из ведущих экономических школ в рамках теорий, вполне корректно описывающих хозяйственные реалии своего периода, представила собственный анализ изменений, происходящих в экономической среде, где не только цикл, но и меры по снижению негативного влияния циклических колебаний на экономику традиционно занимают центральное место. Однако при смене рыночной конъюнктуры, сопровождающейся наступлением очередной рецессии, теории проявляют

неадекватность сложившейся экономической ситуации, а построенные на их основе прогнозы становятся ошибочными. Например, знаменитый Гарвардский барометр в 1929 году еще показывал рост в то время, когда экономика США уже испытывала разрушительное воздействие Великой депрессии (рис. 1). Сложное эконометрическое построение ОВЕ при ретроспективном анализе не обнаруживало рецессии 1960–1961 гг., а наиболее разработанная и совершенная Уортонская модель – негативных событий 1957–1958 гг. [30, с. 218].

Экономические потрясения 2008–2009 гг. также стали неожиданностью для мировой экономической науки, оказавшейся, кроме того, не в состоянии дать убедительное обоснование причин ряда последовавших экономических потрясений регионального и мирового масштабов, а также длительного периода угнетенного состояния, в котором оказалась мировая экономика в настоящее время. Данное обстоятельство обнажает необходимость проведения дальнейших исследований, а также поиска новых подходов к изучению данной проблематики.



Источник: составлено автором.

Рис. 1. Гарвардский барометр в периоды кризисов 1920 и 1929 гг.

Один из вышеуказанных подходов развивается в рамках исследований полициклической экономической динамики, подразумеваю-

щей, что экономическое развитие является совокупностью процессов, формируемых в пределах взаимодействующих и взаимозависимых циклов различной длительности, в первую очередь, средне- и долгосрочных экономических циклов.

6.1. Методологические основы изучения экономических циклов различной длительности

Эволюция научных подходов к проблеме экономического цикла в контексте изучения среднесрочной динамики хозяйственного роста. Понимание того, что движение мирового хозяйства имеет нелинейный характер, закрепилось в экономической науке в XIX веке – в период бурного промышленного роста, сопровождавшегося периодическими подъемами и потрясениями рынков. Указанное чередование условий ведения хозяйственной деятельности способствовало формированию в научной среде представления о существовании экономических циклов.

Впервые предположение о повторяемости экономических процессов было выдвинуто еще в XVIII столетии, когда в основу первой воспроизводственной модели, изложенной в работе «Экономическая таблица» (1758 г.) основоположника физиократического направления Франсуа Кенэ (Франция), была заложена методология возобновления производственных циклов. Однако сама идея цикличности в экономике была сформулирована только в середине XIX столетия (1860 г.) Клеманом Жюгляр (Франция), который в развитии совокупного капитала во Франции впервые установил наличие колебаний в 7–11 лет, связанных с производством активов и основных фондов (1816/1819 – 1828 – 1839 – 1848/1849 – 1855 – 1864 – 1872/1873 гг.). Сочинение Жюгляра «О торговых кризисах...» (1862 г.) стало первой научной работой, в которой было введено понятие «цикл» и выделены три его фазы: процветание, кризис, депрессия.

Исследование французского ученого, построенное на разрозненной, недостаточно сопоставимой, противоречивой информации (характеризующей объемы индустриального выпуска в ряде базовых отраслей, а также ценовую динамику основных товарных позиций), в значительной мере имело характер интуитивного познания, так как индексы, характеризующие совокупные объемы промышленного производства, стали рассчитываться намного позже опубликования

монографии К. Жюгляра¹. Исследователи цикла того периода были лишены возможности статистически верифицировать свои научные предположения, так как в середине XIX века макростатистические агрегаты, подкрепляющие современные научные дискуссии по проблемам колебаний экономической активности просто отсутствовали.

В середине XIX столетия экономическая наука была дополнена гипотезой о существовании «промышленного» цикла, детально рассмотренной в «Капитале» К. Маркса (со ссылкой на авторство К. Жюгляра). Цикличность экономического развития К. Маркс сравнивал с небесными телами, постоянно воспроизводящими свое движение. Так же и общественное производство, по мнению классика, периодически воспроизводит чередующиеся сокращения и расширения, когда следствия становятся причинами, а постоянно возобновляющиеся этапы производственного процесса принимают характер периодичности [35, с. 647, 648].

В конце XIX – начале XX столетий экономисты многих стран проявляли интерес к цикличности в развитии мирового хозяйства, среди них: Р. Макдональд, У.С. Джевонс, Т. Уильямс (Англия), А. Афтальон, Ж. Лескюр, М. Ленуар (Франция), К. Каутский, А. Шпитгоф (Германия), В. Парето (Италия), Т. Веблен (США), Г. Кассель, К. Виксель (Швеция). Однако вплоть до 1930-х годов теории цикла развивались на периферии экономической мысли, так как доминирующие позиции в тот период занимала неоклассическая школа, трактующая экономические спады как случайное, быстропроходящее явление и постулирующая внутреннюю способность рыночного хозяйства автоматически адаптироваться к любым нарушениям баланса предложения и спроса. Главенство неоклассического подхода в существенной степени обусловило и то обстоятельство, что первые научные представления об экономическом цикле развивались как экзогенные теоретические конструкции, рассматривавшие циклические колебания как результат влияния на экономическую систему внешних факторов.

Среди прочих обращает внимание теория видного представителя «маржиналистской революции» Уильяма Стенли Джевонса (Англия), доказывавшего наличие зависимости спадов хозяйственной деятельно-

¹ Только с 1897 г. начинается систематическая публикация индексов Брэдстрита, и с 1899 г. появляются такие же индексы лондонского «Экономиста». Первые замеры национального дохода произведены С. Кузнецом лишь в 1934 г., а доклад с включением соответствующих данных за период 1929–1935 гг. был представлен Конгрессу США в 1937 г.

сти от 10,5-летних циклов солнечной активности. По его наблюдениям, периодически повторяющиеся годы высокой активности Солнца совпадают с годами природных аномалий на Земле, приводящих к неурожаю, которые, в свою очередь, вызывают нестабильность в смежных с аграрным сектором отраслях и далее последовательно втягивающих в кризис всю систему хозяйствования. Определенная экстравагантность указанной гипотезы скрывает нестандартную идею, заключающуюся в следующем. В большинстве национальных экономик в середине XIX столетия преобладал аграрный сектор, а изменение погодных условий, вследствие воздействия Солнца на климат, влияло на урожай, цены и рентабельность сельскохозяйственного производства. Кроме того, аграрная продукция служила сырьем для легкой индустрии – отрасли, доминировавшей в тот период как по объемам выпуска, так и по формированию спроса на факторы производства. Закономерно, что сбои со снабжением этой отрасли сырьем (например, хлопковый дефицит 1847 г.) служили каналом передачи кризисных тенденций из сельского хозяйства в промышленность. На этом основании Джевонс утверждал, что «придет время, когда в Лондонском Сити станут так же внимательно следить за состоянием солнца, как сейчас следят за состоянием кассы Английского Банка» [53, с. 251].

На рубеже XIX–XX веков возникли эндогенные концепции экономического цикла, объяснявшие циклические колебания внутренней нестабильностью самой хозяйственной системы, а фазы цикла – обычными и неминуемыми периодами экономической жизни. В доминировавших в тот период моделях определяющее положение занимали детерминированные алгоритмы, задающие колебания инвестиций. Смена фаз цикла в большинстве теоретических конструкций (не исключая марксистские) воспринималась, в первую очередь, как результат разнонаправленного движения финансового капитала, а также динамики обновления производственного капитала.

Основу первой эндогенной теории экономического цикла составили идеи М.И. Туган-Барановского (Россия), изложенные в его работе «Периодические промышленные кризисы» (1894 г.) [52]. Причину динамики цикла Туган-Барановский видел в изменении величины сбережений и инвестиций. Сбережение денежного капитала сопровождается постепенным снижением его стоимости – процентной ставки, которая, по мере приближения к некоему нижнему уровню, создает мотивацию к инвестированию капитала, которое ранее было неэффективно вслед-

ствие высокой стоимости кредита. Увеличение инвестиций стимулирует расширение производства, характеризующего начало циклического подъема. Однако процесс роста инвестиций сопровождается постепенным расходом сбережений, влекущим удорожание заемного капитала и снижение объемов капиталовложений. Начинается период инвестиционного, а затем и производственного спада и одновременного наращивания сбережений. Таким образом цикл возвращается к своему исходному состоянию и повторяется вновь.

Туган-Барановский стал первым российским экономистом («первым представителем российской аналитической традиции» [21, с. 26]), концептуально представившим видение природы экономических потрясений и получившим международное признание. Он, по словам его ученика Н.Д. Кондратьева, заставил экономическую мысль Европы обратить серьезное внимание на ее развитие в России и способствовал выводу русской экономической науки на уровень европейской [25, с. 112]. Э. Хансен охарактеризовал идеи русского ученого как поворотный пункт в исследованиях экономического цикла [55, с. 301]. Ж. Лескюр назвал книгу «Промышленные кризисы...» «самым оригинальным и самым значительным произведением во всей экономической литературе настоящего времени» и причислил к последователям российского ученого таких известных экономистов, как Шпитгоф, Поле, Эйленбург, Шмоллер [52, с. IX]. А. Шпитгоф открыто упоминал о связи своих теоретических положений с идеями М.И. Туган-Барановского. В. Зомбарт в своем реферате о германском кризисе 1900 г., прочитанном на собрании Союза социальной политики в 1903 г., оценил работу российского коллеги как «чрезвычайный шаг вперед и, без сомнения, высшую форму теории кризисов», хотя в целом и не поддерживал позицию М.И. Туган-Барановского. И даже Дж. М. Кейнс не скрывал «сильной симпатии» в отношении «в высшей степени оригинального» предшественника [57, с. 345].

В начале XX века вышли в свет работы К. Викселля, содержавшие анализ самоусиливающихся (кумулятивных) процессов, составляющих важную часть механизма движения цикла. В статье «Загадка деловых циклов» (1907 г.) К. Виксель поставил вопрос о динамике хозяйственной системы, связав ее с изменениями процентных ставок и цен. Ученый проводил различие между текущей процентной ставкой на финансовом рынке и процентной ставкой реального сектора экономики, определяемой максимальной производительностью промышленного капитала. Превышение второго над первым способствует перетеканию капи-

тала из финансового в реальный сектор, возникновению добавочного денежного предложения, повышению цен, а затем увеличению производственного выпуска. Чрезмерный кредитный спрос ведет к превышению денежной над естественной ставкой, изменению движения капитала в противоположном направлении, сопровождаемого дефляцией, сокращением инвестиций, снижением индустриального выпуска.

В своем изложении самоусиливающихся процессов К. Виксель моделировал циклы номинальных доходов и движения цен, связывая волатильность реального сектора экономики не с номинальными циклами, а с происходящими непосредственно в воспроизводственном секторе не вполне объяснимыми сдвигами, которые позднее получают название шоков. Их происхождение и механизм перерастания в циклические колебания казались шведскому ученому загадочными, достойными углубленного изучения. Некоторые экономисты оценивают научный подход К. Викселя как основу более поздней теории реальных деловых циклов, отмеченной в 2004 г. Нобелевской премией по экономике (Э. Прескотт, Ф. Кидланд).

А. Афтальон в работе «Периодические кризисы перепроизводства» (1913 г.) впервые проанализировал особенности взаимодействия процессов создания основного капитала и производства потребительской продукции, зависимость последнего фактора от продолжительности «периода вызревания» производственных фондов (периода строительства предприятия) и продолжительности их эксплуатации. Указанные особенности объясняют, по убеждению А. Афтальона, то обстоятельство, что незначительные колебания потребительского спроса способны вызвать существенную волатильность чистых инвестиций. Данное явление позднее было названо принципом акселерации, детально доработанным неокейнсианскими авторами.

Заметное место в теории экономической динамики занимает кредитно-денежная (монетарная) концепция цикла, рассматривающая кризисы как следствие нарушений баланса денежного предложения и спроса (И. Фишер, Р. Хоутри). Увеличение денежного потока (денежного выражения потребительского спроса) стимулирует оживление торговли, расширение производства, рост цен. Сокращение денежного потока порождает обратную ситуацию. Сам денежный поток регулируется «потребительскими затратами» – расходами из дохода.

В целом, в «межвоенный» период выделялись два государства, где изучение экономических циклов получило системный характер.

Первая страна – США, в которой исследование циклов концентрировалось в Национальном бюро экономических исследований. Со времени основания (1920 г.) НБЭИ под кураторством У. Митчелла и Дж. Мура активизировало сбор различных исторических публикаций, характеризующих динамику деловой активности в 17 ведущих государствах, включая Англию и США (за период 1790-1925 гг.), Францию (1840-1925 гг.), Германию (1853-1925 гг.), а также Россию. У. Торп, возглавлявший работы, подготовил основательное исследование «Анналы хозяйственной жизни» (1926 г.), в котором только список литературы содержал сотни разнотипных источников. Бюро тщательно исследовало ряды статистических переменных, пытаясь установить индикаторы среднесрочного цикла (запаздывающие, лидирующие, совпадающие). На основе этой работы Дж. Мур определил критерии, составляющие основу современной индикации циклов и рецессий НБЭИ. Научное признание получила подготовленная в НБЭИ книга «Измерение деловых циклов» (1946 г.) А. Бернса и У. Митчелла.

Вторая страна – Советский Союз, где в 1920-е годы на базе Конъюнктурного института при Наркомфине СССР (директор – Н.Д. Кондратьев) проводились системные исследования проблем цикличности в экономике, а также изучение и обобщение зарубежного опыта в указанной области.

В контексте изучения экономической динамики в России (в рамках перспективного планирования) впервые в мире велась работа над созданием моделей экономического роста, две из которых были описаны в 1926 г. и 1927 гг. «первопроходцем» в указанной области В.А. Базаровым (статьи «Кривые развития капиталистического и советского хозяйства», 1926 г.; «Капиталистические циклы и восстановительный процесс хозяйства в СССР», 1928 г.). Г.А. Фельдман в 1928 г. обнародовал двухсекторную модель экономического роста (статья «К теории темпов роста народного дохода», 1928 г.), позже возвращенную в область научных исследований кейнсианцем Е. Домаром (США). Проводимые в это период отечественные разработки находились в «мейнстриме» мировой экономической науки, о чем свидетельствуют одновременные достижения западных эконометриков: производственная функция Кобба-Дугласа (1928 г.), модель экономического роста Ф. Рамсея (1928 г.), модель экономического роста Дж. фон Неймана (1932 г.), производственная функция с нейтральным по Хиксу техническим прогрессом (1932 г.) [41, с. 183].

В 1930-е годы мировую известность получают работы Е.Е. Слуцкого, выпустившего в 1910–1920-е годы несколько статей во Франции, Германии, Италии и одну – в Великобритании. В наиболее известной работе «Сложение случайных причин...», изначально опубликованной в 1927 г. в издаваемом Конъюнктурным институтом журнале «Вопросы конъюнктуры» [49], Слуцкий обосновал тезис, что «сложение случайных величин может быть источником циклических, иначе говоря, волнообразных процессов» [49, с. 45]; эти волны приобретают определенную правильность, сложение случайных причин приобретает форму, отвечающую тенденции стремления к синусоидальности¹.

Выход указанной статьи совпал с разворачиванием в СССР острой критики деятельности Конъюнктурного института, в рамках которой некоторые представители отечественного экономического корпуса расценили гипотезу Слуцкого как «буржуазную попытку лишить научного обоснования циклическость капиталистических кризисов и представить объективные процессы результатом случайностей» [12, с. 125]. После ликвидации Конъюнктурного Института², репрессирования его руководителей, а также ряда экономистов, сотрудничавших с институтом, центр изучения цикла переместился в Институт мирового хозяйства и мировой политики (ИМХиМП).

Исследования ИМХиМП базировались на весьма солидном массиве фактических и статистических данных, вместе с тем, они по

¹ Данный тезис основан на результатах проведенного вычислительного эксперимента, исходным материалом которого являлась последовательность взаимно независимых одинаково распределенных случайных чисел, в качестве которых использовались последние цифры номеров облигаций, выигравших в нескольких тиражах выигрышного займа. Данная последовательность рассматривалась как модель некоторого исходного временного ряда, который затем подвергался сглаживанию посредством скользящего усреднения. Сглаженный ряд снова подвергался такой же обработке и т.д. В результате 3–4-х последовательных сглаживаний получались ряды, представляющие собой гладкие и почти строго периодические волны. В статье Е. Е. Слуцкого приводится анализ этого эффекта, выполненный методами в то время еще только зарождающейся теории случайных процессов. Автор выдвинул гипотезу о том, что многие колебательные процессы, в частности экономические, механизм формирования которых неясен, могут представлять собой результат накопления чисто случайных флуктуаций, как это имело место в вычислительном эксперименте. Результаты исследования явились наглядным примером опасности сглаживания рядов с помощью скользящего среднего значения и доказательством того, что случайные величины могут генерировать регулярные циклы при некоторых переходных режимах.

² Конъюнктурный институт в июне 1928 г. был переподчинен ЦСУ, который в январе 1930 г. сам был реорганизован в экономико-статистический сектор Госплана. В процессе реорганизации Конъюнктурный институт был закрыт [21, с. 24].

идеологическим причинам фокусировались на кризисах, так как марксистская наука требовала новых доказательств имманентности капиталистической системе хозяйствования все более разрушительных экономических катаклизмов.

В это время в зарубежной экономической науке с появлением в 1936 г. базового труда Дж. М. Кейнса стартовала кейнсианская теория экономического цикла (Р. Харрод, П. Сэмюэлсон, Дж. Хикс, Э. Хансен), которая не только включила ряд ранее разработанных концепций, но и заняла центральное место в новом теоретическом подходе, нацеленном на объяснение движущего механизма капиталистической экономики, причин ее отклонений от равновесного состояния, а также на выработку рецептов противодействия негативным процессам хозяйственного развития.

Согласно кейнсианской теории, циклическая динамика определяется изменениями эффективного спроса, характеризуемого, в свою очередь, величиной инвестиций и потребления, а экономический цикл является итогом взаимного влияния национального дохода, накопления и потребления. Взаимодействие трех указанных факторов кейнсианская теория рассматривает в качестве устойчивых связей, определяемых коэффициентами мультипликатора (влияние роста инвестиций на увеличение национального дохода) и акселератора (зависимость инвестиций от изменения национального дохода)¹.

¹ Следует отметить, что еще задолго до появления основных трудов Дж. М. Кейнса близко к основным положениям кейнсианства подошел М.И. Тутан-Барановский. В последней крупной работе российского экономиста «Бумажные деньги и металл» (1917 г.) на основе анализа валютных проблем, возникших в результате первой мировой войны, сформулирована т.н. «конъюнктурная теория денег», где Тутан-Барановский утверждает, что изменение стоимости денег в ходе экономического развития при неизменности величины денежной массы в народном хозяйстве определяется скоростью денежного обращения и кредитного предложения. Ссылаясь на указанное соображение, ученый выступает за достижение «рациональной денежной политики» путем антициклического манипулирования объемами массы денег в обращении [51, с. 49, 52]. На основании того, что данное положение было сформулировано на десятилетие раньше выхода в свет кейнсианского «Трактата о денежной реформе», некоторые исследователи полагают, что взгляды Кейнса в области денежного обращения в определенной мере определялись влиянием теории денег М.И. Тутан-Барановского [9, с. 213]. Вместе с тем следует отметить, что подход М.И. Тутан-Барановского не учитывает психологии (ожиданий) экономических агентов, которые занимают заметное место в идеях Дж. М. Кейнса. Российский ученый, наоборот, подчеркивает, что стоимость денег – «совершенно бессознательный стихийный продукт общей конъюнктуры товарного рынка» [51, с. 50; 57, с. 346–347].

Будущий нобелевский лауреат (1970 г.) П. Самуэльсон, развивая идеи Дж. М. Кейнса о «мультипликаторе инвестиций», создал в 1939 г. модель, в основу которой было заложено «самое знаменитое в экономической теории» (Т. Сарджент, цит. по: [54, с. 23]) конечно-разностное уравнение второго порядка, формализовавшее процесс взаимодействия между акселератором и мультипликатором.

Глубокий анализ механизмов экономического цикла содержится в монографии Дж. Хикса «К теории торгового цикла» (1950 г.). Исследование, являющееся вариантом плодотворного синтеза кейнсианского и неоклассического подходов, сфокусировано на процессе акселерации: основной источник колебаний экономики автор находит в зависимости динамики инвестиций от изменений величины производственного выпуска. Работа содержит тщательный анализ «потолка» циклического подъема – объективных пределов, ограничивающих расширение производства и увеличение денежных доходов. Долговременный рост, подкрепляемый увеличением от цикла к циклу объемов инвестиционных вложений в экономику, способствует «повышению потолка экономики» – расширению пределов хозяйственного развития.

Послевоенный период в мировом хозяйстве отличался высокой экономической конъюнктурой конца 1940-х – начала 1960-х гг., что трактовалось как следствие эффективного антициклического регулирования экономики со стороны государства. Однако в конце 1960-х и в 1970-е годы в обстановке резкого увеличения инфляции и неэффективности используемых мер антициклического регулирования кейнсианская теория цикла оказалась под нарастающим давлением критики со стороны оппонентов – неоклассиков, которые предложили монетарную теорию. Ее основатель М. Фридмен рассматривал неравномерность денежного предложения со стороны государства (основной составляющей стабилизационной политики) в качестве основной причины колебаний цикла. Представители монетарной теории находили в экономическом цикле точную копию денежной дефляции и инфляции, воспроизведенную в незначительном масштабе. Денежной системе свойственна нестабильность. Депрессия возникает вследствие уменьшения потребительских затрат, сокращения объема денежных средств в обращении и отягощается снижением скорости денежного обращения. В период экономического подъема доминируют инфляционные процессы. На этом основании монетаристы считали, что если сбалансировать денежный поток исчезнет и волатильность

экономического развития. Антициклическое регулирование монетаристы предлагали перевести с кейнсианских методов, вызывавших существенные колебания массы денег в обращении, на жесткое ограничение ее годового прироста в 3-4% в год.

В 1970–1980-е годы появились новые теоретические трактовки цикла – «новая» классическая теория (Р. Лукас, Т. Сарджент, Н. Уоллес) и теория реальных деловых циклов (Р. Кинг, Ч. Плоссер, с. Ребе-лоу, Ф. Кидленд, Э. Прескотт). Указанные направления современной экономической теории уделяли особое внимание логике и выверенности своих теоретических конструкций. В отличие от кейнсианской школы они не требовали эконометрической верификации своих постулатов и не претендовали на прикладную ценность (практическую применимость) своих теоретических построений, открыто иронизируя относительно популярных в вульгарной кейнсианской традиции расчетов на «точную настройку» хозяйственного механизма.

Наиболее заметным представителем новых направлений теории экономического цикла стал Р. Лукас (США), призывавший большее внимание уделять вопросам экономического роста, а не цикличности хозяйственной системы (хотя сборник его самых известных статей имеет название «Исследования теории экономического цикла» (1981 г.). Будущий нобелевский лауреат (1995 г.) обосновывал такую позицию тем, что рецессии обычно имеют продолжительность в 3–6 месяцев, когда снижение ВВП составляет, как правило, не более 2–3%, а экономический рост обладает огромной «мощью». В фокусе модели цикла, предложенной Р. Лукасом, находятся импульсы, вызываемые изменениями в денежном предложении (поэтому Г. Мэнкью называет монетаризм первой волной новой классической теории). Подвергая критике кейнсианский постулат о несовершенной гибкости цен, Р. Лукас, по сути, выдвигает тезис о несовершенстве обращения хозяйственной информации, когда единственным (или базовым) источником экономической информации для предпринимателя становятся рыночные цены¹ [54, с. 28]. Указанное обстоятельство вызывает нера-

¹ Равновесие, по мнению Лукаса, достигается, когда экономические агенты взвешенно оценивают причины совокупной ценовой динамики (рациональные ожидания). Вместе с тем, отдельный производитель, оперирующий на рынке одного товара (отраслевом рынке), как правило, не обладает достоверными данными об общем уровне цен p , но имеет возможность отслеживать ценовую динамику своего товара p_i ($i = 1, 2, \dots, n$). На практике общий рост цен, вызываемый расширением денежной массы со стороны эмиссионного центра (центробанка), сначала воспринимается производителем как уве-

циональные ожидания участников рынка и связанные с ними колебания экономической активности.

Другая теория, завоевавшая особую популярность в последнее время, – теория реальных деловых циклов – базируется на гипотезе, что основные (как правило, непредвидимые) шоки – это внешние воздействия на реальный сектор, которые неизбежно сказываются на динамике совокупного производства. Соответственно, благоприятные шоки (импульсы, влекущие увеличение совокупного производства) стимулируют экономическую активность, а шоки, влияющие на снижение совокупного производства, формируют основу для развития противоположных тенденций.

В основу данного подхода положено наблюдение К. Викселля (изложенное в статье «Загадка деловых циклов», 1907 г.), что экономика похожа на лошадь-качалку: с какой бы стороны ее ни толкнули – она будет воспроизводить схожие движения: то есть, получая шок в неизвестном направлении, экономика реагирует всегда одинаково – ростом или падением [54, с. 32, 39].

Авторы теории отмечены в 2004 г. Нобелевской премией. При этом, по результатам опросов, более половины ведущих экономистов не поддерживают или не вполне разделяют ведущие положения теории реальных деловых циклов¹. Вместе с тем большинство из них признают, что работа Ф. Кидленда и Э. Прескотта достойна указанной награды [68, с. 83–84].

В последние два десятилетия XX столетия аналитические построения «новой» классической экономики завоевали академическую репутацию. Одновременно претерпевала обновление кейнсианская теория цикла, ряд представителей которой (Р. Клауэр (США), А. Лейнхувид (Швеция), подвергнув острой критике «ортодоксальное» прочтение кейнсианской теории, предложили ее модернизированную трактовку,

личение цен на его товар, то есть как рост относительных цен. Со временем нерациональность ожиданий производителя относительно роста цен на его товар обнаруживается, и предложение падает. Так как подобная ситуация происходит в различных сферах хозяйства, происходит откат к прежнему уровню и совокупного предложения. В итоге вновь восстанавливается «нейтральность денег», являющаяся краеугольным принципом классической теории [54, с. 26–28].

¹ Например, один из наиболее известных экономистов, бывший министр финансов США, президент Гарвардского университета Л. Саммерс заявил: «Тот тип модели реального цикла, который настоятельно рекомендует нам Прескотт, не имеет ничего общего с феноменом делового цикла, наблюдаемым в рамках американской экономики или экономики других капиталистических стран» [68, с. 86].

заклучавшуюся в необходимости усиления внимания к финансовым аспектам рыночного хозяйства, а также к несовершенности и неопределённости информации, как факторам, конституирующим его анархическую природу.

Резюмируя вышеизложенное, следует отметить, что в рамках формирования вышеуказанных научных подходов проделана значительная и весьма полезная работа по изучению экономической динамики. Однако деятельность исследователей была сконцентрирована исключительно на явлениях среднесрочной экономической динамики (средние, промышленные, торговые, деловые циклы К. Жюгляра). Подобное самоограничение объективно сужает пределы научного познания исследуемого объекта и не позволяет корректно уяснить действительную природу тех экономических процессов, влияние которых выходит за пределы среднесрочного периода и находит свою реализацию в более длительных периодах экономического развития. Попытка объяснить системные изменения в экономике в рамках традиционных подходов приводит к появлению эффектных, однако не вполне убедительных теоретических конструкций вроде «новой нормальности» и пр. На их фоне еще более актуально звучит необходимость выработки новых методологических подходов к исследованию циклов, выходящих за рамки действующей парадигмы и требующих изучения в формате долгосрочных циклов.

Исследования долгосрочной экономической динамики как основы формирования качественных сдвигов в экономической системе закономерно вытекает из знаний, приращенных в результате изучения среднесрочной динамики.

В 1847 г. английский экономист Х. Кларк в процессе изучения движения цен и процентных ставок выделил период в 54 года, разделявший две мировые «экономические катастрофы» 1793 и 1847 гг., и предположил наличие определенных «физических причин» существования, а также возможную закономерность повторения подобных периодов. Несколько позже его соотечественник У.С. Джевонс, связывавший экономические флуктуации с циклами солнечной активности (длительностью в 10,5 лет) впервые попытался статистически выявить в развитии экономики более длительные колебания. Обнаружив в статистике цен воспроизводящиеся долговременные периоды падения и подъема, ученый не смог представить объяснения выявленных закономерностей, что был вынужден констатировать в 1865 г. следу-

ющим образом: «Я не знаю ни одной причины, которую можно было бы считать общей для всех случаев» (цит. по: [38, с. 7]).

На исходе XIX столетия наличие длительных хозяйственных колебаний отмечал М.И. Туган-Барановский, что однако не нашло какого-либо развития в его теоретических конструкциях. Тогда же (1898, 1901 гг.) другой отечественный автор И.Л. Гельфанд (Парвус), имевший успех, прежде всего, в среде российской социал-демократической эмиграции, указывал, что современный мир в экономическом плане представляет единый, тесно сросшийся организм, и состояние национальных экономик все более характеризуется зависимостью от мирового рынка, где политика государств становится его игрушкой, а национальная буржуазия оказывается все менее способной распоряжаться своей собственной судьбой [40, с. 3]. Парвус отмечал, что мировому экономическому развитию свойственны длительные фазы экспансии, спада и застоя, при этом периодические кризисы в период подъема протекают слабее, а во время спада – глубже и продолжительнее¹.

Во 2-м десятилетии XX века увидели свет работы Ж. Лескюра (1912, 1914 гг.), М. Ленуара (1913 г.), А. Афтальяна (1913 г.), где упоминался (но подробно не анализировался) феномен долгосрочных колебаний [38, с. 9].

Первой состоятельной попыткой дать объяснение природы долгосрочной динамики стала теория волнообразного эволюционного движения в капиталистическом хозяйстве Я. Ван Гельдерена (1913 г.), где на довольно большом объеме статистического материала по ценам, финансам, международной торговле, занятости, миграции, была представлена экзогенная трактовка источников длительных колебаний в экономике. Голландский исследователь предположил «наличие долгосрочных экономических циклов, охватывающих все стороны процесса воспроизводства, и представляющих собой самостоятельное макроэкономическое явление» [27, с. 55]. В качестве внешнего толчка, вызывающего интенсификацию роста предложения и общественного спроса, он рассматривал внедрение новых технологий и появле-

¹ В.И. Ленин дал весьма одобрительную рецензию основной работе «талантливого германского публициста, пишущего под псевдонимом Парвуса» и «усиленно» рекомендовал ее «всем читателям, интересующимся отмеченными вопросами» [31, с. 61]. В письме А.Н. Потресову (26.01.1899 г.) Ленин писал: «Насчет Parvus'a – я не имею ни малейшего представления об его личном характере и отнюдь не отрицаю в нем крупного таланта» [32, с. 21].

ние новых рынков. Влияние данных факторов постепенно, по мере исчерпания потенциала потребительского рынка и источников сырья, утрачивается. Рост сырьевых цен влечет увеличение производственных затрат, снижение прибыли, падение заработных плат, сокращение производства и наступление депрессии. При этом Ван Гельдерен не представил причин, возвращающих экономику от длительной депрессии к подъему [38, с. 8].

Теория Ван Гельдерена нашла развитие в исследованиях его соотечественника С. Де Вольфа (1924 г.). Основываясь на предположении К. Маркса, что материальной основой цикличности в экономике становится срок эксплуатации оборудования (в середине XIX века – 10–13 лет), Де Вольф пытался найти источник долгосрочных колебаний в длительности эксплуатации основного капитала транспортной инфраструктуры (дороги, верфи). Исходя из нормы амортизации данных объектов (на тот период – 2,6%), ученый вычислил долгосрочный цикл оборота инвестированного в инфраструктурные сооружения капитала, составивший примерно 40 лет. При этом С. Де Вольф установил наличие фиксированного соотношения между долгосрочными волнами и циклическими кризисами: 1 волна содержит 5 кризисов [38, с. 9].

«Почти одновременно и совершенно независимо» [38, с. 9] от исследований голландских экономистов разработки в области долгосрочной динамики велись в России. Их результатом стало формирование теории длинных волн Н.Д. Кондратьева, впервые изложенной в авторской монографии 1922 г. [24] и специальной статье 1925 г. [22, с. 28–79]. Научный подход отечественного экономиста базировался на анализе важнейших экономических переменных за 1780–1920-е годы для Великобритании, США Германии и Франции (товарные цены, процентные ставки, заработная плата, внешнеторговый оборот, производственный выпуск свинца и чугуна, добыча и потребление угля). В итоге были установлены временные ряды, доказывавшие наличие «больших циклов конъюнктуры» (2 полных и 1 незавершенный) длительностью в 48–60 лет (среднее значение – 54–55 лет), каждый из которых включал понижательную и повышательную волны.

Указанные циклы проявлялись в движении уровней показателей или темпов их изменения, а также имели интернациональный и в различной степени согласованный между собой характер¹. Несмотря на

¹ Осознавая, что эконометрическая модель хозяйственного развития неспособна учесть воздействие всех внутренних, и тем более внешних факторов, Н.Д. Кондратьев

отрицательную реакцию большинства отечественных экономистов, критиковавших ученого за узость эмпирической базы и слабости методики экономико-математической верификации данных, Н.Д. Кондратьев последовательно продолжал отстаивать свою позицию в дальнейших работах. Многие замечания в адрес ученого, были резонансны, однако само обсуждение длинных волн изначально имело не столько научное, сколько идеологическое содержание. Теория Кондратьева находились в явном противоречии с марксистским объяснением кризиса как следствия углубляющегося противоречия между производительными силами и производственными отношениями и как свидетельства неизбежного краха капиталистической системы хозяйствования. Она была расценена как желание обосновать долгосрочный характер капиталистической системы хозяйствования, стремление доказать, что кризис, за которым неизбежно следует новый подъем, не является пределом ее существования. В связи с этим возникали «основания» оценивать научные взгляды Н.Д. Кондратьева апологетичными по отношению к капитализму, а самого ученого – «наиболее ярким представителем буржуазной мысли» [12, с. 86]. Указанное мнение получило широкое распространение и, без сомнения, повлияло в дальнейшем на судьбу выдающегося экономиста.

Более того, утверждение Н.Д. Кондратьева, что социальные потрясения и войны являются частью движения капиталистического хозяйства, но представляют собой не исходные силы указанного движения, а лишь функцию и форму [22, с. 61], вступало в противоречие с позицией одного из идеологов советской России Л.Д. Троцкого, который на основании собственной теории длинных волн утверждал, что

указывал на относительную точность соответствия тенденций развития того или иного национального хозяйства совокупной тенденции мирового экономического развития. В статье «Большие циклы конъюнктуры» (1925 г.) и в докладе на дискуссии по данной проблеме в Институте экономики Российской ассоциации научно-исследовательских институтов общественных наук. (Москва, февраль 1926 г.), Кондратьев утверждал: «Считая пока невозможным определить совершенно точно годы перелома в развитии больших циклов и учитывая неточность определения моментов таких переломов (на 5–7 лет), проистекающую из самого метода анализа данных, можно все же наметить следующие наиболее вероятные границы больших циклов: (1) повышательная волна 1-го цикла – конец 1780-х – начало 1790-х / 1810–1817 гг.; (2) понижательная волна 1-го цикла – с 1810–1817 до 1844–1851 годов; (3) повышательная волна 2-го цикла – с 1844–1855 до 1870–1875 годов; (4) понижательная волна 2-го цикла – с 1870–1875 до 1890–1896 годов; (5) повышательная волна 3-го цикла – с 1891–1896 до 1914–1920 годов; (6) вероятная понижательная волна 3-го цикла – с 1914–1920 годов» [22, с. 45].

долгосрочные циклы (5 разноразмерных периодов в 1781–1921 гг.) не имманентны развитию экономической системы, а вызваны внешними нециклическими факторами – ослаблением или обострением классовой борьбы – и являются историческими периодами замедления и ускорения развития капитализма [50, с. 8, 10].

Л.Д. Троцкий представил «схематический чертеж» кривой капиталистического развития за 90 лет, направление которой «определяется характером образующих ее частных конъюнктурных кривых». В указанной кривой отчетливо, по мнению Троцкого, выделяются три отрезка: 20 лет очень медленного экономического развития, 40 лет активного роста, 30 лет длительного упадка и кризиса. «Если на эту диаграмму нанести важнейшие исторические события за то же время, то уже одного наглядного сопоставления крупных политических фактов с изгибами кривой будет достаточно для того, чтобы дать мысли неопределимые отправные точки для историко-материалистического исследования» [50, с. 10].

В 1930-е годы В. Ньюмен и Дж. Риггольмен (США), изучая годовые показатели жилищного строительства, разработали первые индексы строительной отрасли и выделили в их динамике последовательные интервалы активного роста и длительного спада, получившие название «строительных циклов». В 1946 г. С. Кузнец (США) на основе исследования статистических данных по динамике национального дохода, потребления, капиталовложений в производственное оборудование, промышленные сооружения и здания выявил взаимосвязанные колебания продолжительностью в 20 лет. При этом в строительстве указанные колебания проявлялись наиболее последовательно и имели наибольшую амплитуду. После опубликования монографии Кузнецца «Национальный доход» (1946 г.) понятие «строительный цикл» было практически замещено термином «длинные колебания» (long swings), что вносило некоторую терминологическую путаницу с учетом уже открытых «длинных волн» Н.Д. Кондратьева (long waves). В качестве признания достижений американского экономиста в 1955 г. было принято называть «строительный цикл» «циклом Кузнецца». Спустя два десятилетия (1968 г.) М. Абрамовиц (США) описал механизм цикла Кузнецца как «цепочку мультипликативно-акселератного контура», генерирующую динамику строительного цикла по следующей схеме. Доход (увеличение национального продукта) стимулирует прирост населения (рождаемость и миграционный приток), который

формирует дополнительный совокупный спрос, в том числе на жилье. В результате происходит рост капиталовложений, включая инвестиции в жилищное строительство, что, в итоге, повышает ВВП.

В период перед Второй мировой войной исследования цикла были дополнены инновационной теорией Й. Шумпетера, который в своей работе «Циклы деловой активности» (1939 г.) осуществил попытку определить движущие силы экономической динамики, определив внедрение инноваций в качестве фактора, способного придать необходимое движение хозяйственной системе, а диффузию инноваций – фактором, возвращающим экономику к состоянию, существовавшему до подъема¹. Научные взгляды австрийского ученого заложили мощный фундамент для дальнейших исследований в области инноваций и имеют множество последователей (Г. Менш, А. Кляйнкнехт, М. Гяратана, с. Кузнец, Я. Ван Дейн, с. Торриси, А. Пагано, с. Ю. Глазьев, Ю.В. Яковец и др.).

Дальнейшее исследование и развитие теории «длинных волн» Н.Д. Кондратьева привели к возникновению множества самостоятельных теорий (как конкурирующих, так и дополняющих друг друга), каждая из которых раскрывает отдельные стороны многомерных экономических процессов, и по этой причине, несомненно, имеет право на существование. Прежде всего, это уже упомянутая инновационная теория, согласно которой, инновационная активность представляет собой ключевой фактор, вызывающий циклические изменения в экономике. Среди других многочисленных теорий, развивающих исследование кондратьевских волн, выделяются: теория перенакопления в капитальном секторе (Дж. Форрестер, модель системной динамики); ценовые теории (Р. Берри, У. Ростоу); монетарные теории (Е. Шокэрт, П. Карпинен, Д. Дельбеке, Р. Батра); теория перенакопления рабочей силы (К. Фримен); концепция технологических укладов (С.Ю. Глазьев, Д.С. Львов, К. Перес, М. Хироока); теория эволюционной экономики (Р. Нельсон, с. Уинтер, В.И. Маевский); социологические концепции (К. Перес, Э. Скрепант, Й. Миллендорфер, М.

¹ Следует отметить, что Й. Шумпетер первоначально рассматривал инновационный процесс в рамках среднесрочной динамики, имея в виду, прежде всего, инвестиции в разработку и создание новых продуктов [38, с. 181]. В подобной трактовке внедрение инноваций могло рассматриваться исключительно в качестве инструмента достижения рыночных преимуществ, но никак не в качестве движущей силы долгосрочной хозяйственной динамики, составившей фундамент инновационной теории, которая обеспечила ее автору мировое признание.

Ольсен, Дж. Гаттеи, с. Вибе, В. Вайдлих, Б. Сильвер); теория смены базовых энергоносителей (Н. Накиценович), теория военных циклов (Дж. Голдстайн).

В постсоветский период российская экономическая наука освободилась от идеологического догмата и была представлена рядом содержательных работ по исследованию циклов. В эти же годы происходила «научная реабилитация» кондратьевской теории «длинных волн», первым этапом которой стала публикация в 1989 г. книги С.М. Менъшикова и Л.А. Клименко «Длинные волны в экономике. Когда общество меняет кожу» [38], где подробно отражены различные концепции, разработанные за рубежом в процессе развития теории Н.Д. Кондратьева. Одновременно появились профильные работы С.Ю. Глазьева, Д.С. Львова, Л.И. Абалкина, Н.А. Макашевой, с. П. Аукционека и др., составившие теоретическую основу современных исследований долгосрочной экономической динамики в России и за рубежом.

6.2. Содержание и взаимосвязь экономических циклов различной длительности: полициклическая модель экономического развития

Развитие экономики имеет свой ритм, с различной постоянностью проявляющийся во всех областях экономической жизни: в динамике производства и цен, в расширении и сокращении процентной ставки и кредита, в изменениях оплаты труда и занятости и пр. [58, с. 17]. В результате взаимодействия множества отдельных флуктуаций образуются волны экономической конъюнктуры, происходит циклическое чередование совокупного хозяйственного оживления и застоя.

В целом, в составе динамического ряда, отражающего экономический процесс в его статистических показателях, можно выделить пять составляющих, среди которых: (1) главная («вековая») тенденция (тренд); (2) разнонаправленные циклические отклонения от тренда (экономические циклы); (3) сезонные колебания деловой активности; (4) специфические ряды, представляющие собой отклонения отдельных экономических показателей, величина или характер которых не способны повлиять на общую экономическую ситуацию (доходы от облигаций, безналичные расчеты, курсы акций и пр.); (5) остаток,

или случайная компонента, являющаяся следствием воздействия различных факторов стохастического свойства.

Последние два вида статистических переменных не несут особо полезной информации для исследований макроэкономической динамики. Несколько иначе дело обстоит с сезонными колебаниями хозяйственной активности, имеющими три потенциальных источника: (а) сезонные изменения потребительского спроса (на Новый год, Рождество и т.д.); (б) сезонные изменения производительности (сокращение производительности в строительном секторе в зимний период и т.д.); (в) сезонные изменения в предложении на рынке труда (массовые отпуска в конце 2-го – 3-м квартале и т.д.). Так, ежегодный сезонный подъем в экономике США всегда происходит в 4-м квартале. В этот период производственный выпуск превышает на 5% аналогичный показатель предыдущего (3-го) и почти на 8% последующего (1-го) кварталов. Спад индустриального выпуска в 1-м квартале недлителен и уже во 2-м квартале объем производства вырастает почти на 4%. Эта ежегодная сезонная модель практически включает более 85% совокупных колебаний реального объема промышленного производства [1, с. 387]. Однако, при изучении циклов влияние сезонных колебаний обычно не учитывается. Корректировка статистической информации путем элиминирования сезонных флуктуаций позволяет исследователям игнорировать краткосрочные изменения и сосредоточиться на колебаниях среднесрочного цикла, а также более долговременных тенденциях хозяйственного развития.

На основании проведенных исследований, можно утверждать, что экономическая динамика представляет собой взаимодействие нанизанных от большого к малым экономических циклов, классифицируемых следующим образом:

циклы Китчина (3–4 лет; «коммерческие циклы»), являющиеся следствием изменения относительной величины товарно-материальных запасов на предприятиях¹;

циклы Жюгляра (7–12 лет; «промышленные», «торговые», «деловые», «средние» циклы), связанные с инвестициями в оборудование и машины, являются следствием взаимодействия многообразных кре-

¹ Американский ученый российского происхождения Дж. Китчин обосновал в 1922 г. наличие краткосрочных экономических циклов длиной в 3–4 года (среднее значение – 3,5 года), связанных с движением товарных запасов.

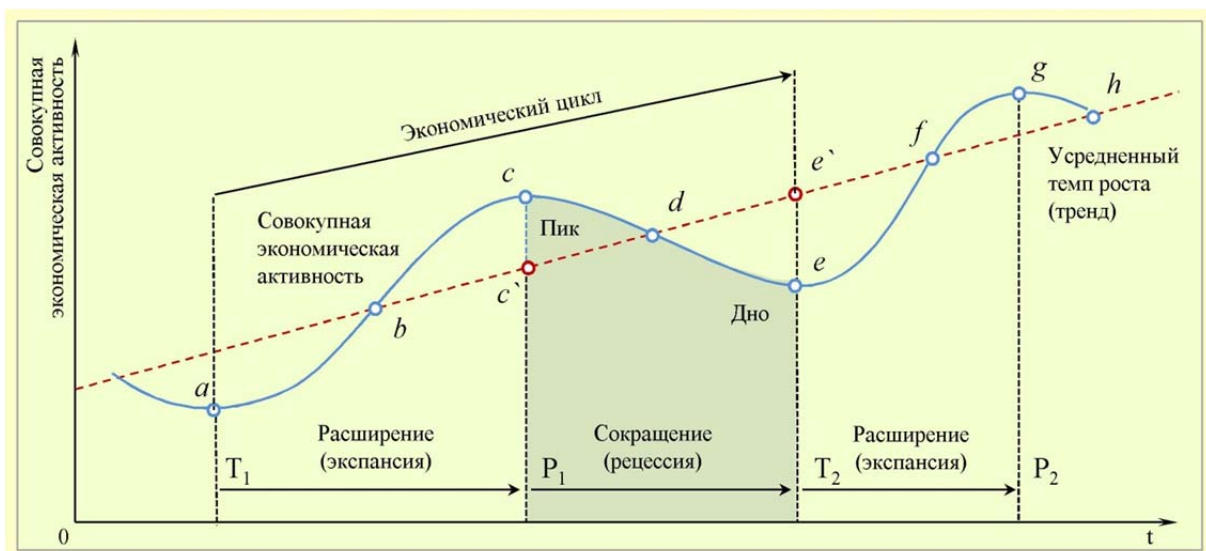
дитно-денежных факторов. Выражаются в колебаниях ВВП, а также уровней инфляции и занятости;

циклы Кузнецца (16–20 лет; «строительные циклы», «длинные колебания»), движущая сила – сдвиги в воспроизводственной структуре производства;

циклы Кондратьева (40–60 лет; «большие циклы», «длинные волны»), движущая сила – коренные изменения в технологической базе общественного производства, связанные с возникновением новых технологий и производственных отраслей, его структурная перестройка.

Следует учитывать, что циклы не являются астрономическими явлениями, и их периодичность не следует воспринимать в математическом смысле. Экономический цикл развивается в экономических условиях доминирующей хозяйственной системы и как явление социального характера, может в известных пределах растягиваться и сокращаться [52, с. XI].

В современной научной литературе широко применяется терминология и модель цикла, представленная НБЭИ, где он содержит 4 фазы: оживление (расширение), экспансия (бум), сжатие (рецессия, спад), депрессия. На графике 2 пунктиром выделена линия, отражающая усредненный темп увеличения общей экономической активности (тренд), а сплошная кривая демонстрирует фактические отклонения от указанного тренда.



Источник: составлено по материалам [1, с. 363; 28, с. 415].

Рис. 2. Отклонения совокупной экономической активности от тренда хозяйственного риска

Динамика экономической активности имеет циклический характер, графически выраженный в постоянном воспроизведении движения между точками Р и Т по схеме Р 1-Т 1-Р 2-Т2...Рn-Тn. Период снижения экономической активности именуется «сокращением» или (в зависимости от глубины) «депрессией» либо «рецессией». В нижней поворотной точке рецессии – «впадине», «дне» (точка Т) – экономическая тенденция преломляется к повышению. Последующий период роста (отрезок ТР) именуется «экспансией (расширением)» или «бумом». На максимуме экономической активности в период экспансии – «пике» (точка Р) – экономическая активность проявляет тенденцию к снижению. Совокупный процесс восстановления и дальнейшего падения хозяйственной активности между нижними поворотными точками (впадинами) называется среднесрочным циклом. Указанная графическая модель способна также корректно отражать внешние параметры долгосрочного цикла, хотя экономические процессы, происходящие в его недрах, имеют качественно иное содержание.

Циклы различной продолжительности в пределах экономического процесса имеют не автономный, а взаимосвязанный характер. Э. Хансен (США), например, отмечал следующую зависимость среднесрочных циклов Жюгляра от фаз (строительного) цикла Кузнеца: когда нисходящий перелом строительного цикла во времени совпадает со спадом в сфере строительства, то последующая фаза депрессия может быть затяжной и тяжелой. Если нисходящий перелом среднесрочного цикла происходит, когда данный цикл находится в восходящей стадии, то последующая депрессия может оказаться менее длительной и серьезной [55, с. 94].

Н.Д. Кондратьев, используя идеи А. Маршалла и Л. Вальраса о равновесии, описал механизм взаимодействия циклов различной длительности в виде схемы перехода экономики от «равновесия первого порядка» к последующим равновесным состояниям. Указанные состояния экономики выдающийся русский ученый разделял на три вида:

1) равновесие «1-го порядка» – означает ситуацию, когда производственные условия, а вместе с ними и объем предложения, не могут претерпеть заметного изменения, а увеличение спроса способно оказать давление лишь на товарные запасы и загрузку производственного аппарата. Отклонения от него порождают краткосрочные колебания в 3–4 года;

2) равновесие «2-го порядка» – достигается вследствие увеличения объемов производства предметов потребления, путем более ши-

рокого использования имеющихся резервов основных капитальных благ, и создания новых в ходе межотраслевого перетока капитала, инвестируемого, в основном, в оборудование. Отклонения вокруг данного уровня равновесия, согласно теории Кондратьева, связано с колебаниями средней длительности (7–11 лет);

3) равновесие «3-го порядка» – относится к «основным материальным благам» (инфраструктурным сооружениям, промышленным зданиям, мелиоративным системам, затратам на подготовку квалифицированной трудовой силы, обеспечивающей производство в рамках конкретной технологии). Их величина должна соответствовать отраслевой производственной структуре и пребывать в равновесии со всеми элементами, формирующими действующий способ производства. Периодически в результате нарушения такого равновесия у хозяйственной системы возникает необходимость формирования нового набора «основных материальных благ», который удовлетворял бы потребностям нового в технологическом отношении способа воспроизводства экономики.

Й. Шумпетер, развивая идею Кондратьева, также обозначает 3 уровня равновесия, достигаемого за счет реализации циклических колебаний различной длительности: на 1-м уровне – достигается равновесие между предложением и спросом в краткосрочном периоде (циклы Дж. Китчина); на 2-м уровне – обеспечивается равновесие между ценами производства и рыночными ценами (циклы К. Жюгляра); на 3-м уровне – устанавливается межотраслевое равновесие путем модернизации основных капитальных благ (циклы Н.Д. Кондратьева).

Полициклическая модель экономического развития. Гипотеза Н.Д. Кондратьева о механизме взаимодействия «больших циклов» с циклами меньшей длительности, позволяет предположить, что экономическое развитие является совокупностью процессов, формируемых в пределах циклов различной длительности. Первые из них реализуются в кратко- и среднесрочной динамике и чреваты в фазе хозяйственного роста накоплением количественных диспропорций, ведущих к кризисам. Вторые проявляются в долгосрочном цикле, на исходе которого экономическая система сталкивается с проблемами, требующими ее качественного преобразования. При этом:

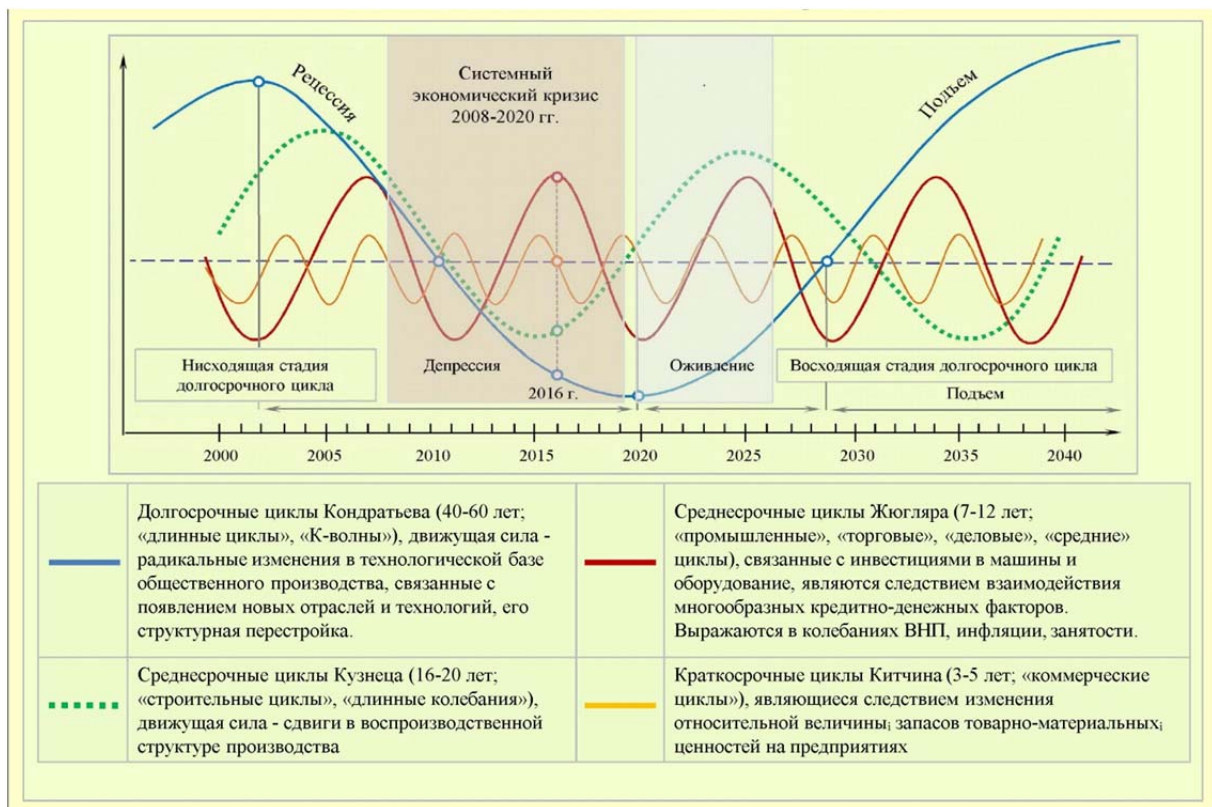
а) циклы различной длительности взаимодействуют в едином процессе экономической динамики и испытывают влияние других циклов, которое распространяется от больших к меньшим циклам;

б) меньшие циклы «нанизываются» на фазы (стадии) более длительных циклов и в своем развитии несут отпечаток циклической конъюнктуры, создаваемой в ходе прохождения более длительными циклами той или иной фазы (стадии) циклического развития;

в) влияние более длительных циклов оказывает на циклы меньшей длительности резонирующий или демпфирующий эффект. Так, нисходящая стадия долгосрочного цикла усиливает (резонирует) действие нисходящих колебаний циклов меньшей длительности и нивелирует (демпфирует) действие восходящих фаз меньших циклов. Восходящая стадия долгосрочного цикла поддерживает действие восходящих тенденций меньших циклов и оказывает смягчающее (демпфирующее) влияние на негативные проявления их нисходящих фаз [67, с. 55]. Например, в среднесрочных циклах, приходящихся на нисходящий период долгосрочного цикла, ослабляются все повышающие тенденции, а все понижающие тенденции усиливаются общей нисходящей волной долгосрочного цикла. В среднесрочных циклах, приходящихся на нисходящий период долгосрочного цикла будет наблюдаться противоположная ситуация. По этой причине – среднесрочные циклы, выпадающие на нисходящую стадию долгосрочного цикла отличаются глубиной и длительностью депрессий, слабостью и краткосрочностью подъемов; среднесрочные циклы, выпадающие на восходящую стадию долгосрочного цикла, отличаются обратными свойствами [22, с. 58].

Графически механизм взаимодействия экономических циклов (полициклическая модель экономического развития) представлен на рисунке 3. На нем наглядно изображен период 2008-2018/ 20 гг., где сошлись нисходящие стадии большинства экономических циклов, сформировавшие рецессионно-депрессивную среду, в которой пребывает мировая экономика в настоящее время. Также наглядно представлен период оживления мировой экономики, который (без учета хронологических погрешностей) должен наступить в 2018/20 – 2025 гг.

Полициклическость хозяйственной динамики выдвигает на первый план необходимость понимания механизма взаимодействия циклов с учетом их природы, длительности, а также фаз (стадий), в которых они развиваются в тот или иной период. Понимание указанного механизма представляет не только теоретическую, но и практическую полезность, так как дает действенный инструмент повышения эффективности управленческих решений и мер, реализуемых в сфере экономики.



Источник: составлено автором по материалам [11, с. 7].

Рис. 3. Полициклическая модель экономического развития

Указанный инструмент получил название «метод полициклического исследования экономических явлений», представляющий собой способ исследования, базирующийся на представлении экономической динамики, как совокупности экономических циклов различной длительности, объединенных в процессе развития прямыми и обратными связями. Данный метод развивает наблюдение Н.Д. Кондратьева (4-я эмпирическая правильность) о зависимости качества среднесрочных экономических явлений от стадии долгосрочного цикла, согласно которому на нисходящей стадии долгосрочного цикла ослабляются позитивные тенденции среднесрочных циклов, а все негативные тенденции усиливаются; восходящая стадия долгосрочного цикла оказывает на явления среднесрочного цикла противоположное влияние [22, с. 58–59].

Использование метода полициклического исследования экономических явлений открывает широкие возможности для наиболее оптимального планирования мероприятий в экономической сфере с наименьшим расходом задействованных ресурсов. Г.Б. Клейнер

обоснованно указывает на «кризисный стиль» управления российской экономикой, заключающийся в постоянных разворотах «экономической политики от одной крайности к другой (открытая экономика – импортозамещение; коллективизация – приватизация; укрупнение хозяйственных звеньев – разукрупнение; натуральное планирование – тотальная монетизация; централизация – децентрализация и т.д.). Такие развороты поглощают огромное количество ресурсов и сами порождают экономические кризисы. При этом допущенные в экономической политике перегибы и ошибки не исправляются, а меняют знак». Подобный «зигзагообразный в экономическом пространстве и возвратно-поступательный в экономическом времени характер социально-экономического развития» России свидетельствует об отсутствии у экономических властей четко выстроенной долгосрочной стратегии развития, опирающейся на располагаемые ресурсы и подкрепленной выверенными целевыми показателями [20, с. 108, 109].

Современный отечественный кризис – в существенной степени результат утраченной способности видеть перспективу, когда приоритет отдается тактическим мерам по схеме «импульс-реакция». Сложившаяся в управлении российской экономикой практика ситуативного реагирования лишает страну реальных перспектив опережающего развития, прорыва в ключевые отрасли нового технологического витка, создания дополнительных конкурентных преимуществ за счет модернизации хозяйственного комплекса, внедрения современных технологий, углубления связи между производством и наукой. Например, импортозамещение как реакция на санкционное давление, без сомнения, является весьма актуальной задачей, которая, однако, является не целью, а следствием недальновидной политики, не учитывающей всю совокупность серьезных вызовов для излишне открытой экономики [47, с. 231].

При выработке экономической политики не следует рассматривать развитие экономики как линейный процесс, испытывающий исключительно внутренние трансформации, связанные с текущей ситуацией в национальном хозяйстве. Состояние экономики во многом является отражением циклической конъюнктуры, неотъемлемо свойственной тому или иному периоду экономической динамики и непременно воспроизводящейся при наступлении соответствующей фазы цикла. Государственные власти при подготовке и реализации экономической политики должны учитывать и грамотно использовать экономические условия, продиктованные прохождением эконо-

микой того или иного циклического этапа долгосрочного развития. Кроме того, лицам, занимающимся выработкой социально-экономической политики, следует отказаться от инфантильной веры в исключительную силу внутренней самоорганизации рыночного хозяйства, тем более, что мировая экономика (начиная с XX столетия) не знает ни одного примера, когда прекращение кризиса и устранение его последствий явились результатом исключительного воздействия механизмов рыночной саморегуляции.

Согласно логике учения Н.Д. Кондратьева, современное мировое хозяйство должно пройти нижнюю точку 5-го долгосрочного цикла в конце второго десятилетия XXI века (2018–2020 гг.). В пределах нисходящей стадии кондратьевского цикла происходит спад эффективности основных производств действующего хозяйственного уклада, ведущего к формированию акселерационного порога, а в процессе разворачивающегося системного экономического кризиса (подробнее в следующем разделе) осуществляется вызревание магистральных инноваций следующего этапа экономического развития, закладывающих технологические контуры нового долгосрочного этапа развития экономики. В результате преодоления системных проблем происходит не только обновление технологической основы, но и смена или коррекция организационных принципов и управляющих структур, ответственных за сохранение качественных параметров системы. По этой причине актуальным сценарием может явиться дальнейшее сокращение в 1-й четверти XXI столетия темпов глобального хозяйственного роста, а также значительное их увеличение во 2-й четверти века, когда ключевые нововведения 6-го цикла станут основой развития экономики.

В депрессионный период нисходящей стадии 5-го долгосрочного цикла (2010–2020 гг.) экономика нуждается в активном применении государственными властями неокейнсианских инструментов. Повышение государственных расходов, расширение кредита, использование в этих целях части финансовых резервов, аккумулированных государством в годы экономического подъема, должны способствовать обеспечению платежеспособного спроса и активизации хозяйственной деятельности. В инновационной сфере государственная политика должна быть ориентирована на инвестирование в венчурный капитал, кредитование и доленое финансирование базисных технологий, создание (в том числе с государственным участием) новых инновацион-

ных производств и отраслей промышленности. Налоговая политика должна в этот кризисный период направлена на создание налоговых преференций формирующимся инновационным отраслям.

В период восстановления экономики (примерно 2020–2030 гг.), открывающий восходящую стадию нового, 6-го долгосрочного цикла, экономические власти должны проводить неолиберальную политику стимулирования деловой активности и свободной конкуренции, сокращения прямых (нерыночных) расходов на поддержку предпринимательства. Государственная поддержка инновационной сферы должна заключаться в обеспечении кредитными ресурсами процесса расширения производственной базы инновационного сектора, развития его маркетинговой и логистической структуры. Фискальная политика должна быть ограничена налоговым маневрированием в пределах средневзвешенной налоговой нагрузки.

6.3. Источники формирования экономических циклов различной длительности: количественные и качественные процессы в экономике

С. Кузнец, нобелевский лауреат 1971 г. «за эмпирически обоснованное толкование экономического роста», рассматривал этот процесс как «долгосрочное увеличение способности хозяйства обеспечивать все более разнообразные потребности населения в продуктах хозяйственной деятельности с использованием все более эффективных технологий и соответствующих им институциональных и идеологических изменений». «Исходя из соответствующего понимания, американский ученый отмечал три базовых источника экономического роста:

1) технический прогресс (передовые технологии), являющийся основой и необходимым условием экономического развития (необходимое условие, потенциал);

2) институциональные, поведенческие и идеологические изменения, требующиеся для реализации заложенного в новых технологиях созидательного потенциала (обеспечивающая среда);

3) постоянное увеличение национального продукта и соответствующих возможностей экономики удовлетворять растущие потребности населения (одновременно и источник, и результат)» [39, с. 104].

Указанная научная позиция требует дополнения, что процессы, вытекающие из последнего источника роста, базируются на наращивании количественных показателей, остальные обеспечиваются за счет качественных изменений в экономике. Подобное разделение было предложено Н.Д. Кондратьевым, рассматривавшим хозяйственную динамику как «поток непрерывных и многообразных качественных и количественных изменений». По мнению российского ученого, в ситуации, когда элементы экономической системы претерпевают трансформацию, не исчерпывающуюся изменением их числа и объема, следует говорить о наличии качественных изменений (например, смена организационных принципов, технологий, содержания и характера общественных потребностей и пр.). В других случаях (например, для цены, учетного процента, ренты и т.д.) ведущую роль играет движение количественных показателей. «Значение качественных изменений здесь выступает лишь тогда, когда меняется природа этих элементов, например, когда цена из вольной становится установленной или из рыночной – монопольной» [23, с. 20, 24].

Идея Н.Д. Кондратьева о разделении экономических явлений по природе и содержанию на количественные (исчисляемые) и качественные (неисчисляемые) базируется на принципиальном различии: (а) конъюнктурных, хозяйственных процессов, обеспечивающих экономический рост, выраженный в изменении количественных показателей, и (б) преобразовательных процессов, лежащих в основе системной трансформации экономики и обеспечивающих ее выход на новый уровень развития. К сожалению, изложенная идея не нашла развития у Кондратьева, который вместе с тем указывал, что исследование качественных и количественных процессов «представляет интересную и плодотворную задачу», нацеленную на «изучение эволюции народного хозяйства, ... его качественного развития и количественного роста» [23, с. 26].

Исходный теоретический посыл выдающегося русского экономиста позволяет сформировать гипотезу, что экономическое развитие представляет собой совокупность количественных и качественных процессов, первые из которых реализуются в среднесрочной динамике и чреваты в фазе хозяйственного роста накоплением количественных диспропорций. Вторые проявляются в долгосрочном цикле, на исходе которого экономическая система сталкивается с проблемами, требующими ее качественного преобразования.

Как количественные, так и качественные процессы в ходе реализации формируют негативные явления, которые, в первом случае выражаются в нарушении экономических пропорций (дисбаланс предложения и спроса, диспаритет цен и пр.), во втором – в нарушении внутренних связей (внутренней гармонии) экономической системы. Г.Б. Клейнер обоснованно указывает на различия в понятиях «диспропорциональность» и «дисгармоничность», которые зачастую неверно представляются как тождественные. В действительности дисгармоничность представляет собой состояние более глубокой деформации экономической системы, чем диспропорциональность. Она порождена качественными проблемами экономической системы и является устойчивым препятствием на пути исправления перекосов в рамках самой экономики. Соответственно дисгармоничность как результат негативных процессов качественного порядка требует принципиально иных решений в целях устранения ее последствий, чем диспропорциональность» [19, с. 73].

Можно предположить, что к возникновению обычных (в «традиционном» понимании) экономических кризисов приводят количественные нарушения внутреннего баланса экономической среды, формирующиеся в фазе хозяйственного роста (диспропорциональность). Возникновение подобных кризисов отражает смену экономической конъюнктуры и на этом основании соответствующие явления могут называться «конъюнктурными экономическими кризисами». В такой трактовке кризис предстает «болезненным процессом ликвидации создавшихся под влиянием определенных условий несоответствий и диспропорциональностей производства и распределения, предложения и спроса» [24, с. 208] и пр. Кризисные процессы, происходящие внутри экономической системы, имеют в этом случае поточковый характер и реализуются, как правило, в пределах среднесрочного экономического цикла. Преодоление кризиса происходит за счет восстановления старых или установления новых количественных пропорций, обеспечивающих дальнейшее развитие на среднесрочный период. В свою очередь, соответствующее изменение пространственной конфигурации экономической системы не влечет за собой изменения ее свойств и функционального содержания.

Одновременно в экономической системе возникают противоречия качественного характера (дисгармоничность), являющиеся «реакцией против аномальных сдвигов, наростов и несоответствий во взаимоотношении элементов хозяйства и условий их развития» [24, с. 254]. Дан-

ные противоречия обнажают потребность экономики в институциональных изменениях, замене управленческой модели, формировании новой технологической базы и др. Острота и масштаб подобных противоречий не позволяют устранить их в среднесрочном циклическом периоде, что влечет накопление и перенос возникающих дисфункций на следующий цикл. В данном случае кризисные процессы, являющиеся «следствием кумулятивно накапливающихся условий в течение предыдущего времени» [23, с. 397], имеют кумулятивно-преобразовательный характер и требуют преобразования внутрисистемных связей, которое осуществляется в пределах долгосрочных (кондратьевских) циклов. В логике представленной гипотезы подобные кризисы можно назвать «системными экономическими кризисами».

Историческая реконструкция кризисных событий, изложенная в работах [60, 61, 64], свидетельствует о содержательных различиях в формах реализации кризисов. Одни экономические потрясения («конъюнктурные экономические кризисы»), несмотря на остроту и масштабность, постепенно уступают место оживлению и далее – полноценному экономическому подъему нового среднесрочного цикла. Другие заканчиваются слабым подъемом и депрессией, постепенно переходящими в новую рецессию. Такие кризисы в совокупности с депрессиями и периодами слабого оживления хозяйства образуют «волны последовательных или совпадающих по времени экономических потрясений разной силы и длительности («системные экономические кризисы»), в течение длительного времени удерживающие экономику в угнетенном состоянии.

Системные экономические кризисы – процессные системы – отличаются от обычных (конъюнктурных) экономических кризисов, представляющих собой отдельные события (событийные системы). Каждое из них выполняет обособленную функцию и имеет отдельную цель – ликвидацию количественных диспропорций и восстановление экономического баланса. Системный экономический кризис представляет собой экономический процесс – целеориентированную процессную систему, которая в виде функциональных элементов включает различные экономические явления, в совокупности обеспечивающие достижение основной цели – качественного преобразования экономики. Процессная система не имеет пространственных ограничений, однако ограничена по времени функционирования, она дает необходимый импульс развитию экономики в определенном направлении и на определенных временных интервалах.

Разделение кризисов на конъюнктурные (событийные), реализующиеся в среднесрочном цикле, и системные (процессные), действующие в пределах долгосрочного цикла, базируется на ключевых положениях системной экономики. Оно наделяет понятие «системный кризис» научным содержанием, освобождая его от расхожего применения, когда термин «системный» эмоционально отождествляется с остротой реализации или тяжестью последствий экономического потрясения. Как следствие, в категорию «системных кризисов» (процессов), неправоммерно зачисляются обособленные (хотя и очень разрушительные) кризисы (как например, события 1857–1858 и 1907–1908 гг. в монографиях [2, с. 39; 36, с. 169–170]). Последнее методологически неверно, так как к категории системных кризисов – процессам – причисляются обычные циклические кризисные потрясения – события, имеющие целью исправление количественных экономических диспропорций и не влекущие (в отличие от системных кризисов) изменения качественной конфигурации экономической системы.

Концепция полициклического развития экономической системы. Представленная выше гипотеза позволяет сформировать целостную научную концепцию полициклического развития экономической системы¹, содержащую нижеследующие фундаментальные положения.

1. Источники формирования экономических явлений: потоково-конъюнктурные (количественные) и кумулятивно-преобразовательные (качественные) процессы. Экономическое развитие представляет собой совокупность потоково-конъюнктурных (количественных) и кумулятивно-преобразовательных (качественных) процессов. Первые из них реализуются в среднесрочной динамике и обеспечивают наращивание количественных параметров экономической системы, не влекущее за собой изменения ее свойств и функционального содержания. Вторые проявляются в долгосрочном цикле, на исходе которого экономическая система сталкивается с проблемами, требующими ее качественного преобразования. Как количественные, так и качественные процессы в ходе реализации формируют негативные явления, которые, в первом случае выражаются в нарушении экономических пропорций (дисбаланс предложения и спроса, диспаритет цен и пр.), во втором – в нарушении внутренних связей (внутренней гармонии) экономической системы.

¹ Альтернативное название «Концепция системных экономических кризисов как фундаментального фактора формирования процессов долгосрочного хозяйственного развития» (см. [60, 61, 64]).

2. Кризисные явления среднесрочного и долгосрочного циклов: принципиальные различия в происхождении и целях. В процессе хозяйственного развития прослеживаются как периоды достаточно четкого чередования фаз экономического подъема и спада, так и периоды, когда фазы оживления выступают крайне слабо, практически сливаясь в общем негативном фоне экономической конъюнктуры. Для первого случая характерна полноценная реализация фазы экономического подъема, в ходе которой наращиваются количественные диспропорции, постепенно уводящие хозяйственную среду от хрупкого равновесного состояния, обеспечивающего наиболее оптимальные условия для эффективного развития. Во втором случае процессы фазы роста протекают слабо, иногда принимая застойные формы. Кризисы, наоборот, характеризуются остротой, реализуются волнами последовательных или сопряженных во времени экономических потрясений разной силы и длительности, когда промежутки между мощными кризисами заполняются периодами депрессий, застоев или незначительных экономических спадов. Такие «кризисные волны» не ограничиваются пределами одного среднесрочного цикла, что позволяет их отнести к событиям долгосрочного периода. Таким образом, период смены конъюнктур, описанный в первом случае, относится к среднесрочным циклам, протекающим, в основном, на восходящей стадии долгосрочного цикла. Кризисная волна, описанная во втором случае, является экономическим событием нисходящей стадии долгосрочного цикла.

3. Конъюнктурные экономические кризисы: следствие формирования количественных дисбалансов в экономике. Обычные (в рамках традиционного подхода) экономические кризисы возникают вследствие количественных нарушений внутреннего баланса экономической среды, формирующихся в фазе хозяйственного роста. Их возникновение отражает смену экономической конъюнктуры в пределах среднесрочного цикла, и по этой причине такие явления могут называться «конъюнктурными экономическими кризисами». Кризисные процессы, происходящие внутри экономической системы, имеют в этом случае потоковый характер и реализуются, как правило, в пределах среднесрочного экономического цикла. Преодоление кризиса происходит за счет восстановления старых или установления новых количественных пропорций, обеспечивающих дальнейшее развитие на среднесрочный период.

4. Возникновение «акселерационного порога»: естественные, институциональные и технологические ограничения долгосрочного экономического роста. Исчерпание ресурса действующей парадигмы экономического развития разворачивает долгосрочные тенденции вспять и приводит к акселерационному порогу, представляющему собой совокупность обстоятельств, ограничивающих перспективы дальнейшего хозяйственного роста, и свидетельствующему о необходимости институциональных изменений, смены управленческой модели, создания новой технологической базы и пр. Обобщенно можно выделить четыре вида ограничений, способных составить основу очередного акселерационного порога: (1) ресурсно-сырьевой (в частности, энергетический) порог; (2) экологический порог; (3) технологический порог; (4) институциональный порог. Достижение экономикой акселерационного порога становится причиной возникновения системного экономического кризиса – сложного кризисно-депрессивного периода, конституирующего параметры будущего этапа долгосрочного экономического развития.

5. Системные экономические кризисы: проявление необходимости качественной трансформации экономики в формате долгосрочной динамики хозяйственного развития. Накопление кризисного потенциала (нерешенных проблем развития хозяйственной системы) способствует возникновению системного экономического кризиса, определяющего необходимость осуществления кардинальных изменений качества системных связей между структурными образованиями в пространстве и во времени. Он является также формой проявления «кумулятивно накапливающихся» [23, с. 397] дисбалансов экономического развития, не нашедших разрешения в предыдущие периоды и ставших причиной нарушения в экономике внутрисистемных связей, а также деградации внутрисистемной архитектуры (достижения экономикой акселерационного порога). В ходе системного кризиса происходит одновременный спад производств действующего технологического уклада и вызревание ключевых инноваций нового периода экономического роста, определяющих хозяйственные контуры следующего долгосрочного цикла. Системный экономический кризис реализуется в виде кризисной волны – совокупности сопряженных в едином экономическом процессе негативных явлений долгосрочного цикла (кризисных потрясений, периодов застоя или слабого экономического роста и пр.), которые возникают вследствие формирования в экономической системе внутренних противоречий, связанных с необходимостью кардинальных изменений инсти-

туциональной среды, смены управленческой модели, качественного обновления технологической базы и пр.

6. Системные экономические кризисы: периодизация. Начиная с промышленной революции XVIII века рыночное хозяйство пережило ряд системных экономических потрясений, каждое из которых повлекло коренную перестройку экономической системы, направленную на ее приведение в соответствие с достигнутым уровнем развития производительных сил.

Ретроспективный анализ причин возникновения, условий реализации и последствий кризисов мирового хозяйства (см.: [62, 63]), происходивших начиная с периода формирования индустриального общества по настоящее время, позволяет идентифицировать четыре системных экономических кризиса (в скобках указаны основные события кризисного процесса): (1) системный экономический кризис 1836–1842 гг. (промышленный кризис 1836–1837 гг., давший старт 6-летнему периоду угнетенного состояния экономик ведущих промышленных стран (в первую очередь, Англии и США), финансовый кризис 1839 г., кризис 1841–1842 гг.); (2) системный экономический кризис 1873–1886 гг. (промышленный кризис 1873–1878 гг., финансовый кризис 1873 г., финансовый кризис 1882 г. во Франции, финансовый кризис 1884 г. в США, промышленный кризис 1882–1886 гг.); (3) системный экономический кризис 1929–1938 гг. (Нью-Йоркский биржевой крах 1929 г., Великая депрессия 1929–1933 гг. в США, три волны американского банковского кризиса 1930–1933 гг., мировой экономический кризис 1929–1933 гг., биржевой кризис 1937 г. и промышленный кризис 1937–1938 гг. в США); (4) системный экономический кризис 1971–1982 гг. (заключительный этап длительного валютного кризиса 1971–1976 гг., энергетические кризисы 1973–1974 гг. и 1979–1982 гг., экономические кризисы 1973–1975 гг. и 1979–1982 гг.).

Характер экономического развития во втором десятилетии XXI века позволяет предположить разворачивание нового, 5-го системного экономического кризиса, который начался с мирового кризиса 2008–2009 гг. и предположительно продлится до конца нисходящей стадии действующего долгосрочного цикла, т.е. примерно до 2020 г.

Все вышеперечисленные экономические потрясения стали результатом процессов, происходивших в условиях качественного развития мирового хозяйства, а результаты ликвидации системных проблем, лежавших в основе возникновения указанных кризисов, стали

для своего времени прорывными событиями, запустившими качественно новые процессы в развитии мировой экономики (рис. 5).



Источник: составлено автором.

Рис. 5. Системные экономические кризисы в процессе социально-экономического развития

7. Системные экономические кризисы как проявление глубокого кризиса действующей экономической доктрины. Возникновение каждого системного экономического кризиса связано с глубочайшим кризисом действующей парадигмы социально-экономического развития, в концептуальном отношении оформленной соответствующим направлением экономической теории. Преодоление системного экономического кризиса требует, как правило, выхода экономической теории на новый уровень. Развивающийся в настоящее время системный экономический кризис с момента своего возникновения в 2008 г. вновь стал откровением «для всей экономической науки, основное течение которой уже давно увязло в зыбучих песках мертвой схоластики» [10, с. 41].

Неадекватность доминирующей экономической теории вызовам современного уровня развития мирового хозяйства ставит вопрос о выработке новой парадигмы экономической науки, способной представить полноценную трактовку происходящих экономических явлений и перспектив экономического роста.

Экономико-математическая верификация некоторых положений концепции полициклического развития экономической системы (см.: [61, с. 3–15]). На основе применения экономико-математических методов обработки эмпирических данных проведена верификация основных выводов концепции. Верификация осуществлена путем обработки статистической информации, характеризующей основные показатели совокупной хозяйственной активности пяти государств мировой хозяйственной системы (Великобритания, Франция, США, Германия, Россия) за 130-летний период (1800–1929 гг.) и построения соответствующих эконометрических моделей. Обработка данных проведена с использованием программной платформы «Инфоаналитик». В качестве интеллектуальной основы в ней использована методология регуляризирующего байесовского подхода (модификация классического байесовского подхода) и байесовских интеллектуальных измерений, предназначенная для получения устойчивых оценок в условиях значительной неопределенности как априорной, так и фактически поступающей в текущий момент информации. Указанная методология в силу ее интегрирующих свойств позволяет производить сопряжение потоков данных и знаний в условиях поступления разноаспектной, распределенной, неточной, неполной и нечеткой информации. Ее преимущества заключаются в способности обеспечивать получение устойчивых оценок в условиях малых выборок, разнотипной информации, значительной неточности данных и нечеткости знаний о тенденциях развития исследуемых объектов [44, с. 37–38; 45, с. 24–25, 28, 29].

Экономико-математическая верификация проведена в три этапа, каждый из которых представляет собой этап обработки и обобщения используемых данных.

На первом этапе выполнено разбиение временных рядов 1800–1929 гг. на четыре периода:

1800–1830;
1830–1860;
1860–1890;
1890–1929 гг.

В результате, получены статистические ряды, позволяющие рассмотреть динамику экономических показателей как в долгосрочной динамике (2,5 кондратьевских цикла), так и динамике 2–3 среднесрочных циклов.

На втором этапе произведены:

ввод статистической информации;
обработка в программной среде «Инфоаналитик»;
моделирование динамики 207 факторов экономической активности по отдельным странам.

На третьем этапе:

осуществлено исключение факторов, неспособных отображать полноценную информацию о движении соответствующего показателя;
произведена свертка данных, отобранных для дальнейшей обработки;
построены обобщающие модели по странам.

На четвертом этапе произведена:

свертка данных по странам;
обобщение данных в единой модели.

Лингвистическая интерпретация основных результатов эконометрического моделирования выполнена в визуальной программной среде. Она представляет собой внесение в графическое отображение модели лингвистической информации, поясняющей определенные аспекты результатов моделирования.

На основании математической обработки данных можно констатировать, что наиболее репрезентативными результатами обладают шкалы демонстрирующие показатели цен оптовой торговли исследованных стран. Это неудивительно, так как среди многочисленных и разнообразных форм проявления экономической конъюнктуры наиболее характерными являются периодические повышения и понижения цен. Цена – движущий нерв хозяйственной жизни, цена определяет экономический эффект производства, она заставляет или расширять или сокращать размеры продукции, поощряет к основанию новых предприятий, пробуждает или наоборот, усыпляет инициативу. Большинство явлений конъюнктуры является производными от динамики цен. По этой причине в основе любых статистических замеров с целью анализа и прогноза экономического развития находится движение товарных цен, являющееся наиболее универсальным показателем экономической конъюнктуры. М.И. Туган-Барановский отмечал: «Периодические колебания промышленности находятся в непосредственной связи с периодическими колебаниями товарных цен... Объяснить периодические изменения товарных цен – значит объяснить периодичность кризисов» [52, с. 229].

В движении цен оптовой торговли Великобритании убедительно просматриваются контуры кризисных волн 1836–1842 и 1873–1886 гг. (рисунки 6–9).

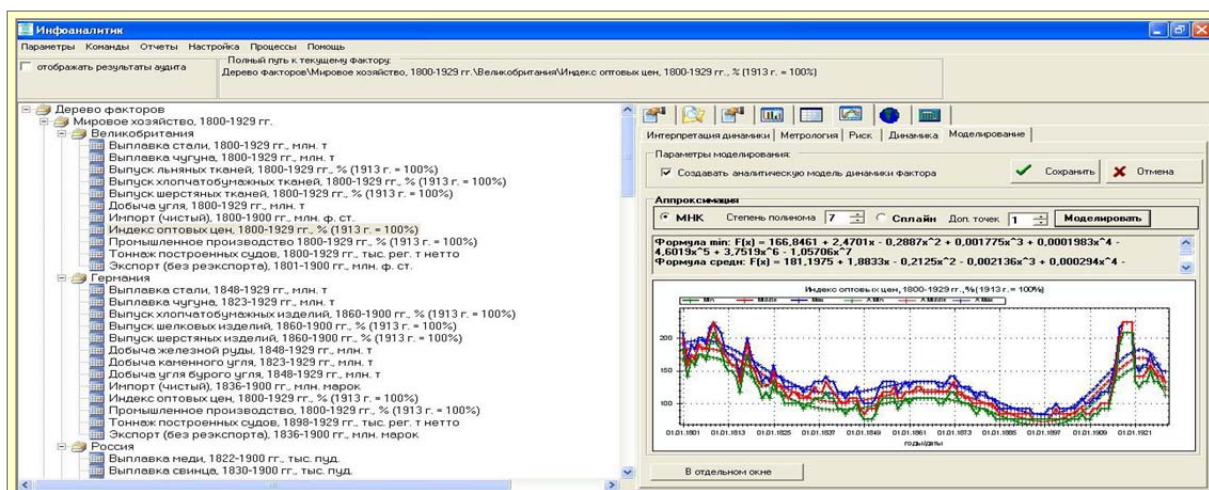


Рис. 6. Графики кризисных волн 1800–1929 (Великобритания)

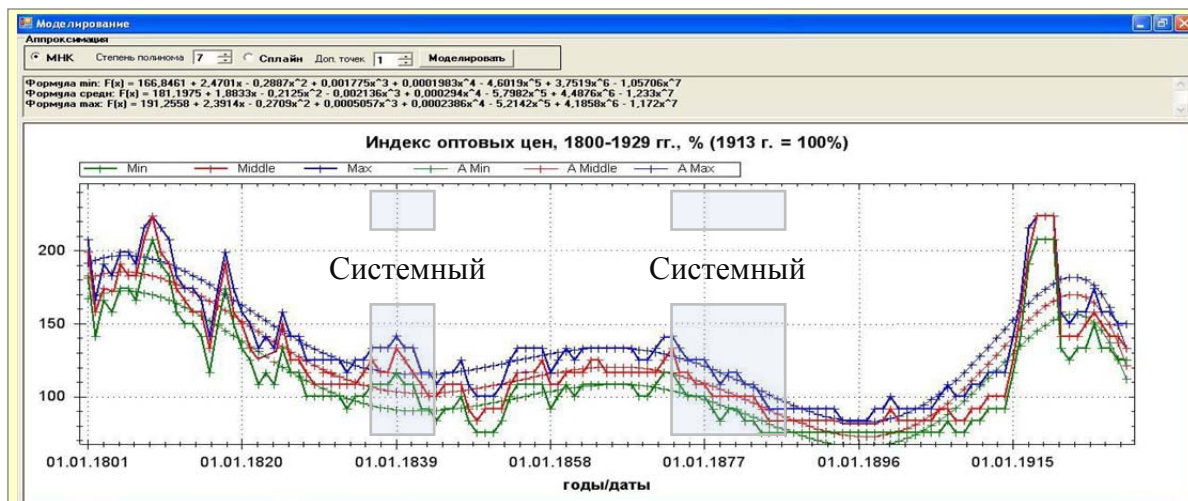


Рис. 7. Индекс оптовых цен 1800–1929 гг.



Рис. 8. Индекс оптовых цен 1830–1860 гг.

Глава 6. Взаимодействие циклов различной длительности в процессе экономического развития: проблемы управления экономикой в условиях полицикличности

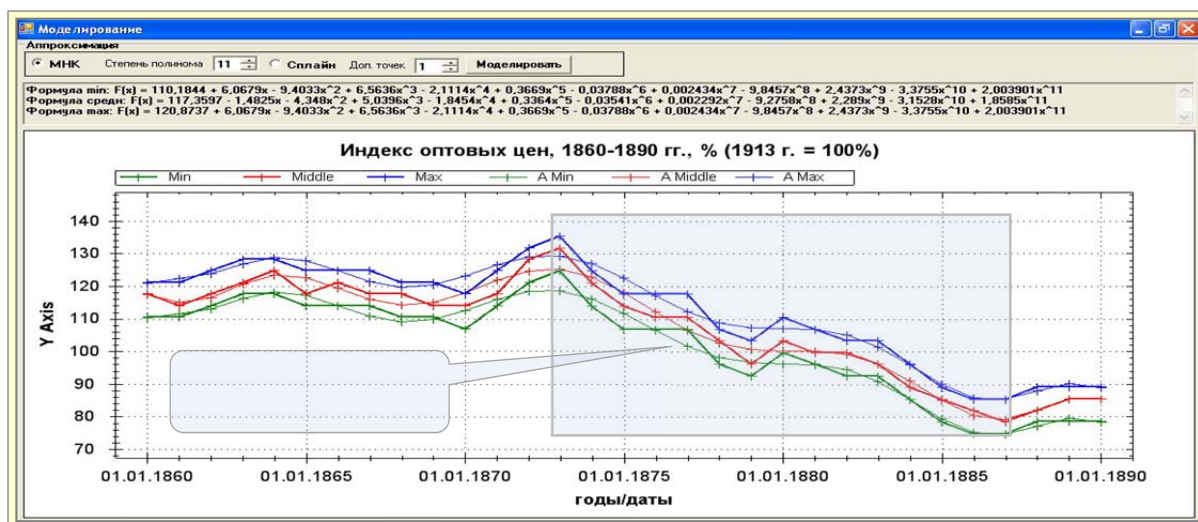


Рис. 9. Индекс оптовых цен 1860–1890 гг.

Ситуация, аналогичная с динамикой оптовых цен Англии, наблюдается в движении данного показателя в США, с тем лишь отличием, что системному кризису 1873–1886 гг. предшествовала гражданская война между северными и южными штатами, которая не могла не сказаться на экономике страны. Примечательно, что даже в первоначальный период войны США испытывали экономическое оживление, базировавшееся, прежде всего, на обслуживании потребностей военного сектора экономики [37, с. 684]. Однако постепенно выбывание людских ресурсов, производственных мощностей и пр. начало сказываться на экономике, что вызвало рецессию национального хозяйства, со временем перетекающую в мировой системный экономический кризис (рисунки 10, 11).

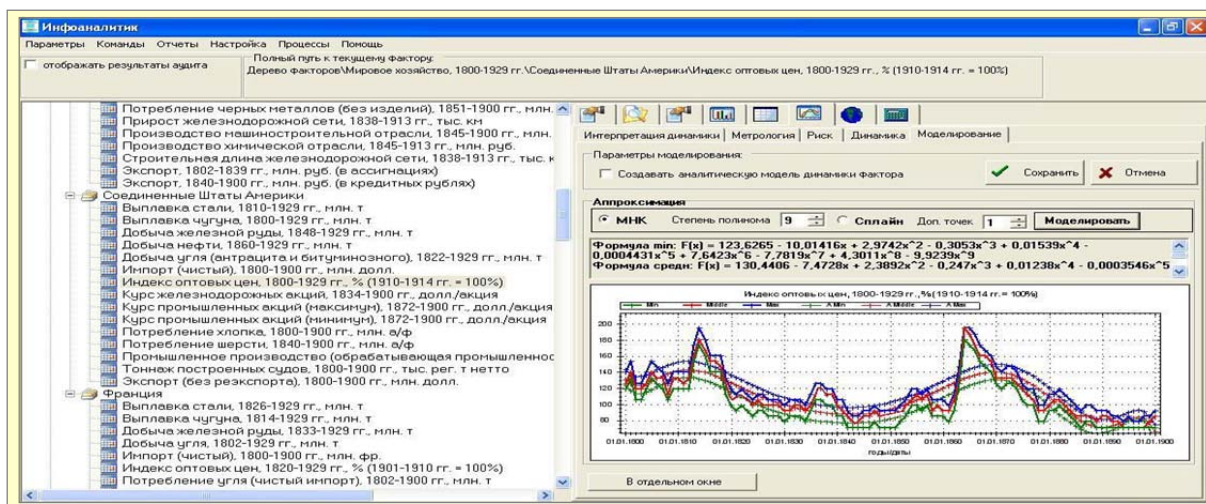


Рис. 10. Индекс оптовых цен 1800–1929 гг.

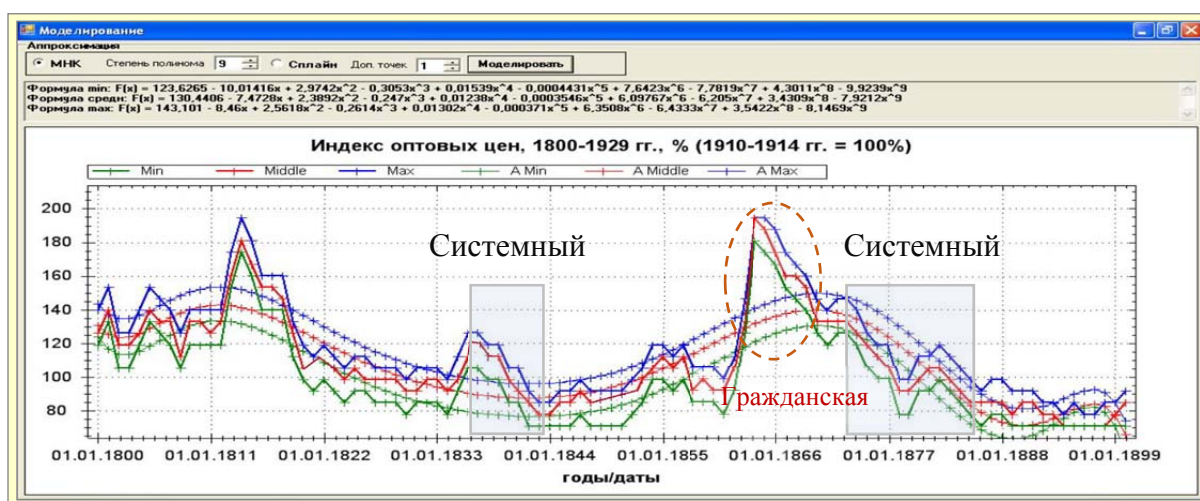


Рис. 11. Индекс оптовых цен 1800–1929 гг.

Достаточно наглядно системные экономические кризисы 1836–1842 и 1873–1886 гг. проявляются в показателях внешней торговли, в частности, в движении экспорта Великобритании (рисунки 12, 13). Статистика указанного показателя отличается от других статистических рядов представительностью данных, и по этой причине на ее основе (с определенной долей условности) также можно наблюдать признаки важных экономических явлений.

Системный экономический кризис 1873–1886 гг. прослеживается даже в динамике экспорта России (рисунки 14, 15), которая, несмотря на бурный промышленный рост, в тот период еще находилась на периферии мирового экономического роста и не являлась страной, способной сформировать кризисные процессы мирового уровня (как это произошло в кризисе 1900–1903 гг., где исходный импульс был получен из российской экономики).

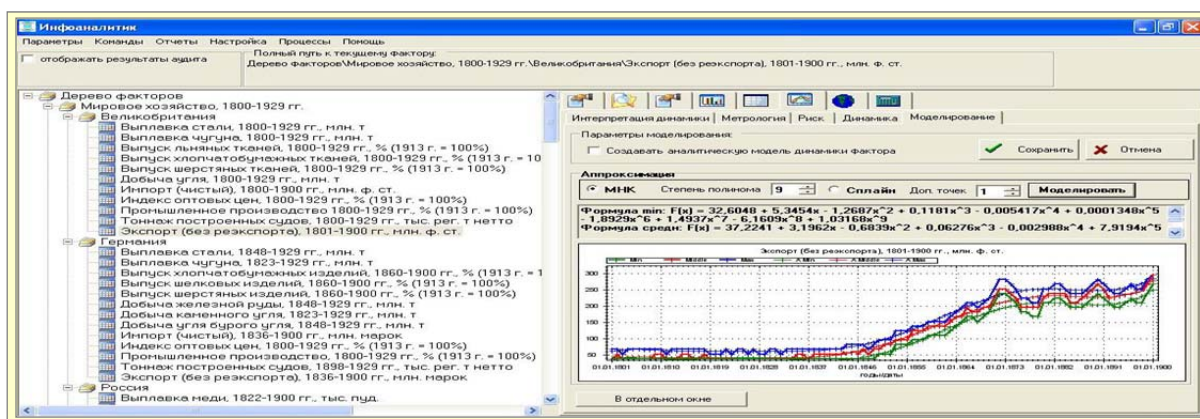


Рис. 12. Экспорт 1801–1900 гг. (Великобритания)

Глава 6. Взаимодействие циклов различной длительности в процессе экономического развития: проблемы управления экономикой в условиях полицикличности



Рис. 13. Индекс оптовых цен 1801–1900 гг.

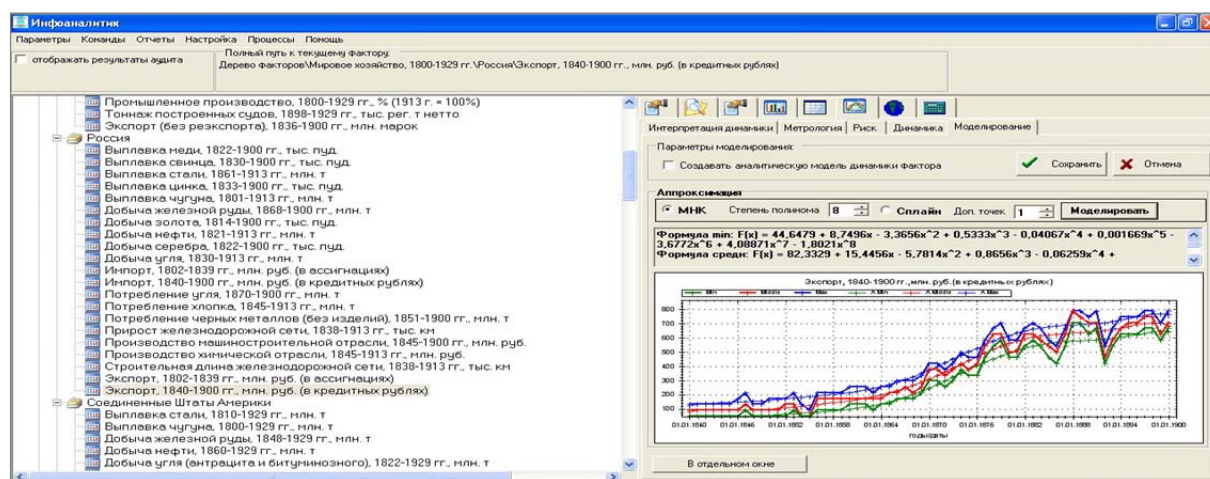


Рис. 14. Динамика экспорта России 1840–1900 гг.

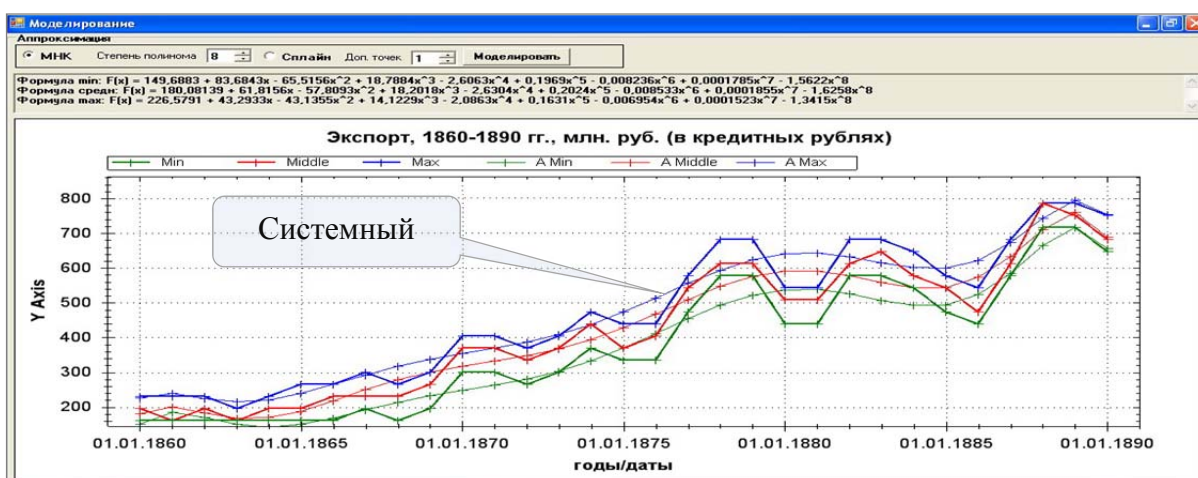


Рис. 15. Экспорт 1860–1890 гг.

Результаты ретроспективного экономико-математического моделирования демонстрируют удивительную связь производства чугуна с экономической конъюнктурой¹.

Данное обстоятельство находится в полном соответствии с утверждением М.И. Туган-Барановского, что «одной из самых характерных особенностей промышленных колебаний является удивительно закономерное и совпадающее с фазисами капиталистического цикла движение цен железа: в фазе промышленного подъема цена железа неизменно высока, в фазисе промышленного застоя неизменно низка. Цены других товаров колеблются далеко не так закономерно. Это указывает, что условия спроса на железо находятся в особенно тесной связи с фазами капиталистического цикла» [52, с. 289]. Выдающийся русский ученый не остановился на простой констатации связи цен железа с экономической конъюнктурой и предположил, что железо может служить индикатором фазы цикла в силу того, что является основным видом сырья, применяемым для создания основных средств производства – нового основного капитала. «Железо – писал российский экономист – есть материал орудий труда. По состоянию спроса на железо можно судить о спросе вообще на средства производства. Значит, восходящий фазис капиталистического цикла характеризуется усилением спроса на средства производства, нисходящий – ослаблением спроса на таковые» [52, с. 289].

Указанные соображения вполне коррелируют с экономической ситуацией 2-й половины XIX века, ставшей периодом быстрого развития производительных сил, расширения производственного аппарата, революционизирования средств транспорта на основе массового железнодорожного строительства, вытеснения парусного флота, деревянных пароходов быстроходными металлическими судами, а также других технико-экономических процессов, обеспечиваемых растущим потреблением чугуна и железа [62, с. 64].

На графиках рисунков 16–19 отчетливо различаются не только колебания, характеризующие движение конъюнктур среднесрочного цикла, но и волны кризисных потрясений, называемые в настоящей работе системными экономическими кризисами. При этом контуры

¹ В настоящее время указанная связь не действует. Железо более не является исключительным «материалом орудий труда», а его цена – неизменной составляющей себестоимости «нового основного капитала». В современном производстве оно замещено или комбинируется с другими металлами, обладающими более качественными характеристиками (легкость, прочность и пр.), а также с искусственными материалами, существенно потеснившими натуральные в производственном процессе.

Глава 6. Взаимодействие циклов различной длительности в процессе экономического развития: проблемы управления экономикой в условиях полицикличности

системного экономического цикла 1836–1842 гг., когда в экономике господствовала легкая промышленность, а потребление чугуна и железа было сравнительно невелико, выражены слабо. Однако в период доминирования тяжелой индустрии системный экономический кризис 1873–1886 гг. прослеживается в полной мере.

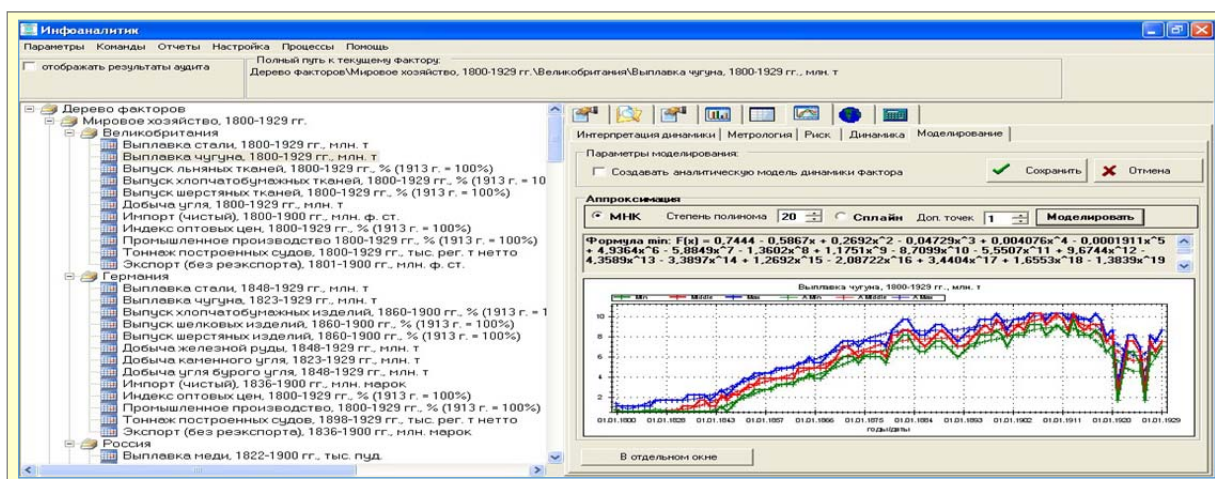


Рис. 16. Динамика выплавки чугуна в Великобритании 1800–1929 гг.

Экономико-математическая реконструкция более чем столетнего исторического периода с конца XVIII по начало XX вв. выявила наличие двух особых депрессивных этапов развития передовых экономик того периода, а именно: кризисных волн 1836–1842 и 1873–1886 гг. Указанное обстоятельство позволяет говорить об обоснованности предположения о существовании системных экономических кризисов и состоятельности соответствующей концепции.

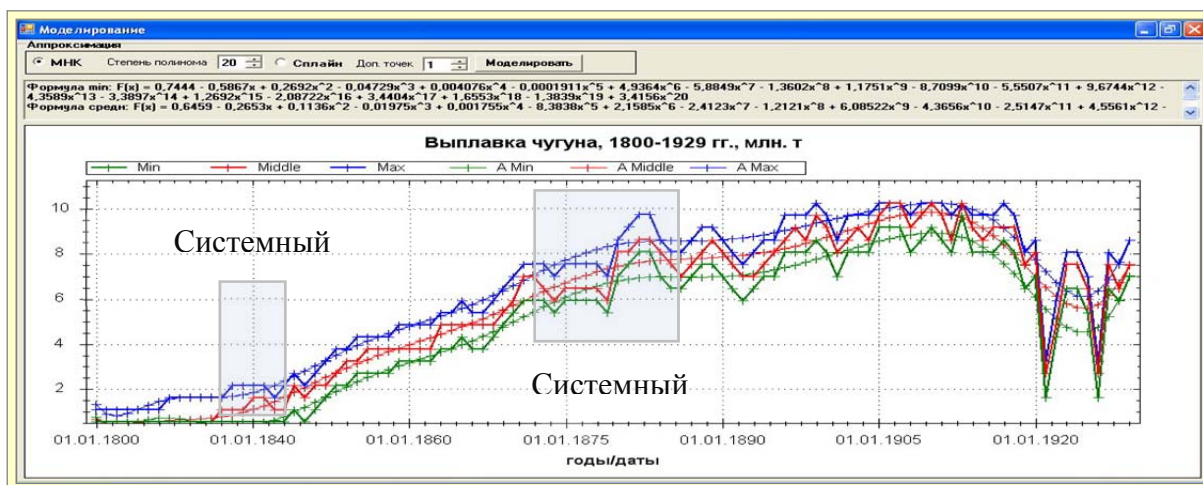


Рис. 17. Выплавка чугуна 1800–1929 гг.

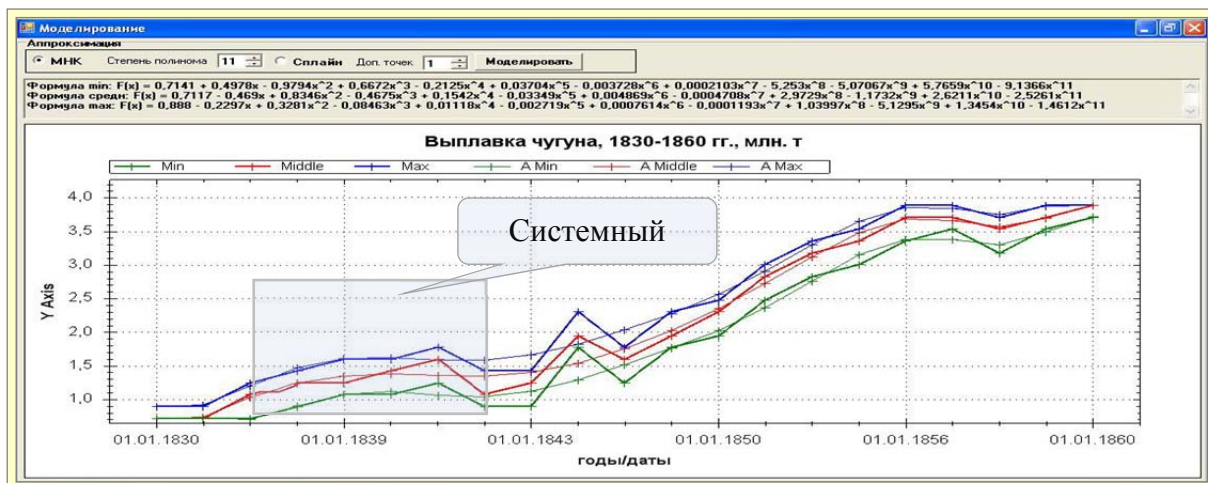


Рис. 18. Выплавка чугуна 1830–1860 гг.

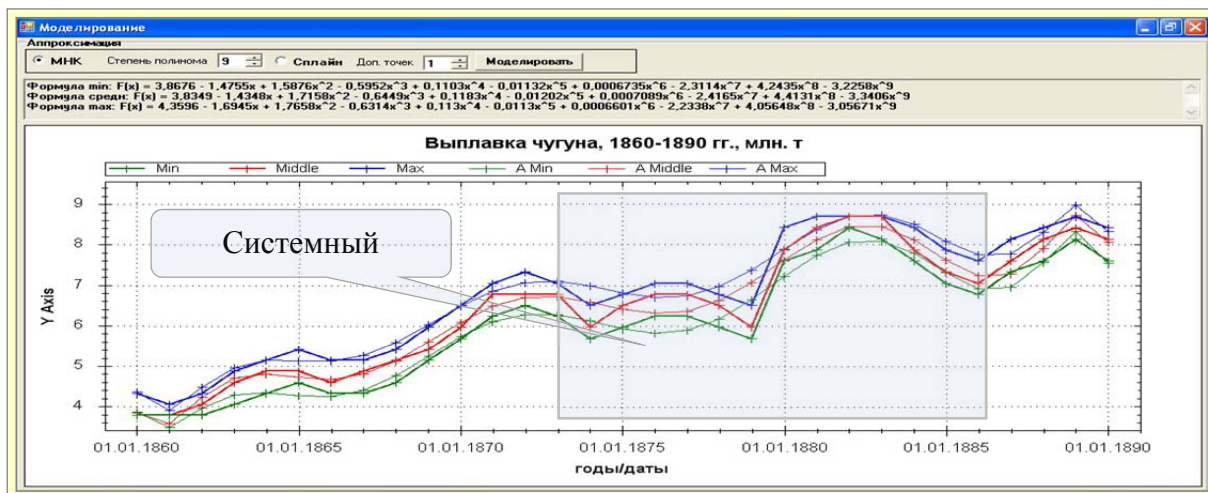


Рис. 19. Индекс оптовых цен 1860–1890 гг.

6.4. Анализ и Прогнозирование в условиях полицикличности экономического развития: возможности и ограничения

Практика анализа и прогнозирования экономической ситуации. Действенным инструментом управления экономическими процессами является прогнозирование, которое, как отмечал Й. Шумпетер, остается «важнейшим и единственным не вызывающим возражений методом лечения» возникающих хозяйственных дисбалансов [59, с. 429]. По этой причине совершенствование систем экономического предвидения остается актуальной задачей, решение которой зависит от правильного понимания и использования в экономической практике

условий циклического процесса, изменяющихся в зависимости от закономерностей фаз цикла.

В своем развитии прогнозирование прошло три основных этапа, отражающих последовательность усложнения поставленных задач:

- а) конъюнктурное,
- б) частично-структурное среднесрочное,
- в) среднесрочное и долгосрочное стратегическое прогнозирование.

Каждый из данных этапов связан с совершенствованием методов прогноза и построения аналитических и прогностических моделей. Подобно любому научному исследованию прогнозирование развивается от простого к сложному: от решения частных проблем локального уровня к проблемам макроэкономического масштаба; от выполнения технико-экономических задач – к социально-экономическим; от создания статических моделей – к системам динамических моделей; от исключительно детерминистских постановок экономических проблем – к вероятностным. Так, задача оптимизации использования имеющихся ресурсов со временем порождает необходимость оптимизации всего процесса их воспроизводства, что требует создания динамических моделей. На макроэкономическом уровне (верхнем уровне обобщения) неизбежно возникает необходимость описания природы явлений, вовлеченных в хозяйственный процесс, законов их взаимодействия, что требует построения вероятностных экономико-математических моделей.

В указанном процессе явно прослеживается последовательный переход от (1) простейших барометрических (симптоматических) построений (2) к моделям роста и макроэкономическим моделям кейнсианского толка (3) далее – к моделям, рассматривающим экономику в качестве многосекторной, взаимосвязанной системы, с выявлением отраслей, наиболее подверженных влиянию государства и 4) далее – к подготовке многоуровневых программ, нацеленных на решение как текущих, так и перспективных задач на различных уровнях хозяйственной системы (макроэкономическом, отраслевом, секторальном).

Предметом экономического предвидения является вычленение и прогнозирование объективных процессов и явлений, охватывающих всю систему хозяйствования, имея в виду ее элементы, которые обеспечивают преемственность экономического роста от периода к периоду, объединяют в единый исторический процесс прошлое, настоящее и будущее. Это требует системного подхода к исследованию и прогнозированию явлений в экономике, то есть такую расстановку эко-

номических процессов, взаимосвязей и тенденций, которая не только определяет их соподчиненность (субординацию), но и требует их рассмотрения в контексте единого воспроизводственного процесса.

Объективность и одновременно управляемость процессов хозяйственного развития наделяет прогнозирование неоднозначным содержанием. С одной стороны, познание объективных экономических процессов должно проходить в их реальном развитии, и соответствующие прогнозы в таком случае будут иметь «пассивный» характер. С другой стороны, установленные тренды могут оказаться неблагоприятными либо иметь перспективу стать такими вследствие убывания позитивных явлений и процессов. По этой причине, в целях блокирования негативных тенденций и стимулирования активного развития прогрессивных элементов хозяйственной системы, неотъемлемой частью прогнозирования становится выработка вариантов эффективного влияния на темпы и направления реализации экономических процессов.

Исходя из предложенного академиком А.И. Анчишкиным деления на «пассивное» и «активное» прогнозирование [3, с. 6–8], процесс экономического предвидения можно представить в определенной последовательности, на каждой из стадий (этапов) которого выполняются специальные задачи и применяются специальные расчетные методы (прогнозные модели).

1. Первым и основополагающим действием при подготовке прогнозов является анализ хозяйственных процессов за время, предшествовавшее прогнозному периоду. Указанный анализ предоставляет возможность выявить: (а) тенденции, формирующие текущую экономическую конъюнктуру; (б) устойчивые, долговременные тенденции, обусловленные расширением основных фондов, технологическим развитием, воспроизводством населения, сменой потребительских предпочтений и пр.; (в) основные проблемы экономики, сопряженные с необходимостью ликвидации сформировавшихся дисбалансов, «расшивания» узких мест экономического развития, решения конкретных задач текущего или долгосрочного плана; (г) новые тенденции, способные стать определяющими в ближайшей либо более отдаленной перспективе, привести к качественным трансформациям. Чем более содержательно и полно проведен анализ реальных хозяйственных процессов, тщательно выявлены закономерности экономики в предпрогнозный период, тем на большую прогностическую состоятельность может претендовать сам прогноз.

2. Следующая стадия (этап) прогнозирования заключается в моделировании будущего состояния экономики, исходя из установленных тенденций его развития в настоящем и прошлом периодах. Любая экономика, особенно большого и комплексно развитого государства, является, в некоторой степени, инерционной системой, поэтому уже сформировавшиеся тенденции развития, имеющийся уровень производительных сил в определенной мере предопределяют состояние экономики в будущем. Это, однако, не означает игнорирования исследователями возможности качественных изменений в экономике, влекущих существенную трансформацию форм и характера реализации объективных хозяйственных процессов. Основным инструментом подготовки подобных «пассивных» прогнозов служит количественный и качественный анализ конкретных явлений, процессов, а также проблем экономического развития. Здесь используются балансовые модели, а также вероятностно-экстраполяционные методы, применяемые в самых различных видах: эмпирически выстроенных кривых, балансовых систем, функциональных зависимостей, примерных качественных характеристик, последовательно-временных графических систем.

3. На следующей стадии («активного» прогнозирования) выполняется отбор и оценка дополнительных вариантов хозяйственного развития, анализ их возможного влияния на сформировавшиеся экономические процессы. Целью стадии активного прогнозирования является выработка мер по приведению текущего уровня развития экономики в соответствие с желаемыми социально-экономическими результатами. Здесь исследуется иерархическое взаимодействие конкретных экономических процессов (с учетом его реализации во времени), определяются базовые инструменты и параметры влияния на данные процессы. Указанная работа предполагает включение в прогноз дополнительной информации в виде: целевых установок; возможных альтернативных вариантов перевода экономики из фактического к целевому состоянию; сравнительного анализа различных вариантов хозяйственного развития.

Проблемы и ограничения анализа и прогнозирования долгосрочных экономических процессов. С целью выявления экономических тенденций исследователи стараются определить набор возможных факторов, способных повлиять на формирование хозяйственной конъюнктуры, после чего приступают к определению совокупного влияния указанных факторов. Отслеживая движение отдельных индикаторов хозяйственной деятельности, экономисты пытаются выяс-

нить, движение каких показателей – растущих или падающих – перевесит, и на этом основании сделать заключение в каком направлении способна изменяться экономическая ситуация. Указанное наблюдение составляет содержание метода лидирующих факторов, основанного на предположении о наличии активных элементов экономического процесса, наиболее чувствительных к изменениям макроэкономической динамики и по этой причине отражающих в своем поведении оперативную информацию проциклического характера.

Идея, заложенная в метод лидирующих факторов, в той или иной мере присутствует в логике построения практически всех известных прогностических моделей. Вместе с тем, несмотря на достаточно длительный период применения указанного метода, единства по составу лидирующих факторов в научной среде не достигнуто, что определяет его основной недостаток.

Наиболее признанной является классификация лидирующих факторов НБЭИ¹. Однако практическая апробация указанного классификатора экономическим кризисом 2008–2009 гг. оказалась неудовлетворительной. Для НБЭИ длительное время оставалось незамеченным сползание экономики США в рецессию, начавшееся задолго до кульминационного события указанных потрясений – ипотечного кризиса 2008 г. Только 01.12.2008 г. Комитет по определению сроков делового цикла НБЭИ признался, что, в соответствии с методикой мониторинга хозяйственных циклов, американская экономика прошла в декабре 2007 г. пик предшествовавшего экономического подъема и практически весь 2008 год пребывала в кризисе [16, с. 56].

¹ Классификация лидирующих факторов НБЭИ: (1) объем производства (объем промышленного производства: серия 47 «промышленное производство»); (2) расходы (потребление: серия 57 «объемы продаж производителей и торговли в постоянных ценах»; инвестиции бизнеса в основной капитал: серия 86 «валовые частные инвестиции юридических лиц в основной капитал»; инвестиции населения: серия 29 «вновь начатое частное жилищное строительство»; инвестиции в товарные запасы: серия 30 «изменение величины товарных запасов в сфере бизнеса»); (3) средняя производительность труда и реальная заработная плата; занятость и безработица (занятость: серия 41 «занятость в несельскохозяйственных секторах»; безработица: серия 43 «уровень безработицы в гражданских секторах»); (4) предложение денег и инфляция (предложение денег: серия 106 «денежный агрегат М 2 в постоянных ценах»; инфляция: серия 120 «изменение за 6 месяцев индекса потребительских цен на услуги»); (5) показатели финансового рынка (цены на акции: серия 19 «индекс цен на простые акции 500 компаний»; номинальные процентные ставки: серия 119 «ставка по федеральным фондам», серия 114 «ставка дисконта по новым 91-дневным казначейским обязательствам», серия 109 «средняя банковская ставка для первоклассных заемщиков») (см.: [1, с. 379–385]).

Критики метода лидирующих факторов указывают на его недостаток, связанный с тем, что все факторы, в той или иной модели претендующие на роль исходных, являются на практике функционально взаимозависимыми. Действительно, метод представляет собой результат совмещения сложных, зачастую взаимозависимых экономических процессов нелинейного характера, нередко с наличием обратной связи. Любой из них может быть «назначен» базовым, а поведение остальных может быть объяснено, исходя из его динамики. Однако при смене конъюнктуры исследователям приходится «переназначать» первопричинный фактор и уже его использовать для объяснения остальных.

Многообразие факторов, формирующих экономическую конъюнктуру порождает соблазн проводить анализ ограниченного числа показателей, а динамику остальных элиминировать допущениями: «при прочих равных условиях». Академик Энтов подобного рода упрощения вполне обоснованно квалифицировал как «подметание мусора под буфет», подразумевая уклонение авторов от объяснения имеющихся фактов, когда последние противоречат логике выдвигаемой теории [68, с. 85]. Неоспоримо, что игнорируя определенный аспект экономической реальности, невозможно ей дать адекватное описание.

Результативность экономического прогнозирования на практическом уровне зависит также от качества информационного наполнения прогностического процесса. Первоначальные статистические данные являются «грудами чисел» [26, с. 226], непосредственное оперирование которыми не способно дать заметных результатов. Здесь практическое прогнозирование, как правило, сталкивается с тремя видами информационных проблем, к которым относятся:

1) составление набора факторов, характеризующих совокупную хозяйственную активность в настоящем и будущем периодах, а также определение значения каждого из них в формировании определяющих экономических тенденций (решение указанной проблемы является в некоторой мере, субъективным, что предполагает наличие значительного резерва для увеличения качества прогнозирования путем совершенствования методологии подбора и обработки исходных данных [5, с. 9–12]);

2) доступность и корректная интерпретация первичной информации;

3) качество исходных данных: (а) достоверность (в первую очередь, арифметическая точность статистических рядов); (б) полнота (увеличение динамического ряда имеет прямое влияние на повыше-

ние достоверности и содержательности выявляемых в указанных числовых рядах закономерностей); (в) сопоставимость (сопоставимость временных рядов, согласованность методик их расчета и т.д.); и (г) представительность первичных данных (соответствие их содержанию прогнозируемого показателя)¹.

Неопределенность исходных данных и различная методика их обработки оказывают непосредственное воздействие на качество и практическую ценность прогнозов. Неопределенность исходной информации дополнительно обременена её задержкой (лагом), поскольку все статистические данные отражают ситуацию в прошедшем периоде. При этом размер информационного лага исчисляется (в зависимости от вида статистической информации) неделями и даже месяцами.

Первоначальные данные постоянно изменяются. Возникающие погрешности порождают необходимость периодического пересмотра прогнозов, оформляемого внесением существенных корректив в исходный вариант. Как правило, в процессе коррекции пересмотру подвергается комплекс факторов, оказывающих влияние на развитие ситуации и степень влияния каждого из них на возможные изменения.

Особую роль в прогнозировании играет временной аспект протекающих хозяйственных процессов. Так как экономические явления обладают не детерминированным, а статистическим характером, то и прогнозирование требует вероятностных оценок («доверительных интервалов») интенсивности, направления и периода действия определенных процессов. Только балансовых, структурных, динамических характеристик недостаточно для выявления объективных тенденций хозяйственной динамики; необходим анализ взаимодействия, времени, скорости и последовательности протекания анализируемых процессов. Лишь в этом случае могут быть спрогнозированы время и интенсивность экономических событий последующего периода, вытекающие из развития ситуации в прошлом и настоящем [3, с. 8–9].

Современные условия ведения экономической деятельности требуют максимального увеличения горизонта прогнозирования, которое по периоду упреждения подразделяется на оперативное (до 1 месяца),

¹ Например, в таблицах темпов роста, опубликованных Госпланом СССР в 1959 г., при описании вычисления среднегодового коэффициента роста использован ряд, в котором крайний член не является представительным для других членов ряда и дан годовой прирост в 490% при приростах за другие годы не более 130%. Из-за этой ошибки неверно вычислен и среднегодовой коэффициент роста для всего ряда [42, с. 4].

краткосрочное (1 месяц – 1 год), среднесрочное (1 год – 5 лет), долгосрочное (5–15/20 лет) и дальнесрочное (свыше 15–20 лет).

Все типы прогнозов различаются по содержанию и характеру квалификации исследуемых процессов. Так, при составлении оперативных прогнозов допускается, что в течение периода прогнозирования в исследуемом объекте не произойдет значительных изменений как качественных, так и количественных, и по этой причине в них доминирует детально-количественное описание предполагаемых событий. Прогнозы, составляемые на краткосрочный период, допускают лишь количественные изменения, соответственно, оценка будущих событий – количественная. Долгосрочные и среднесрочные прогнозы допускают в исследуемом объекте как качественные, так и количественные изменения, причем в среднесрочных прогнозах количественные изменения доминируют над качественными. В долгосрочных прогнозах дается качественно-количественная, в среднесрочных – количественно-качественная оценка событий. Дальнесрочные прогнозы касаются исключительно качественных изменений и предусматривают аналогичную форму оценки прогнозируемых явлений, при этом рассматриваются преимущественно общие закономерности развития исследуемого объекта [14].

При увеличении горизонта прогнозирования возрастают риски погрешности, так как даже при самых выверенных исходных данных невозможно предусмотреть все изменения, вызываемые нестационарностью объекта. По мере увеличения горизонта прогнозирования (при фиксированной степени агрегирования) точность научного предвидения развития экономических процессов снижается, «область рассеивания» расширяется, что порождает необходимость исследования более широких связей и закономерностей, создания более укрупненных прогнозных конструкций.

Так, в 2003 г. нижняя палата парламента США провела анализ прогностической достоверности экономических прогнозов, выполненных бюджетным управлением конгресса, администрацией президента США, а также аналитическими структурами частного сектора. Оценка проводилась методом выведения среднего значения по результатам 50-ти прогнозов, подготовленных за 25 лет (1976–2001 гг.). Выявилось, что данные 2-летних прогнозов в период 1982–2001 гг. фактически совпадают. При этом указанные прогнозы не содержат статистически значимых погрешностей. Меньшее соответствие ре-

альному развитию экономической ситуации продемонстрировали 5-летние прогнозы. Однако ошибки в номинальном и реальном исчислении темпов роста в указанных прогнозах оказались схожими, что объясняется одинаковыми трудностями в установлении поворотных точек (смены фаз) среднесрочного цикла. Таким образом, результаты проведенных исследований продемонстрировали возможность подготовки вполне корректных прогнозов на краткосрочный период и увеличение риска возникновения прогностических погрешностей при дальнейшем расширении прогнозного интервала [7, с. 35].

Представление, что снижение прогностической способности напрямую связано с увеличением горизонта планирования, подкупает простотой, однако базируется на неверном понимании экономического процесса как движения во времени в стационарном состоянии, параметры которого остаются всегда статичными. Исходным пунктом решения проблем прогнозирования экономического развития является осознание факта, что динамика экономических показателей во времени не является полностью детерминированным процессом, а содержит некоторую неопределяемую, случайную составляющую – случайный процесс, который необходимо изучать, всесторонне анализируя имеющуюся количественную и качественную информацию.

Здесь следует вновь обратиться к идее Н.Д. Кондратьева утверждавшего, что экономическая динамика представляет собой «поток непрерывных и многообразных качественных и количественных изменений» [23, с. 24]. Подобное разделение экономической динамики на два принципиально разных (хотя и связанных каналами обратных связей) типа процессов – (1) количественные (потокные, конъюнктурные) и (2) качественные (кумулятивно-преобразовательные) – представляет собой, как указывалось выше, перспективный метод исследования природы экономических явлений, позволяющий правильно уяснить сущность событий, включенных в общий циклический процесс. В том числе он позволяет объяснить природу некоторых проблем, возникающих в процессе прогнозирования.

В тех случаях, когда изменения экономики определяются исключительно динамикой исчисляемых показателей, следует говорить о количественных процессах. Указанные процессы имеют потокный характер и реализуются в пределах среднесрочного экономического цикла за счет наращивания количественных показателей в фазе подъема и восстановления старых (или установления новых) количествен-

ных пропорций в ходе кризиса. Соответствующие изменения пространственной конфигурации системы не влекут изменения ее свойств и функционального содержания. Указанный факт предполагает возможность достаточно эффективного прогнозирования количественных процессов.

В случаях, когда экономическая система претерпевает изменения, вызванные неисчислимыми факторами, следует говорить о качественных процессах [23, с. 20], реализующихся в пределах долгосрочных циклов и обеспечивающих внутрисистемные изменения (смена организационных принципов, технологий, содержания и характера общественных потребностей и пр.). Происходящая вследствие указанных процессов трансформация экономической системы не поддается предварительному расчету и по этой причине прогнозы в отношении возникновения и развития качественных процессов не проявляют в дальнейшем прогностической состоятельности.

Исходя из изложенного, можно предположить, что в основе проблем прогнозирования долгосрочной экономической динамики лежит не столько увеличение горизонта прогнозирования, сколько невозможность определения времени формирования качественных запросов экономической системы в процессе ее перехода на новый уровень развития, усугубляемая нестационарностью объекта прогнозирования.

Таким образом, прогнозирование позволяет определять некоторые тенденции в соответствии с установленными отклонениями от количественного баланса в экономике. Однако попытки прогнозирования долгосрочного развития экономической системы, где преобладает влияние не количественных, а качественных процессов, до сих пор остаются малорезультативными.

Этим же фактом объясняются возникающие в долгосрочном прогнозировании трудности с использованием моделей. Без них невозможно сколько-нибудь результативно дать количественную характеристику исчисляемых экономических пропорций, зависимостей и соотношений. Однако когда возникает качественный аспект, прогностические конструкции, созданные для выполнения сложных, но изначально заданных в определенном направлении расчетов, начинают проявлять несостоятельность, объясняемую статичностью математического инструментария, перенесенного в экономику из точных наук [6, с. 7]. Эти модели начинают испытывать недостаток экспертных

оценок, дефицит интуитивного познания проблематики, свойственного исключительно человеку.

Несмотря на вышеизложенные обстоятельства, многосекторный анализ и прогноз хозяйственного развития к настоящему времени превратился из исключительно теоретических упражнений в активно используемый инструментарий государственного управления экономическими процессами и от степени эффективности его практического применения напрямую зависит решение задач достижения сбалансированности параметров будущего экономического роста. Целые академические учреждения и теоретические школы ориентированы на создание изолированных эконометрических построений. Так, один из передовых научных центров – Стэнфордский университет, расположенный около Сан-Франциско (США), представляет собой целую школу эконометрического моделирования для самых разнообразных сфер применения, включая даже политологию [15, с. 77]. В связи с этим следует выделить проблему ответственности прогнозирующего органа не только за качество прогноза, но и за психологическое воздействие, которое такой прогноз может оказать на рынок. В данном контексте уместно вспомнить автора идеи создания первых прогностических систем (экономических барометров) А. де Фовиля (Франция), отмечавшего еще в 1888 г., что «между деловыми барометрами и метеорологическими есть существенное различие: сообщения метеорологических барометров не оказывают никакого влияния на то, какой будет погода, тогда как прогнозы деловых барометров могут оказать значительное влияние на деловые тенденции» [69]. Указанную метафору вспоминал на встрече Комитета экспертов по экономическим барометрам в декабре 1926 г. авторитетный исследователь экономической конъюнктуры К. Джини (Италия). Он допускал использование прогноза в монетарной политике и кредитном контроле как инструмента смягчения экономических колебаний, однако был убежден, что более широкое обращение экономической информации будет иметь проциклический, а в худшем случае, дестабилизирующий эффект [70, с. 14–15]. Данное наблюдение гармонирует с позицией его австрийского коллеги О. Моргенштерна, который, рассматривая опыт создания ранних прогнозных моделей (в первую очередь, Гарвардского барометра), считал, что указанный «эксперимент» был весьма полезен для развития экономической теории, позволяя эмпирически верифицировать причинные связи, установленные интуитивно. Однако, когда его результаты были растиражированы и нашли практи-

ческое применение в части предпринимательского выбора, эксперимент приобрел дестабилизирующий эффект. Фактически, широко распространенное доверие к результатам экономических прогнозов способствовало изменению «ориентиров» предпринимателей, подвергая опасности «рациональность» экономических процессов [71]. Указанная проблема актуальна и по настоящее время – столетняя история использования все более совершенных и сложных прогностических систем не содержит ее успешного решения.

Экономико-математические методы прогнозирования хозяйственной динамики: возможности и пределы применения. Наиболее распространенным способом прогнозирования экономической динамики в настоящее время является метод математического моделирования, который реализуется в рамках эконометрики – отдельного направления в анализе и прогнозе экономического развития, синтезирующего «достижения теоретического анализа экономики с возможностями математической статистики» [46, с. 140].

До 1970-х годов основной задачей эконометрики считалась эмпирическая верификация моделей, созданных в рамках традиционной экономической теории. Главной ее задачей являлось «наполнить эмпирическим содержанием априорные экономические рассуждения» (Л. Клейн). Эконометрики того периода считали, что их метод «дополняет теорию, используя реальные данные для проверки и уточнения постулируемых отношений» (Э. Маленво, цит. по: [34, с. 11]), а использование обработанной статистической информации способно защитить экономическую теорию от догматизма. Однако с 1970-х годов эконометрический инструментарий начал применяться также при определении причинности экономических теорий. При этом формальные методы стали применяться и монетаристами (до этого большинство моделей были кейнсианскими) [65, с. 14].

Эконометрические исследования объединяет общий недостаток – в них отсутствуют или недооценены качественные экспертные оценки. Несомненно, что математика предоставляет мощный инструментарий для описания и прогнозирования экономических процессов, однако, он не способен учесть всего набора случайных воздействий, имеющих зачастую неэкономическую природу. На самом деле, как можно математически точно отразить фактор доверия? Как определить точку излома хозяйственной конъюнктуры, возникающую вследствие смены оптимистических ожиданий участников рынка паникой? [15, с. 77]. Понимание

указанного факта особенно значимо для экономики, где, как замечал еще А. Смит, чрезвычайные и непредвиденные обстоятельства играют серьезную роль (цит. по: [68, с. 85–86]).

П. Самуэльсон обосновывает кризис экономической науки противоречием между сложностью мира хозяйственных явлений и «простотой» экономических теорий, описывающих этот мир [56, с. 34]. Указанное наблюдение вполне применимо к попыткам квантификации экономической науки. Понятие «простота» в указанном контексте, конечно, относится не к используемому математическому аппарату, а к самому методу, когда сложные, многогранные социальные и экономические процессы загоняются в жесткие рамки математических формул в расчете на получение простого, однозначного результата.

Математическое наполнение экономических исследований, становящееся неременным условием современных интерпретаций сложившихся представлений о цикличности экономической динамики, делает все более зыбкой связь с теоретическими взглядами экономистов предыдущих периодов. «Вербальное моделирование» практически полностью вытеснено из теоретических исследований в области экономической теории; чисто вербальный текст не имеет никаких шансов на публикацию ни в одном из влиятельных экономических журналов» [33, с. 21]. Профессор Л.С. Гребнев по этому поводу справедливо отмечает, что на подобную публикацию не имели бы шансов труды не только К. Маркса, но и его оппонентов, как Л. Мизеса и нобелевского лауреата по экономике Ф. Хайека [13, с. 151].

Наличие связи между математикой и экономикой как науками, исследующими, прежде всего, количественные отношения, является несомненным фактом. При этом математика формирует мощный инструментарий для описания и прогнозирования экономических процессов. П. Самуэльсон утверждает, что «эконометрика позволяет проводить количественный анализ реальных экономических явлений, основываясь на современном развитии теории и наблюдениях, связанных с методами получения выводов» (цит. по: [34, с. 11]). Вместе с тем, можно считать, что используемое здесь понятие «количественный анализ» определяет ограничение эконометрических методов как неспособных адекватно определять качественные изменения экономического процесса, который имеет неформальный характер и не может в полной мере быть описан посредством математических обозначений. Выписать целевую функцию в форме вектора, включающего все возмож-

ные общественные потребности, означает, по сути, обычное перечисление указанных потребностей математическими средствами. Невозможна также полноценная формализация взаимозависимостей между различными потребностями (составляющими вышеобозначенного вектора), установление (а не простая констатация) количественной меры соответствующих потребностей. Таким образом, исследование экономических процессов может проводиться исключительно на основе изучения всего многофакторного опыта экономического развития, осознания возникающих задач и конкретизации целей. Без сомнения, определенные аспекты должны исследоваться с применением формальных методов и экономико-математических моделей. Однако при всей важности и полезности данных методов они призваны выполнять лишь подчиненную, служебную функцию [17, с. 20].

Байесовский регуляризирующий подход – эффективный метод экономико-математического исследования в условиях неопределенности. Традиционные математические методы, используемые в экономике, и сформированный на их основе эконометрический инструментарий не рассчитаны на продуктивную работу с нестационарными экономическими объектами, постоянно претерпевающими внутренние трансформации и развивающимися в условиях изменчивости внешней среды. Неспособность учета процессов качественного развития, а также случайных воздействий на экономику, имеющих зачастую неэкономическую природу, осложняет и делает малорезультативным использование классических подходов к прогнозированию, базирующихся на принципах применения заранее созданных моделей объектов и алгоритмов их функционирования [44, с. 33–34]. Указанное обстоятельство свидетельствует о необходимости создания аналитико-прогностических систем, не имеющих жесткой алгоритмической структуры и способных развиваться в зависимости от поступающей информации и соответствующего изменения требований, целевых функций, ограничений и критериев выполняемой задачи [44, с. 34]. Такую необходимость сформулировал в 1997 г. В.И. Арнольд, вводя понятие мягких (и жестких) математических моделей. Одновременно активно развивается методика мягких измерений, включая измерения с применением нечеткой логики (например, [4; 72; 18, с. 6]).

Одним из перспективных подходов, позволяющих получать оценки хозяйственных показателей в условиях неопределенности и рисков, является регуляризирующий байесовский подход, базирующийся на инте-

грации системного, измерительного, вероятностно-статистического методов, а также методологических основ нечеткой математики и искусственного интеллекта. Указанный вектор развития математической науки является качественным примером разработки платформенных решений для выполнения задач моделирования и разработки развивающихся информационных технологий [44, с. 37-38]. Его преимущества заключаются в возможности обеспечивать достижение устойчивых оценок в условиях малых выборок, разнотипности данных, существенной неточности информации и нечеткости знаний о тенденциях развития исследуемых объектов. Регуляризирующие свойства данного подхода обеспечиваются интеграцией измерительного модуля в схему классического байесовского вывода. Данный модуль позволил модифицировать байесовскую формулу и разработать математический аппарат для формирования, преобразования и передачи шкал с динамическими ограничениями, где осуществляется получение, передача, преобразование, интерпретация и хранение данных и знаний, требующихся для создания моделей объекта по методу байесовского вывода. В результате таких преобразований в качестве решений на шкале могут быть достигнуты оценки состояния объектов, решения о соответствии их критериям, модельные и формализованные отображения хозяйственных процессов, выводы, рекомендации и карты рисков для экономических систем. При этом поступление новой информации влечет преобразование соответствующей шкалы с динамическими ограничениями и уточнение оценок [45, с. 28, 29]. Помимо основных шкал, служащих для отображения числовой или лингвистической информации, предусмотрены связанные универсальные шкалы для трансляции информации на последующие этапы обработки. В качестве связующей основы используется принцип единства измерений, позволяющий сопрягать входы и выходы различных шкал и трансформировать их в соответствии с функциональным назначением и метрологическими требованиями информационной системы. В этих целях одновременно с вычислительным процессом осуществляется процесс метрологического сопровождения каждого решения в виде показателей надежности, достоверности, точности, энтропии и риска. Указанные показатели сводятся в комплексы метрологических характеристик [44, с. 41].

Концептуальная модель измерений на основе байесовского регуляризирующего подхода может быть представлена гомоморфным преобразованием вида (1):

$$G(O)(t) \rightarrow G(M)(t) \quad (1)$$

где $G(O)(t)$ – система динамического объекта измерений, $G(O)(t) = Q(O)(t) * R(O)(t)$ со свойствами $Q(O)(t)$, отношениями $R(O)(t)$, меняющимися в зависимости от времени t ; $G(M)(t)$ – система динамической модели $G(M)(t) = Q(M)(t) * R(M)(t) * L(M)(t)$ со свойствами $Q(M)(t)$, отношениями $R(M)(t)$ и ограничениями, допущениями, требованиями $L(M)(t)$ постановки задачи, также меняющимися во времени [43, с. 47].

Оптимизационное уравнение может быть представлено в виде (2):

$$\{hkt(Q)|\{MX\}kt(Q)\} / Yt(O) * Yt(OE) * Gt(OE) ** Gt(C) = \\ = \{arg \text{ exstr } C [Fj(\{Xit\} / Yt(O) * Yt(OE) * Gt(OE)) * Gt(C)]\} \quad (2)$$

где $\{hkt(Q)|\{MX\}kt(Q)\} / Yt(O) * Yt(OE) * Gt(OE)$ – нечеткое решение измерительной задачи в условиях, (определяемых априорной информацией, требованиями, ограничениями и допущениями) функционирования объекта $Yt(O)$; в условиях влияющих факторов окружающей среды $Yt(OE)$; в компактах совокупности свойств объекта $Gt(O)$, среды $Gt(OE)$ и системы взаимосвязей $Gt(C)$ объекта и среды; $\{MX\}kt(Q)$ – комплекс метрологических характеристик решений; C – критерий, задающий логику вывода решения задачи; F – вычислительные функции, преобразующие $\{Xit\}$ – совокупность потоков информации, используемой для получения решений; $*$ – символ байесовской свертки по модифицированной байесовской формуле [43, с. 47].

Метрологическое сопровождение измерений основывается на применении комплексов метрологических характеристик.

А. Точность определяется по формуле:

$$\xi_s = \frac{\max p(h_s, h_{s+1}) \quad h_s \in H_k}{p(h_k, h_1)}, \quad (3)$$

где $p(h_k, h_1)$ – диапазон шкалы H_k ; $\max p(h_s, h_{s+1}) \quad h_s \in H_k$ – расстояние между соседними элементами носителя шкалы.

Б. Надежность. Надежность результата характеризует устойчивость решения. Показатель надежности основан на уровнях ошибки первого и второго рода и определяется как:

$$V_s = (1 - \alpha_s) (1 - \beta_s), \quad (4)$$

где α_s – уровень ошибок первого рода (отражающий вероятность отвержения правильного решения на шкале); β_s – уровень ошибок второго рода (характеризующий вероятность принятия неправильного решения на шкале).

В. Риск – величина, показывающая риск принятия данного решения. Вычисляется как $(1 - R)$,

$$R = \frac{R^\alpha \sum P(h_j)}{h_1 \in H_r}, \quad (5)$$

где R – окончательная достоверность решения на шкале; H_r – множество значимых гипотез на шкале [43, с. 48].

Заключение

Вышеперечисленные эконометрические разработки, в совокупности получившие название «байесовский регуляризирующий подход», могут не только составить математическую платформу для подготовки прогнозов на основе обработки разнотипных и нечетких данных, но и способны осуществлять текущую корректировку прогнозов в соответствии с поступающей информацией, имеющей как количественное (числовое), так и качественное (экспертно-оценочное) выражение: лингвистические данные (мнения экспертов, заявления ответственных лиц, способные повлиять на состояние рынка), психологическая информация (ожидания экономических агентов), наступление / возможность наступления экономических и неэкономических (влияющих на социально-экономическую среду) событий и пр. Не решая в принципе проблему прогнозирования качественных изменений в условиях полициклического развития экономики, байесовский регуляризирующий подход дает возможность изменения первоначальных прогнозов в направлении наиболее корректного варианта развития событий.

Список литературы

1. Абель Э., Бернанке Б. Макроэкономика. Спб.: Питер, 2010. 768 с.

2. *Алексеева М.Б.* Системный подход и системный анализ в экономике. Мурманск: МАЭУ, 2012. 276 с.
3. *Анчишкин А.И., Еришов Э.Б.* Принципы народнохозяйственного прогнозирования / Тез. докл. на науч. сессии «Методологические проблемы долгосрочного экономического прогнозирования». М., 1966. 11 с.
4. *Арнольд В.И.* «Жесткие» и «мягкие» математические модели. М.: МЦНМО, 2008. 32 с.
5. *Бандура А.В.* Підвищення ефективності економічного прогнозування на концептуальному рівні // Економіст. 2007. № 3. С. 9–12.
6. *Бандура А.В.* Славянская школа в экономике и прогнозировании // Нефтяное обозрение «Терминал». 2009. № 44 (474). С. 6–8.
7. *Бобровников А.В.* Зарубежный опыт государственного стратегического планирования и программирования / под науч. ред. С.Ю. Глазьева, Ю.В. Яковца. М: ГУУ, 2008. 124 с.
8. *Варга Е.С.* Современный капитализм и экономические кризисы. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 504 с.
9. *Власенко В.Е.* Теории денег в России. Конец XIX – дооктябрьский XX в. Киев: Изд-во Киев. ун-та, 1963. 252 с.
10. *Глазьев С.Ю.* Современная теория длинных волн в развитии экономики // Экономическая наука современной России. 2012. № 2 (57). С. 27–42.
11. *Глазьев С.Ю.* О неотложных мерах по укреплению экономической безопасности России и выводу российской экономики на траекторию опережающего развития (аналитическая версия доклада) // Российский экономический журнал. 2015. № 5. С. 3–62.
12. *Грановский Е.* К теории конъюнктуры «советских» буржуазных экономистов // Вестн. Коммунистической академии. 1929. Кн. XXX.
13. *Гребнев Л.С.* Мы отстали. Навсегда ли? // Вопросы экономики. 2010. № 1. С. 150–154.
14. *Громова Н.М., Громова Н.И.* Основы экономического прогнозирования. Изд-во «Академия естествознания», 2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rae.ru/monographs> (дата обращения: 15.10.2011).
15. *Зуев В.Н.* Территория кризиса: принципы экономического ориентирования. М.: Магистр, 2009. 95 с.
16. *Илларионов А.Н.* Досрочная рецессия // Smart Money. 2008. № 46 (136). С. 56–59.
17. Использование народно-хозяйственных моделей в планировании / под ред. А.Г. Аганбегяна, К.К. Вальтуха. М.: Экономика, 1975. 231 с.

18. *Клейнер Г.Б.* «Мягкие» и «жесткие» системы в экономике / Экономическая кибернетика и системная экономика: сб. материалов круглого стола XVII Междунар. конференции по мягким вычислениям SCM'2014 (4 июня 2014 г., г. Москва, Финуниверситет) / под общ. ред. чл.-корр. РАН Г.Б. Клейнера, проф. С.В. Прокопчиной. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. С. 6–12.

19. *Клейнер Г.Б.* Стратегия системной гармонизации экономики России // Экономические стратегии. 2008. № 5–6. С. 72–79.

20. *Клейнер Г.Б.* Устойчивость российской экономики в зеркале системной экономической теории. Часть 1 // Вопросы экономики. – 2015. № 12. С. 107–123.

21. *Клюкин П.Н.* Конъюнктурный институт в новых исторических координатах («экономическая мысль – хозяйственная система») / Избранные труды Кондратьевского Конъюнктурного института / Рос. акад. наук, Ин-т экономики; науч. ред. и сост. П.Н. Клюкин. М.: Экономика, 2010. С. 11–32.

22. *Кондратьев Н.Д.* Большие циклы конъюнктуры // Вопросы конъюнктуры. М.: Фин. изд-во НКФ СССР, 1925. Т. 1. Вып. 1. С. 28–79.

23. *Кондратьев Н.Д.* Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. Избранные труды / Н.Д. Кондратьев; Междунар. фонд Н.Д. Кондратьева и др.; Ред. колл.: Абалкин Л.И. (пред.) и др.; сост. Яковец Ю.В. М.: Экономика, 2002. 767 с.

24. *Кондратьев Н.Д.* Мировое хозяйство и его конъюнктуры во время и после войны. Вологда: Обл. отд-ние гос. изд-ва, 1922. 258 с.

25. *Кондратьев Н.Д.* Михаил Иванович Туган-Барановский. Пг.: «Колос», 1923.

26. *Конюс А.А.* Экономическая конъюнктура / Энциклопедический словарь Гранат. Т. 51. М.: Рус. библиогр. ин-т «Гранат», 1930. С. 220–264.

27. *Кузьменко В.П.* Исследование динамики социально-экономических циклов // Статистика Украины. 1999. № 1. С. 54–59.

28. Курс экономической теории / под ред. М.Н. Чепурина, Е.А. Киселевой. Киров, «АСА», 2004. 832 с.

29. *Лавровский Б.Л.* Об анализе блочной структуры экономики / Проблемы построения и использования моделей экономики / под ред. К.К. Вальтуха. Новосибирск, 1970. С. 76–103.

30. *Левицкий Е. М., Меньшиков С.М., Чижов Ю.А.* Моделирование американской экономики. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. 245 с.

31. *Ленин В.И.* Полн. собр. соч. Т. 4. М.: Политиздат, 1959. 565 с.
32. *Ленин В.И.* Полн. собр. соч. Т. 46. М.: Политиздат, 1964. 662 с.
33. *Либман А.М.* Политико-экономические исследования и современная экономическая теория. М.: ИЭ РАН, 2008. 253 с.
34. *Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А.* Эконометрика. – 3-е изд., перераб. и доп. М.: Дело, 2000. 400 с.
35. *Маркс К.* Капитал. Т. I / Маркс К., Энгельс Ф. Собр. соч. Т. 23. – 2-е изд. М.: Госполитиздат, 1960. 908 с.
36. *Мау В.А.* Кризисы и уроки. Экономика России в эпоху турбулентности. М.: Изд-во Института Гайдара, 2016. 488 с.
37. *Мендельсон Л.А.* Теория и история экономических кризисов и циклов. В 3-х томах. Т. 1. М.: Соцэкгиз, 1959. 691 с.
38. *Меньшиков С.М., Клименко Л.А.* Длинные волны в экономике. Когда общество меняет кожу. М.: Междунар. отношения, 1989. 272 с.
39. Нобелевские лауреаты по экономике: взгляд из России / под ред. Ю.В. Яковца. СПб.: Гуманистка, 2003. 996 с.
40. Парвус. Мировой рынок и сельскохозяйственный кризис. Экономические очерки. СПб.: Изд-во О.Н. Поповой, 1898.
41. *Покидченко М.Г., Чаплыгина И.Г.* История экономических учений. М.: ИНФРА-М, 2008. 271 с.
42. *Померанцев В.В.* Методические вопросы раскрытия тенденций развития отраслей промышленности / Тез. докл. на науч. сессии «Методологические проблемы долгосрочного экономического прогнозирования». М., 1966. 22 с.
43. *Прокопчина С.В.* Методологические аспекты решения задач полисистемных измерений в условиях неопределенности / Экономическая кибернетика и системная экономика: сб. материалов круглого стола XVII Междунар. конференции по мягким вычислениям SCM'2014 (4 июня 2014 г., г. Москва, Финуниверситет) / под общ. ред. чл.-корр. РАН Г.Б. Клейнера, проф. С.В. Прокопчиной. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. С. 45–51.
44. *Прокопчина С.В.* Основные принципы решения экономических задач в условиях информационной неопределенности // Научные труды Вольного экономического общества России. 2010. Т. 144. С. 3-248.
45. *Прокопчина С.В., Щербаков Г.А.* Математические методы в экономике: история и перспективы // Научные труды Вольного экономического общества России. 2010. Т. 144. С. 13–31.

46. *Прокопчина С.В., Щербаков Г.А.* Математические методы экономики: история и перспективы // Экономика и управление: проблемы, решения. 2014. № 12 (36). С. 139–146.

47. *Сильвестров С.Н.* Мировая экономика: тревожное ожидание и поиски стабильности / В поисках утраченного роста. II Междунар. форум Финансового университета – 2015 (24–26 ноября, Москва): сборник статей. Т. 1 / Отв. ред. Д.Е. Сорокин. М.: Финансовый ун-т, 2016. С. 205–241.

48. *Слуцкий Е.Е.* Сложение случайных причин как источник циклических процессов / Избранные труды Кондратьевского Конъюнктурного института / Рос. акад. наук, Ин-т экономики; науч. ред. и сост. П.Н. Ключкин; ред. колл.: А.Я. Рубинштейн (пред.) [и др.]. М.: Экономика, 2010. С. 111–345.

49. *Слуцкий Е.Е.* Сложение случайных причин как источник циклических процессов // Вопр. конъюнктуры. 1927. Т. 3. Вып. 1. С. 34–64.

50. *Троцкий Л.Д.* О кривой капиталистического развития // Вестн. социалистической академии. 1923. Кн. 4. С. 3–12.

51. *Туган-Барановский М.И.* Бумажные деньги и металл. – Пг.: Юрид. кн. скл. «Право», 1917. 168 с.

52. *Туган-Барановский М.И.* Периодические промышленные кризисы: История английских кризисов. Общая теория кризисов. – 3-е, соверш. перераб. изд. СПб.: Т-во О.Н. Поповой, 1914. 466 с.

53. *Туган-Барановский М.И.* Русская фабрика в прошлом и настоящем. Историко-экономическое исследование. Т. 1: Историческое развитие русской фабрики в XIX веке. СПб.: Изд-во Л.Ф. Пантелеева, 1898. 496 с.

54. Финансовый кризис в России и в мире / под ред. Е.Т. Гайдара. М.: Проспект, 2009. 256 с.

55. *Хансен Э.* Экономические циклы и национальный доход / ред. Ю.Я. Ольсевич. М.: Изд-во иностр. лит., 1959. 760 с.

56. *Худокормов А.Г.* Критика ревизионистских теорий капитализма: Экономический аспект. М.: Мысль, 1980. 223 с.

57. *Цвайнерт Й.* История экономической мысли в России. 1805–1905 / под н. ред. В.С. Автономова. – 2-е изд. М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2008. 410 с.

58. *Шапошников Н.Н.* Кредит и конъюнктура // Вопросы конъюнктуры. – М.: Фин. изд-во НКФ СССР, 1927. Вып. 1. Т. 3. С. 17–33.

59. *Шумпетер Й.А.* Теория экономического развития: (Исследование предпринимательской прибыли, капитала, кредита, процента и цикла конъюнктуры). М.: Прогресс, 1982. 455 с.

60. *Щербаков Г.А.* Генезис и механизмы преодоления системных экономических кризисов // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2016. № 2 (44). С. 48–60.

61. *Щербаков Г.А.* Концепция системных экономических кризисов и экономико-математическая верификация ее базовых выводов на историческом периоде конца XVIII – начала XX веков / Г.А. Щербаков // Экономика и управление: проблемы, решения. 2015. № 12, том 5 (48). С. 3-15.

62. *Щербаков Г.А.* Кризис как конституирующий элемент теории экономических циклов. Книга 1. Ретроспективный анализ экономических потрясений XVIII-XIX веков. К.: Арт Экономи, 2010. 332 с.

63. *Щербаков Г.А.* Кризис как конституирующий элемент теории экономических циклов. Книга 2. Ретроспективный обзор потрясений мирового хозяйства в XX веке. К.: Арт Экономи, 2011. 400 с.

64. *Щербаков Г.А.* Системный экономический кризис как проявление необходимости качественных трансформаций в преддверии нового этапа долгосрочного развития // Экономика и управление: проблемы, решения. 2016. № 4. Том 1 (52). С. 19–25.

65. Эконометрика / под ред. И.И. Елисеевой. – 2-е изд. М.: Финансы и статистика, 2006. 576 с.

66. *Яковец Ю.В.* Прогноз технологического развития мира и России и стратегия инновационного прорыва. М.: МИСК, 2008. 35 с.

67. *Яковец Ю.В.* Эпохальные инновации XXI века. М., 2004. 444 с.

68. *Энтов Р.М., Ивантер А.Е.* Его величество случай // Эксперт. 2006. № 1–2 (496). С. 78-87.

69. *Favero G.* Weather forecast or rain-dance? On inter-war business barometers // Working Papers. Department of Economics Ca' Foscari University of Venice. 2007. № 14. Pp. 1–22.

70. *Gini C.* La riunione del Comitato di esperti per la questione dei barometri economici indetta dalla Soc. delle Nazioni // Indici del movimento economico italiano. – 1926. – Anno I. Serie I. – Fasc. 4.

71. *Morgenstern O.* Wirtschaftsprognose: Eine Untersuchung ihrer Voraussetzungen und Möglichkeiten – Wien, J. Springer, 1928. – 128 p.

72. *Zadeh L.* Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing // Communications of the ACM. 1994. Vol. 37. № 3/ Pp. 77–84.

ГЛАВА 7

МЯГКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И МЯГКИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ

А.В. Спесивцев

7.1. Проблемы моделирование сложных объектов в условиях неопределенности

7.1.1. Особенности сложных объектов и систем

В условиях устойчивой тенденции усложнения и появления принципиально новых классов СлО проблема оценивания их состояния и управления ими выступает в качестве стратегического направления автоматизации и приобретает всеобъемлющий характер в различных областях науки и техники [1–4].

Заметим, что в данном контексте понятие «сложные объекты» включает как синонимы «сложные явления», «сложные технологические объекты» (СТО), «сложные системы» (СС), в том числе и самого человека, например, в качестве хранителя и источника знаний.

Особенностью современных СлО является то, что они функционируют, как правило, в многомерных пространствах нечетких переменных, и многие задачи оценивания их состояния формулируются и обсуждаются вербально на профессиональном языке данной отрасли знаний. Соответственно этому постановка и подготовка альтернативных решений для отнесения фактического состояния СлО к определенному классу состояний (работоспособное, ограничено работоспособное, неработоспособное) предполагает использование не только количественной, но и качественной (вербальной) информации.

Практически все изучаемые явления и производственные процессы в различных областях науки и техники от космонавтики до сельского хозяйства следует рассматривать с точки зрения СлО [2–4].

Широкое применение в практике при оценивании состояний СлО нашли методы, базирующиеся на использовании ЭЗ. В настоящем исследовании под ЭЗ понимаются познания эксперта, накопленные опытом в процессе работы в данной конкретной области и позволяющие ему выступать в качестве «интеллектуальной измерительно-диагностической системы» (ИИДС) на различных этапах жизненного цикла СлО [5]. В научно-технической литературе, несмотря на многочисленные варианты использования ЭЗ для решения многих задач, эксперт с точки зрения использования его именно как ИИДС практически не рассматривался, хотя ЭЗ играют решающую роль в оценивании состояний СлО, в том числе и технических состояний (ТС), особенно в условиях неопределенности [3–6].

В таких создавшихся условиях извлечения и формализации ЭЗ выступают в качестве одной из важнейших проблем. Особенностью выводов о состоянии СлО заключается *в получении выводов из нечеткой информации с помощью знаний о нечетких правилах* [1–6].

К настоящему времени проведены многочисленные исследования отечественных и зарубежных авторов по формализации и анализу недостоверной, неполной, неточной и противоречивой информации применительно к задачам моделирования, управления и оценивания состояния СлО. Среди наиболее значимых научных и практических результатов следует отметить в первую очередь работы Л. Заде [7], научных школ московской (Поспелов Д.А., Аверкин А.И. и др.), рижской (Алексеев А.В., Крумберг О.А.), Санкт-Петербургской (Соколов Б.В., Охтилев М.Ю., Миронов А.Н. и др.) и многих зарубежных в США, Японии, Франции.

В данном разделе приведен краткий обзор работ научной школы по формализации ЭЗ о состоянии СлО в аналитическом виде (к.т.н. Спесивцев А.В. и его последователи) в различных отраслях науки и техники, начиная с первой публикации в 1994 году.

Строго говоря, каждый из нас является экспертом в своем деле – от домохозяйки до академика, поскольку ежеминутно оцениваем что-то и принимаем решение об этом чем-то. Другое дело, что в повседневной практике нам достаточно понятий из нашего разговорного языка, а в профессиональной – требуются уже специальные знания. Тем более, если речь идет о сложных явлениях, объектах или системах.

Далее речь пойдет, как указано в заглавии, о синтезе интеллектуальных моделей состояния сложных объектов на базе экспертных знаний (ЭЗ). Поэтому следует пояснить, что подразумевает автор под каждым вводимым названием, кратко рассмотрим особенности сложных объектов (СЛО), само понятие сложности и некоторые способы управления ею, остановимся на понятии знания и подробнее – на ЭЗ, а также «раскроем секрет» построения логико-лингвистических моделей как способе формализации экспертной информации в борьбе со сложностью.

Состояние СЛО (по ГОСТ 20911 – 89) – характеристика на данный момент его функционирования при определенных условиях внешней среды значениями параметров, установленных технической документацией на объект. При этом СЛО обладает целым рядом особенностей, существенно отличающих его от объектов исследования существующих теорий управления СС.

Для отличия простых систем от сложных вводят несколько аспектов сложности [2–4]:

- структурная сложность, включающая количество элементов системы и взаимосвязей между ними;
- сложность функционирования, определяемая характеристиками множества состояний, правилам перехода между состояниями, взаимодействием с внешней средой, степенью неопределенности самих характеристик и их количественных оценок;
- сложность развития и деградации, определяемая изменением ТС системы в жизненном цикле ее эксплуатации.

Природным, общественным и техносферным системам и явлениям характерны [8]:

- взаимозависимость свойств и организации;
- бесперспективность применения линейных аппроксимаций;
- стохастизирующий фактор;
- невыводимость свойств системы как целого из свойств ее элементов;
- невоспроизводимость поведения по начальным данным;
- неопределимость и логическая недоказуемость законов причинности;
- самоподобие;
- саморазвитие.

Влияние на СЛО множества различных по своей физической природе факторов, взаимодействия с окружающей средой, увеличение числа

входящих элементов, параметров, а также стремительный рост числа взаимосвязей между ними, не полностью устраняемая неопределенность процедур оценивания их состояния, ограниченность сведений по взаимовлияниям между факторами приводят к необходимости использования знаний и опыта экспертов [2–6]. Поэтому остро встают проблемы формализованного описания интуитивно-словесных и неявно-заданных ЭЗ о состоянии конкретных СЛО, к которым относятся также разнообразные элементы взаимосвязанных материальных и организационных структур, предназначенных для обеспечения устойчивой деятельности СЛО.

В качестве наиболее характерных задач о состоянии СЛО, решение которых осуществляется с привлечением ЭЗ, являются [4,6]:

- задачи прогнозирования развития техники в определенной области человеческой деятельности;
- задачи определения альтернативных вариантов принятия решений при оперативном управлении системой;
- задачи анализа и выбора вариантов структур, изменение способов и целей СЛО, последовательности выполнения ими целей в различных условиях;
- задачи повышения уровня целевых и информационно-технических возможностей с обеспечением «благоприятных» процессов;
- задачи выбора вариантов развития технических систем (ее структуры, средств, технологии управления процессом, создания, эксплуатации и т.п.);
- задачи обоснования критериев оценки эффективности применения СЛО;
- задачи определения целей и задач управления с упорядочением их по степени важности и согласованности решений (последовательности реализации);
- задачи распределения ресурсов (средств) для достижения поставленных целей;
- задачи формирования («генерирования») перечня возможных альтернативных действий в различных предметных областях.

Таким образом, для широкого круга недостаточно формализуемых проблем в политической, экономической, военной, научно-технической, медицинской и других областях человеческой деятельности экспертные процедуры являются эффективным средством их решений.

Результаты многочисленных исследований показали, что качество оценивания состояния СЛО непосредственно влияет на эффек-

тивность, оперативность и обоснованность принятия решений о текущем и прогнозируемом состоянии СЛО. При оценивании ТС СЛО остро встают вопросы интерпретации качественных (неколичественных, неизмеряемых, вербальных) компонент информации количественными категориями. В таких условиях оценивание фактического состояния СЛО представляется важнейшей задачей, требующей научно обоснованного подхода к выбору методов интеграции (обобщения) количественной и качественной информации о текущем состоянии объекта в условиях неопределенности.

Роль и место экспертных оценок состояния СЛО в различных областях науки и техники весьма значительны. Так, доля экспертной информации по управлению эксплуатацией современной техники составляет даже в космонавтике более 60% [4], а если учесть работу операторов-технологов производственных агрегатов как экспертную [3], то этот процент существенно повысится.

Решающая роль экспертов прослеживается, например, и в управлении государством, регионами, промышленностью и другими большими структурами, поскольку совещания любого ранга всегда предусматривают обмен мнениями между представителями этих структур, выступающих в качестве экспертов. Обращает на себя внимание факт, что преимущественно вербальный уровень общения и дискуссий, а также принимаемые решения даже на самых высоких уровнях принимаются также на вербальных уровнях, хотя иногда содержат и количественную информацию. Из этого следует, по крайней мере, три вывода:

- совещания любого уровня используют преимущественно профессиональный вербальный язык;
- количественные оценки (данные, показатели и др.) не имеют смысла без вербальных сопроводительных характеристик;
- при необходимости использования детерминированных математических преобразований количественных данных вербальное сопровождение, как правило, не может быть использовано.

7.1.2. Сложность как объект управления

Обратим внимание на понятие сложности, которое чаще всего выступает как прилагательное к какому-либо явлению, например рассматриваемы нами СЛО.

Сложность в различных областях человеческой деятельности, как показано выше, не определяется только количеством элементов и свя-

зей между ними в системе, это – только один из многих присущих ей факторов. Сложность как феномен требует расширения и выявления научно-системных парадигм для возможности управления сложностью. В науке управления сложностью в настоящее время разрабатывается концепция под названием «сетецентризм». Отметим, что термин «сетецентризм», введенный в обиход военными, трактуется в очень широком смысле и, как минимум, в его понятие включают [9]:

- повышение качества управления и формирование стратегий за счет знаний, форсайтов, прогнозов и синергетических воздействий в режиме упреждения;
- увеличение скорости принятия управляющих решений (скорость прохождения цикла от постановки задачи или обнаружения проблемы до их решения);
- создание материально-технической и методологической базы;
- избирательное, точечное и оптимальное решение возникающих задач;
- увеличение своей выживаемости (надежность и устойчивость системы управления, самого СЛО, материально-технической и методологической базы).

При этом выделяют два типа сложности [10] – вычислительную и когнитивную. В последнем типе источником сложности выступает устройство наблюдателя (мозг), а не наблюдаемого СЛО. Когнитивная составляющая сложности как важнейшая характеристика «нелинейности» интерпретируется в том смысле, что мозг успешно справляется только с теми сложностями, алгоритмы которых человек приобрел в ходе своей эволюции, например при распознавании образов.

Давно доказано, что мозг человека превосходит любые суперкомпьютеры в решениях задач, связанных с обработкой нечеткой или неточной информацией. Поэтому использование ЭЗ в различных областях науки и техники можно рассматривать как средство борьбы со сложностью. В пользу этого гласит фундаментальный закон **Эшби** – сложность можно победить только равной или большей сложностью [11]. Из этого закона неизбежно следует высокая сложность систем управления СЛО.

На практике, как следует из многочисленных публикаций, для борьбы со сложностью разработаны многие подходы и методы управления применительно к конкретным СЛО, функционирующих, как правило, в условиях существенной неопределенности, режимов жесткого ограничения времени на принятия решений, недостатка информации с не всегда предсказуемым исходом [2–4,6].

Как видно из такого понимания термина «сетцентризм», каждый из перечисленных пунктов представляет собой отдельное научное направление со своим методологическим и математическим аппаратом. Поэтому в настоящем исследовании рассматриваются только те вопросы, которые непосредственно связаны с решением проблемы оценивания и прогнозирования состояния СлО на основе ЭЗ.

Рассмотрим сначала, как формируется понимание самого процесса накопления знаний.

7.1.3. Представление о накоплении знаний и выработке решений

Известно, что многообразие способов построений систем управления СлО консолидируется конструкциями более общего порядка – топологическими [4]. Так, в работе [12] предложен научно-методический аппарат формального описания состояния космических средств как СлО. Рассматривается процесс принятия решения о техническом состоянии (ТС) бортовых систем (БС) РКН по результатам проведенного контроля и диагностирования на теоретико-множественном уровне, как представлено на диаграмме, представленной на рисунке 1. В работе показано, что в общем виде модель объекта анализа представлена упорядоченным множеством:

$$\Sigma = (T, U, Y, X, g), \quad (1)$$

где T – множество моментов времени t , в которые наблюдается объект; U, Y – множества входных U и выходных Y сигналов соответственно; X – множество состояний X объекта, характеризуемое в каждый момент времени $t \in T$ набором переменных x_k , $k = 1, \dots, s$; g – оператор выходов, описывающий механизм формирования выходного сигнала как реакции объекта на тестовые и рабочие воздействия или внутренние возмущения, например отказы отдельных элементов.

Топологический вид коммутативной диаграммы, кроме описанной авторами [12] реализации процесса выработки и принятия решения о ТС БС РКН, позволяет рассматривать ее и в иных аспектах применительно к решению диссертационной проблемы.

Во-первых, её можно считать описательной диаграммой процесса накопления знаний и опыта экспертом, поскольку полностью раскрываются задачи и наблюдения в выбранном ФП и принятие решений, как показано на рисунке 1, что, собственно, и составляет предмет ЭЗ, формируя опыт эксперта в процессе его профессиональной деятельности.

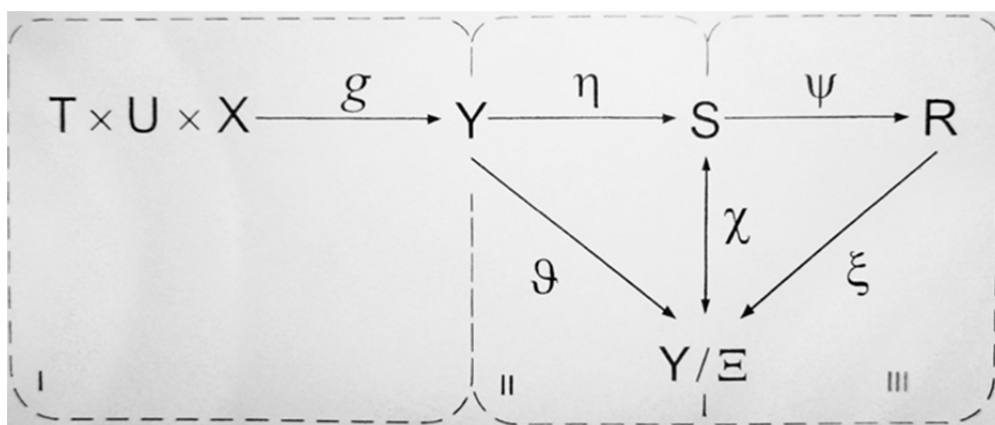


Рис. 1. Коммутативная диаграмма реализации процесса выработки и принятия решения о состоянии СЛО

Во-вторых, эту же диаграмму можно интерпретировать и как комплекс необходимых этапов при построении логико-лингвистической модели (ЛЛМ) на основе ЭЗ. В таком аспекте отображение:

$$g: T \times U \times X \rightarrow Y \quad (2)$$

задает ФП вместе с представлением эксперта о множестве независимых переменных, определяющих состояние зависимой переменной Y в решении конкретной задачи.

Задача классификации состояния СЛО определяется отображением:

$$\eta: Y \rightarrow S \quad (3)$$

на множестве его видов путем разработки экспертом для всего ФП шкал S , существующих в его сознании. Затем, путем разбиения (факторизации) множества Y состояний СЛО на частично пересекающиеся классы состояний эксперт определяет фактор-множество Y/Ξ через отображение:

$$\vartheta: Y \rightarrow Y/\Xi. \quad (4)$$

Таким образом, отображение (4) в общем виде обуславливает в продукционных правилах (ПП) антецедент «Если...» на множестве выбранных входных переменных $U \times X$ и консеквент «То ...» на фактор-множестве Y/Ξ в виде оценки эксперта. При этом реализация композиции отношений:

$$\vartheta = \eta \circ \chi: Y \rightarrow Y/\Xi \quad (5)$$

дает полное представление множества ПП в лингвистическом виде по каждой строке опросной матрицы (ОМ), обуславливая окончательную оценку состояний СлО на шкале множества Y/Ξ . При этом множество строк опросной матрицы дает множество оценок эксперта по каждой строке, определяющих состояние СлО на множестве выбранного ФП для последующей формализации полученных оценок ЭЗ в виде ЛЛМ.

В случае, когда в строке опросной матрицы экспертное значение не полностью совпадает с решением по ЛЛМ, то реализуется отношение:

$$\psi: S \rightarrow R, \quad (6)$$

которое предусматривает корректировку принятого решения по данной строке с учетом выбранного шкалирования S и дальнейшего перехода по отношению ξ к принятию исправленного решения.

Отметим, что задачи контроля этапа I и диагностирования этапа II (рисунок 1) экспертом решаются практически мгновенно, поскольку шкалы S существуют в его сознании, а композиция отношений:

$$g \circ \eta \circ \psi \circ \xi: Y \rightarrow Y/\Xi \quad (7)$$

является только иллюстрацией нашего понимания процесса выработки осознанных действий в сознании эксперта. В этом *существенное отличие предлагаемого метода* использования ЭЗ от традиционного подхода с накоплением большого количества измеряемой численной информации о состоянии СлО – знания эксперта уже сформировались в процессе его деятельности в виде опыта по данному конкретному вопросу.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что топологическое описание процесса выработки принятия решения экспертом как эффективное средство преодоления сложности описывается той же самой диаграммой, приведенной на рисунке 1.

При этом такая трактовка коммутативной диаграммы реализации процесса выработки и принятия решения о состоянии СлО (рисунок 1) указывает на необходимость последовательного решения двух основных задач на основе ЭЗ:

- создания методики оценивания состояния СлО реализацией композиции отношений (5) с разбиением (факторизацией) множества

У состояний на частично пересекающиеся классы состояний, задающее фактор-множество Y/Ξ ;

- разработки методики синтеза расчетных моделей конкретного состояния СлО комбинацией методов ТНМ и ТПЭ.

Такая общая постановка проблемы управления сложностью путем свертывания исходной информации применительно к оцениванию состояния СлО справедлива для любого вида представления информации как в метрических пространствах, так и в виде ЭЗ. В связи с этим формализация ЭЗ в аналитическом виде для последующей компьютерной обработки представляется актуальной в смысле приведенного выше закона Эшби как методологический прием борьбы со сложностью.

7.1.4. Что мы знаем о знаниях

Прежде чем говорить об эффективности извлечения и представления явных и неявных ЭЗ, определимся с существующими на данный момент компетентными мнениями о своеобразии и сущности механизма накопления знаний и мышления человека применительно к проблемам принятия решений в условиях неопределенности.

Вопреки бытующим представлениям, наше сознание *не сортирует* поступающую информацию и не раскладывает «по полочкам» на «складе памяти», так как его не существует. Человеческая память, в отличие от памяти компьютерной, не хранит отдельно информацию и инструкцию по ее обработке. Она устроена намного более эффективно: сама информация и является для себя инструкцией к обработке [13].

Философы и психологи разделяют знания на явные и неявные [14]. Явные знания – это тот вид знаний, которые человек может сознательно вспомнить и передать другим. Напомним, что неявные знания (tacit knowledge) – вид знания, которое не может быть легко формализовано в виде слов или алгоритмов и передано другим. Неявные знания включают навыки и умения, техническую культуру и опыт, присущие индивидууму, но не осознаваемые им. В состав неявных знаний входят также различные ноу-хау, секреты мастерства, опыт, озарение и интуиция.

Проявление неявных ЭЗ наиболее выражено в грамотном и своевременном принятии решений при недостаточности информации, особенно в экстремальных ситуациях, когда нечеткость условий изменяется на коротких интервалах в режиме реального времени.

Представляется уместным здесь более подробно остановиться на некоторых особенностях понятия «знания».

Наиболее приемлемой точкой зрения на накопление и хранение знаний в мозгу человека, на наш взгляд, является паттернальный подход в смысле Эдварда де Боно [15].

Паттерном называют устойчивую группу связей, существующую в памяти – индивидуальной или коллективной. Так, например, паттерн под названием «Автомобиль» представляет собой целую гамму различных по своим назначениям слов: марка, цвет, комфорт, поездки, впечатления от увиденного и т.д. Вся эта группа слов и будет паттерном «Автомобиль». Отметим здесь же, что *у каждого человека паттерн сугубо индивидуален и, как правило, не совпадает с восприятиями другого человека.*

Концепция паттерна у де Боно вообще напрямую связана с тем, как устроена память. Любое изменение оставляет след, являющийся памятью о нем. Так, например, деталь из нитинола является памятью не только о мастерах, сделавших ее, но и сама обладает памятью формы при изменениях внешних условиях. Память человека-эксперта по де Боно устроена таким же образом. Она запечатлевает и накапливает следы поступающей в восприятие информации, позволяя им *самоорганизовываться* в виде паттернов. При этом, в отличие от компьютерной, память человека устроена намного более эффективно: *сама информация и является для себя инструкцией к обработке.* Иными словами, *в человеческом сознании не существует разделения на БЗ и аппарат вывода решения.*

Следует отметить удивительное свойство паттернальной памяти, подобное голографическому эффекту: любая часть паттерна является кодом, немедленно запускающим весь паттерн. Система кодов эволюционирует в знак, язык и письменность, что делает ее еще эффективнее. Благодаря этому же свойству паттерны становятся для людей средством коммуникации, обеспечивая передачу огромных массивов информации от человека к человеку практически мгновенно [13].

В психологической литературе указывается, что квалифицированный специалист-эксперт сохраняет в своем сознании 30-50 тысяч паттернов. Поэтому эксперты переходят от описания задачи к ее решению без каких-либо промежуточных рассуждений. В большинстве случаев это решение не только правильное, но и быстрое.

Следует отметить также негативные стороны паттернального механизма мышления для творческой личности [13]:

- *контроль над вниманием* – если вниманием завладел сильный паттерн, вся ситуация будет рассматриваться в его контексте. Поэтому, в русле рассматриваемой в диссертации проблемы, человек всегда отстаивает именно свою точку зрения согласно созданному в его сознании паттерну;

- *способность к росту* – паттерны растут, объединяются с другими паттернами или поглощают их. При этом естественного механизма для прекращения роста паттерна не существует. Паттерн может стать неподходящим для актуальной информации, но будет продолжать расти. Это хорошо коррелирует с накоплением индивидуальных ЭЗ;

- *устойчивость* – благодаря этому свойству паттерн может использоваться для коммуникаций, однако поэтому же изменить устаревший паттерн очень непросто. Здесь действенными оказываются *различного уровня совещания*, целью которых является выработка приемлемого коллективного решения. Только осознанное принятие выработанного на совещании общего решения способствует изменению соответствующих паттернов у совещающихся;

- *инкапсуляция* – паттерн стремится целиком завладеть содержащейся в нем информацией, которая таким образом становится доступной исключительно в рамках этого паттерна, даже если при этом она имеет отношение и к другим паттернам. Подобное свойство индивидуального знания преодолевается только *конкретикой задаваемых вопросов, на которые эксперт должен дать конкретный ответ*;

- *хронологичность* – паттерны строятся по мере поступления информации, поэтому зависят от порядка ее поступления. Это означает, что расположение информации в паттерне всегда хуже возможного. Здесь характеризуется относительная инерционность мышления эксперта, и только новая информация может дать ему возможность построить гораздо более совершенную модель.

Исходя из таких свойств паттерна следует, что для извлечения ЭЗ *в методиках опроса инженеру по знаниям важно сознательно стремиться компенсировать недостатки такого механизма мышления, которое де Боно назвал «латеральное мышление» [15].*

Благодаря механизму латерального мышления можно понять, во-первых, почему каждый человек-эксперт одну и ту же информацию воспринимает совершенно индивидуально, а во-вторых, осознать *необходимость и важность совещаний различных рангов в преодолении негативные стороны паттернального механизма мышления*

творческой личности и выработке коллективной «взвешенной информации» по конкретному вопросу.

Применительно к извлечению ЭЗ все вышесказанное делает очевидным и необходимым *разработку новой системы опроса эксперта*, которая позволяла бы четко и однозначно отвечать на вопросы: «что» необходимо получить и «как» структурировать полученную информацию для решения данной задачи. При этом для проверки правильности суждений эксперта обязательно применять соответствующие критерии непротиворечивости их методологии своей отрасли знаний.

7.2. Эксперт как «интеллектуальная информационно-диагностическая система»

При детерминированном подходе между объектом и управляющей моделью всегда располагается математический аппарат формализации данных со свойственными ему спецификой, ограничениями и условиями применения.

Модели, представляющие ЭЗ по конкретному вопросу, являются интеллектуальными по своей сути, поскольку напрямую отражают опыт и интуицию эксперта. Эксперт способен измерять и «неизмеряемое» [3, 5, 6], то есть работать в «виртуальном пространстве». Примером могут служить учитываемые экспертом качественные (неколичественные) переменные, определяемые органолептически [16], типа «характерное изменение звука», при выработке управляющего воздействия, или построение моделей прогнозирования состояния объекта на его предпроектной стадии, когда самого объекта еще не существует. В таких ситуациях эксперт выступает в роли «интеллектуальной измерительно-диагностической системы» (ИИДС) по оцениванию ТС исследуемых объектов, процессов и явлений в многомерных пространствах нечетких переменных [5]. С другой стороны, в случае, например, управления технологическим процессом оператор-технолог выступает как в качестве «измерительной системы» при оценке сложившейся на данный момент времени ситуации, так и в качестве ЛПР при необходимости реализации выработанного его опытом управляющего воздействия.

Таким образом, анализ многочисленных исследований, описанных в технической литературе, показал, что существует острая про-

блема: с одной стороны, есть эксперты как носители огромного количества уникальных знаний, которые, к сожалению, уходят вместе с экспертами, а с другой – слабо разработанный научно-методический аппарат и соответствующие технологии извлечения знаний о ТС СЛО в условиях неопределенности, нехватка действенных методов и методик, позволяющих *извлекать, представлять, сохранять и тиражировать* эти знания для повышения эффективности управления и принятия решений о состоянии СЛО.

Принципиальной особенностью процесса извлечения и формирования новых знаний о состоянии СЛО является *замещение ЭЗ соответствующей моделью* с последующим ее использованием для решения широкого спектра практических задач [2]. Применительно к модели, построенной на ЭЗ, правомерно утверждать, что такая модель является отражением явных и неявных знаний данного эксперта (группы экспертов). Поскольку знания в мозгу человека хранятся, согласно последним гипотезам психологов, в вербальном, а не в количественном виде, то они – структурированы. Степень же и форма структурированности их зависит, на наш взгляд, от интеллектуальных способностей индивидуума.

Попутно отметим:

- структуризация знаний невозможна без некоторых порядковых шкал, и именно поэтому для специалистов в различных областях науки и техники необходима разработка специальных шкал по различным конкретным вопросам, которые позволят получать сравнимые оценки, а каждый результат исследования по конкретному вопросу рассматривать как частный случай единого эксперимента с возможностью его широкого обобщения;

- пространства переменных функционирования СЛО или работы оператора-технолога при управлении технологическими процессами (ТП) в подавляющем большинстве существенно отличаются от тех, для описания которых возможно использование традиционных математических методов [3, 16]. Так, если взять, к примеру, металлургическую промышленность, то практически все технологические процессы ведутся операторами-технологами исключительно на основе своего интуитивного опыта и знаний в очень ограниченном ФП, тогда как характеристики ТП насчитывают сотни, а то и тысячи, измеряемых параметров. Иными словами, оператор вырабатывает управляющее воздействие на основе модели оценивания состояния СЛО, сложив-

шейся в его сознании (подсознании) на основе опыта и интуиции, а также наработанных альтернативных вариантов ТС СЛО.

Рассмотрим теоретические аспекты деятельности эксперта как ИИДС при выработке вариантов решения о ТС СЛО с нескольких точек зрения.

Во-первых, в [17] доказана теорема об универсальном представлении структур в виде упорядоченного мажорированного множества:

- для любой реляционной системы:

$$S = (X; R), X = \{x, t, t \in T\}, R = \{Rr(i) \subseteq Xr(i), i \in I\},$$

- существует упорядоченное множество:

$$S_{\varepsilon} = (\Omega, R_{\varepsilon}), R_{\varepsilon} = \{R_{\varepsilon}^{(i)} \subseteq \Omega^2, i \in I\},$$

- такое, что система S изоморфна некоторой подсистеме:

$$S' = (X', R_{\rightarrow}), X' = \{x_i, t \in T\} \subseteq B(\Omega)$$

- системы цепного мажорирования: $S \mapsto (S_{\varepsilon})$ над S_{ε} .

Здесь $S(X; R)$ – обобщенная измерительная шкала со структурой R для числового измерения любого признака x на множестве X , обладающего мощностью континуума, то есть действительная прямая. Тогда, если рассматривать ЭЗ, явные и неявные, как реляционные структуры (здесь реляции – высказывания), то их можно выражать в конечных линейных ординальных шкалах. Этот фундаментальный вывод дополняется экспериментально установленным фактом ориентации исследователей и экспертов именно на такой тип шкал [18].

Во-вторых, реализация процедуры перехода от линейной ординальной шкалы к числовой, называемая «арифметизацией», осуществляет превращение нечисловых ЭЗ в обыкновенные числовые исходные данные. Такой прием используется, например, при представлении высказываний эксперта в виде ПП [3, 16]. Далее эту числовую информацию уже возможно подвергать обработке статистическими методами с получением средних, дисперсий, регрессионных коэффициентов и т.д. Иными словами, теоретически показана возможность формализации ЭЗ некоторыми аналитическими выражениями.

Таким образом, в условиях существенной неопределенности решение проблемы формализации ЭЗ видится в вооружении эксперта специально разработанными методиками, позволяющими свести процесс оценивания состояния СЛО или исследования изучаемых явлений к формальным процедурам, оставляя эксперту проведение профессиональной интерпретации результатов математического моделирования.

Исследуя теоретическую возможность интерпретации ЭЗ как интеллектуальных измерений (ИИ), вопрос об их «интеллектуальности» отпадает по самой природе получения «одушевленной» информации непосредственно от самого эксперта, вернее его интеллекта. Касательно же определения «измерительно-диагностическая система» применительно к эксперту-человеку в неявном виде витала уже давно, например в научных трудах [2, 19].

ИИ в информационных технологиях (ИТ) в преломлении к экспертным оценкам с лингвистической интерпретацией выводов или рекомендаций по состоянию СЛО, в принципе, можно представить некоторым обобщенным уравнением. Так, например, лингвистический вывод эксперта о текущем значении $h_i^{d_f}$ измеренного свойства x_i в области знаний f_i записывается в виде [20]:

$$\begin{aligned} h_i^{d_{f_i}} \mid \{M X_{d_{f_i}}\} = \\ = \arg \min_{d_{f_i} : \phi_{j d_{f_i}} \in \hat{O}_j} C_{d_{f_i}} \left[\phi_{j d_{f_i}} \left(\{h_i^{f_i} \mid \{M X_{x_i}\}\} \mid Y_{d_{f_i}} \right) \right] \end{aligned} \quad (8)$$

где d_{f_i} – текущее лингвистическое решение относительно получаемых знаний f_i по измеряемому свойству x_i ;

$\phi_{j d_{x_i}}$ – алгоритм принятия лингвистического решения по экспериментально измеряемому свойству x_i ;

$\mid$ – при условии;

$Y_{d_{f_i}}$ – условия реализации текущего измерения относительно получаемых знаний f_i по свойству x_i , представленных в лингвистическом виде;

C_{f_i} – оптимизирующее решающее правило, представленное в лингвистическом виде, для выбора решения об измерении $h_i^{d_{f_i}}$ по алгоритму $\phi_{j d_{f_i}}$ из множества алгоритмов Φ_J (J – количество алгоритмов) при наборе данных x_i из множества X_I ;

argmin – функция поиска минимума риска принятия решения по правилам C в лингвистической форме (оптимизация) на множестве текущих значений экспериментально измеряемого свойства x_i по алгоритмам принятия лингвистического решения $\varphi_{jd_{x_i}}$ в данной области знаний f_i ;

$\{MX_{x_i}\}$ – множество необходимых метрологических характеристик, определяющих точность, надежность и достоверность результатов интеллектуальных измерений на этапах получения экспериментальных данных x_i в области знаний f_i .

В данном уравнении понятие «знания» подразумевает не только сами экспертные оценки, а включает в себя, как минимум:

- системные знания предметной области СлО;
- метрологические знания о качестве информации, характеризующей объект измерения (ОИ);
- знания о свойствах средств измерений, применяемых в данной предметной области;
- алгоритмические знания и метазнания по вопросам моделирования как самих ОИ, так и организации систем ИИ.

При извлечении знаний эксперта по какому-либо конкретному вопросу в числе многих обязательно участвуют и приведенные составляющие обобщенного уравнения (8), находятся в его сознании, вступают в какие-то взаимодействия и приводят к выработке решения в его мозгу. Накопленные же понятийные знания из других областей расширяют не только его «базу данных», но и «базу знаний».

Естественно полагать, что ЭЗ, представленные в его мозгу в виде некоторых образов, безусловно обладают принципом системности. В пользу последнего тезиса приведем определение академика Н.Н. Моисеева: «Системный анализ – это дисциплина, занимающаяся проблемами принятия решений в условиях, когда выбор альтернативы требует анализа сложной информации различной физической природы» [8]. Это – как раз та ситуация, в которой находится эксперт в своей повседневной практике при принятии решений в любых ситуациях.

Познания эксперта, как следует из анализа уравнения (8), должны быть всеобъемлющими, разносторонними и глубокими. Очевидно, однако, и другое – в реальности эксперт обладает глубокими знаниями только в профессиональной области, а по специфичным вопросам он владеет только понятиями и вынужден обращаться к специалистам

соответствующих областей. Так, например, для создания аналитического выражения, описывающее состояние СЛО с использованием экспертной информации, эксперт может обратиться к *инженеру по знаниям* [21], который обязан ознакомить эксперта с концепцией и методикой построения модели, а также помочь в реализации методики применительно к конкретной задаче. При этом здесь неявно подразумевается, что такая методика уже существует и инженер по знаниям имеет опыт ее использования.

Вместе с тем, существующая практика и специфика применения системного анализа предусматривает применение таких математических методов, которые эксперту даже в технических областях не всегда под силу [3]. Поэтому актуальной для извлечения ЭЗ о состоянии СЛО является разработка технологий, удовлетворяющих следующим требованиям:

- позволяют общаться с экспертом на привычном для него профессиональном языке,
- побуждают его мыслить системно,
- обладают возможностью формализовать полученную информацию, предпочтительно в виде аналитического выражения.

Наличие *теоретической возможности* получения аналитического выражения для описания ТС СЛО выступает, таким образом, доказательством возможности использования эксперта как ИИДС.

7.3. Теоретические исследования для построения логико-лингвистических моделей

7.3.1. Направления исследований

Очень практичная мысль о том, что *если человек принимает решение, то модель принятия решения уже есть в его сознании* и нужно только оттуда ее извлечь, пришла в процессе дискуссии о теории нечетких множеств и возможности ее применения для производственных нужд Норильского горно-металлургического комбината. Применение регрессионного анализа к обработке производственных данных оперативного контроля, как показали мои исследования [22], не позволяют получать адекватные модели для управления металлургическими процессами. Поэтому работа со знаниями высококвалифицированных специалистов показалась очень перспективной настоль-

ко, что были предприняты теоретические исследования для решения проблемы формализации ЭЗ в виде аналитического выражения.

В математическом плане задача извлечения, представления и формализации сводится к следующему [6].

Дано: множество высказываний эксперта в виде ЛП:

$$A_{ji} = \langle \tilde{O}_1 = \tilde{U}_{j1} \wedge X_2 = \tilde{U}_{j2} \wedge \dots \wedge \tilde{O}_n = \tilde{U}_{jn}, \text{ где } Y = \tilde{V}_j \rangle, j = 1, \dots, 2^n \quad (9)$$

в n -мерном пространстве нечетких переменных и значения факторов принадлежат терм-множествам в нечетких лингвистических шкалах:

$$\begin{aligned} \tilde{U}_{jl} &\in T(X_l), M_l : T(X_l) \rightarrow F(R^1), l = 1, \dots, n \\ \tilde{V}_j &\in T(Y), M_Y : T(Y) \rightarrow F(R^1) \end{aligned} \quad (10)$$

в виде нечетких чисел (LR) – типа:

$$\begin{aligned} M_l(\tilde{U}_{jl}) &= \hat{U}_{jl} = (\underline{U}_{jl}, \bar{U}_{jl}, \alpha_{jl}, \beta_{jl}, h_{jl})_{LR}, \\ M_Y(\tilde{V}_j) &= \hat{V}_j = (\underline{V}_{jk}, \bar{V}_{jk}, \alpha_{jk}, \beta_{jk}, h_{jk})_{LR}. \end{aligned} \quad (11)$$

Требуется найти: аппроксимирующую функцию:

$$\tilde{V} = f(\vec{U}, \vec{B}), \quad (12)$$

минимизирующую нечеткие расстояния:

$$\sum_{j=1}^{2^n} (V_j - f(U_{j1}, \dots, U_{jn}, \vec{B}))^2 \rightarrow \min_{\vec{B} \in F(R^k)}, \quad (13)$$

где U_{jl} – НЧ;

$\hat{U}_{jl}$ – значение НЧ;

U_{jl} – терм-множество НЧ;

$\tilde{V}_j$ – терм-множество переменной Y ;

$\vec{B}$ – вектор коэффициентов полинома;

$F(R^k)$ – нечеткое k – мерное пространство.

Как видно из математической формулировки (9) – (13), оценивание состояния СЛО на основе моделей, созданных формализацией ЭЗ,

сопряжено с решением в рамках общей проблемы целого ряда сложных взаимосвязанных и дополняющих друг друга научных задач, общие методы решения которых в настоящее время находятся на стадии становления.

Поэтому в рамках работы научной школы (хотя такой мысли тогда даже не возникало!) были сформулированы основные направления исследований, задачи и пути их решения.

Направление I. Формирование лингвистических переменных (ЛП).

Проведенный анализ процессов формализации ЭЗ показал, прежде всего, недостаточность форм, которыми эксперт может выразить свои знания. Одной из общепризнанных форм является нечеткость информации, которую эксперт способен выразить в виде некоторого интервала своих суждений. Обычно интервалы задаются на некоторой произвольной шкале в виде НЧ, но существующие формы представления НЧ не всегда способны передать полноту знаний эксперта даже в таком виде. Суть в том, что НЧ являются только формальной частью отражения ЭЗ, но арифметика работы с НЧ вступает в противоречия с практикой работы самих экспертов. Так, существующие формы представления НЧ сильно зависят от формы представления самого числа и от его знака.

Поэтому введено представление расширенных арифметических операций в симметризованной параметрической форме [23], нечувствительной к знаку НЧ.

Для НЧ $A = (a, \alpha, \beta)$ показателем нечеткости числа и коэффициентом асимметрии:

$$d(A) = \frac{\alpha + \beta}{2} \geq 0 \quad \Delta(A) = \frac{\beta - \alpha}{2} \quad (14)$$

Тогда симметризованным параметрическим НЧ A (LR)-типа назовем кортеж:

$$A = (a, d(A), \Delta(A)), \quad (15)$$

для которого справедливо следующее:

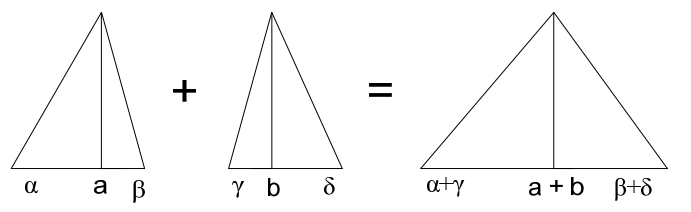
$$\forall A : \mu_A \in F(R) \quad A = (a, \alpha, \beta) \Leftrightarrow A = (a, d(A), \Delta(A)) \quad (15)$$

К недостаткам НЧ как фундаментального выражения их сути, следует отнести главное – общепринятые в настоящее время арифметические операции над НЧ *недоопределены*. Так, многократное сложение и вычитание двух НЧ $(A(a, \alpha, \beta))$ и $(B(b, \gamma, \delta))$ приводит к абсурдному результату в виде катастрофического возрастания нечеткости до такой величины, при которой теряется смысл всего арифметического действия.

Продemonстрируем примером:
сложим два НЧ по общепринятым правилам:

$$A + B = (a + b, \alpha + \gamma, \beta + \delta)$$

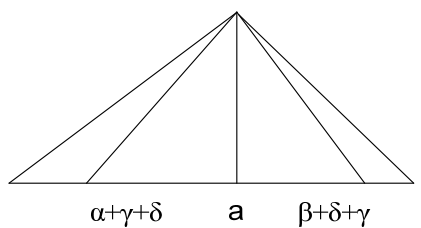
и, выполнив эти действия, получим их сумму в геометрическом виде:



затем вычтем из этой суммы добавляемое:

$$(A + B) - B = (a + b - b, \alpha + \gamma + \delta, \beta + \delta + \gamma) = \\ = (a, \alpha + \gamma + \delta, \beta + \delta + \gamma)$$

и получим результат:



Как видно из приведенного примера, нечеткость «расползается» независимо от вида операции, а при десятках слагаемых нечеткость достигнет катастрофических значений, когда значение моды теряет смысл на фоне недопустимо высокой нечеткости.

НЧ как отражение нечеткости самого понятия «численное значение» в детерминированном математическом представлении выражает отношение эксперта-человека к «жизненному восприятию» оценива-

емого им признака. Для правильного восприятия арифметические действия над НЧ не должны противоречить здравому смыслу, поэтому исследования были направлены на введение дополнительных арифметических операций, способных компенсировать возрастание нечеткости.

Дополнительные арифметические операции над НЧ

В [24] была высказана идея о возможности дополнительных операций вычитания, деления и высказана гипотеза, что с их помощью становится возможным точное решение нечетких уравнений.

Нами [23] дано такое определение дополнительной арифметической операции, которое соответствует цели – решению нечетких уравнений. Оно обобщает определения, данные предыдущими исследователями, и дает возможность выразить все необходимые дополнительные арифметические операции над НЧ с сохранением первоначальной нечеткости.

Дополнительной арифметической операцией, обозначаемой $\overset{*}{\underset{\text{äit}}{\circ}}$, называется такая, что:

$$C = A \underset{\text{äit}}{\circ} B \rightarrow C \overset{*}{\underset{\text{äit}}{\circ}} B = A \tag{16}$$

где A, B, C – нечеткие числа;

$\overset{*}{\underset{\text{äit}}{\circ}}$ – расширенная арифметическая операция, противоположная $\overset{*}{\underset{\text{äit}}{\circ}}$.

Для примера покажем некоторые важные для практической обработки массивов НЧ свойства дополнительных арифметических операций, которыми не обладают общепринятые:

$$\begin{aligned} (A \otimes B) \underset{\text{don}}{\ominus} A &= B; A \underset{\text{don}}{\ominus} A = I; \\ (A \oplus B) \underset{\text{don}}{\ominus} A &= B; (A \otimes B) \underset{\text{don}}{\ominus} A = B. \end{aligned} \tag{17}$$

Полученные свойства дополнительных арифметических операций, часть которых показана выше, позволяют решать нечеткие уравнения.

Одной из особенностей решения нечетких уравнений является неукоснительное обеспечение одинаковости нечеткости их обеих частей. Поэтому пришлось более детально рассмотреть вопросы равно-

сильных уравнений и равносильных переходов [16, 25] с использованием дополнительных арифметических операций. Так, уравнение вида:

$$A \otimes X \oplus B = C, (A \neq 0). \quad (18)$$

может быть равносильно нечеткому уравнению:

$$A \otimes X \oplus B \Theta_{\text{дон}} B = C \Theta_{\text{дон}} B \Leftrightarrow A \otimes X = C \Theta_{\text{дон}} B. \quad (19)$$

Так как НЧ A не равно четкому нулю, то нечеткое уравнение (16) равносильно уравнению:

$$X = (C \Theta_{\text{дон}} B) \emptyset_{\text{дон}} A, \quad (20)$$

а поскольку в результате действий дополнительных арифметических операций получаем четкое число, то (18) и является корнем исходного уравнения [25].

Следует отметить, что введение симметризованной параметрической формы представления НЧ и дополнительных арифметических операций дает возможность применения МНК для обработки массивов нечетких чисел (LR)-типа с сохранением исходной нечеткости зависимой переменной. Единственное ограничение, чтобы количество положительных и отрицательных НЧ было одинаковым, как это имеет место в матрицах теории планирования экспериментов (ТПЭ).

Направление II. Логический вывод в нечетких пространствах предусматривал применение (LR)-аппроксимации для построения алгоритмов нечеткого вывода путем перехода от выражений в терминах функций принадлежности к выражениям с аргументами (LR)-функций [3, 26].

Проблема состояла в том, что процедуры извлечения и формализации экспертной информации требуют наличия соответствующих методов и методик «упаковки» определенного объема знаний в виде некоторых моделей. Поскольку Сло функционируют в многомерных пространствах нечетких переменных различной физической природы, то процедура оценивания их состояния должна, с одной стороны, отражать их особенность, а с другой – давать возможность обобщения разнородностей (свернуть, упаковать) в виде *дополнительной зависимой переменной* как показателя состояния Сло.

Дело в том, что в пространстве имеющихся альтернатив X при заданных нечетких целях G и нечетких ограничениях C теоретически решение D образуется пересечением всех заданных целей и ограничений [27]:

$$D = G_1 \cap G_2 \cap \dots \cap G_n \cap C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_m$$

и соответственно:

$$\mu_D = \mu_{G_1} \wedge \mu_{G_2} \wedge \dots \wedge \mu_{G_n} \wedge \mu_{C_1} \wedge \mu_{C_2} \wedge \dots \wedge \mu_{C_m}.$$

Однако на практике чрезвычайно редки случаи, чтобы для всех целей G_n и всех ограничений C_m была возможность построить или хотя бы иметь представление о всех функциях принадлежности μ_{G_n} и μ_{C_m} . При всей правильности такого теоретического подхода вероятность его практического воплощения исчезающе мала, особенно при принятии решений высокого уровня или перспективного планирования на длительный срок. При этом сами же авторы указывают, что задача построения функций принадлежности – центральная в распознавании альтернатив.

Поэтому существующее научно-методическое обеспечение извлечения, представления и формализации знаний и опыта эксперта для выработки решения о состоянии СлО в условиях существенной неопределенности нуждалось в принципиально новой *концепции обобщенного показателя состояния СлО (ОПССлО) в многомерном пространстве нечетких переменных в виде аналитического выражения.*

Введение концепции реализуется далее на основе формализации неявных экспертных знаний, где сам эксперт выступает как «интеллектуальная информационно-диагностическая система» [5].

Однако, поскольку речь идет о многомерных пространствах нечетких переменных, то актуальными становятся задачи формирования нечетких топологических пространств параметров состояния СлО [4], а для измерений ОПССлО – введение *нечеткой метрики* в этих многомерных пространствах. Такие процедуры переводят исследования состояния СлО в область *метрических нечетких многомерных пространств*, что полностью соответствует проблеме получения количественных характеристик состояния [28].

При построении нечетких моделей задача представления нечеткой информации решается с использованием ЛП.

Лингвистические переменные

Понятие ЛП было введено в [7].

Лингвистическая переменная характеризуется кортежем:

$$\langle S, T(S), X, M, G \rangle, \quad (21)$$

где S – название лингвистической переменной;

X – базовое множество значений переменной;

$T(S)$ – терм-множество лингвистической переменной S , представляющее собой семейство нечетких подмножеств X , таких что:

$$\bigcup_{i=1}^n pX_i = X;$$

G – синтаксическое правило (имеющее обычно форму грамматики), порождающее совокупность всех значений S на $T(S)$;

M – правила вычисления функции принадлежности составного значения s по значениям $T(S)$.

Конкретное название X , порожденное синтаксическим правилом G , называется термом.

В рассматриваемом нами случае термами (терм-множествами) являются НЧ как отражение мнения эксперта на заданной оси признака.

Процедура определения параметров модели в нечеткой среде начинается с построения ЛП и их значений для качественного (словесного) описания некоторой количественной величины. Поэтому принципиально важным является то, чтобы любая ЛП, как и все ее значения, была связана с конкретной количественной шкалой. В такой нечеткой оппозиционной шкале, как правило, маркированы антонимами концы нечеткой лингвистической шкалы.

Поясним рисунок 2 с точки зрения интерпретации нечетких шкал. Рисунок предназначен для перевода лингвистических значений переменной X_l (верхняя шкала: «Небольшое – Большое») в количественные (шкала простоев от 0 до 50 мин), а затем и в кодированные на интервале $[-1, +1]$ по требованиям методов ТПЭ. По оси ординат расположена функция принадлежности $\mu_A(x_1)$ $[0, 1]$ как мера степени уверенности («правильности») перевода из одной шкалы в другую. Так, например, значению X_{li} на оси ординат соответствуют два значения функции принадлежности $\mu_A(x_1)$: a и b . Поскольку $b > a$, то явно предпочтитель-

нее отнести значение X_{li} к моде «Ниже расчётного». В случае же попадания X_{li} в заштрихованную зону, где значения $\mu_A(x_i) \approx 0,5$ и нельзя отдать предпочтение какой-либо из мод данного интервала, значение ЛП примет вид: между «Ниже среднего» – «Среднее».

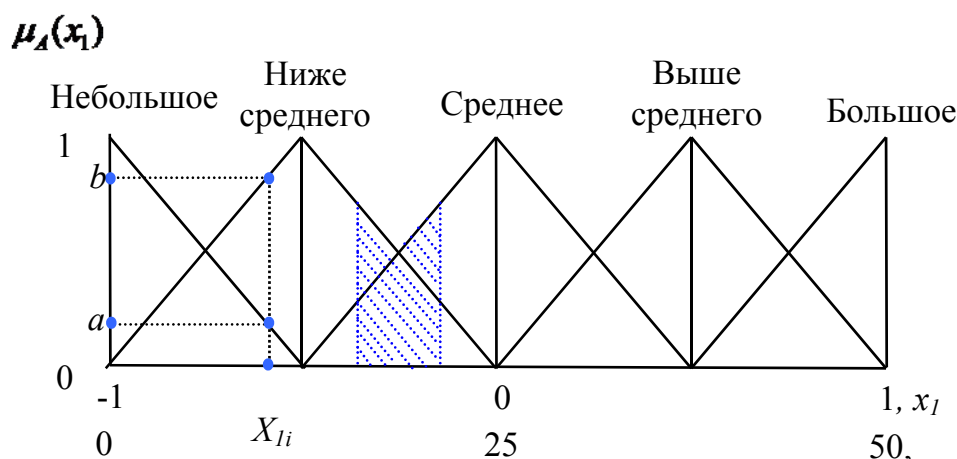


Рис. 2. Определение значений на шкале ЛП

Таким образом, ЛП является образом выражения ЭЗ о данном факторе воздействия на состояние СЛО в качестве независимой переменной, но имеет ту же форму и для зависимой переменной, но уже в виде ОПССЛО.

Переменные, отобранные экспертом для решения конкретной задачи, составляет факторное пространство (ФП). Количество переменных, включаемых в ФП, не должно превышать «магического числа 7» по Миллеру [29]. Это обусловлено психофизическими возможностями человеческого мозга.

(LR)-аппроксимации

Решение задач математического моделирования состояния СЛО связано с созданием эффективных вычислительных процедур. Аппроксимация предполагает необходимость оперирования большим количеством ЛП, что, в свою очередь, значительно усложняет реализацию алгоритмов нечеткого вывода на ЭВМ [16,26]. В связи с этим проблему аппроксимации можно сформулировать следующим образом.

Пусть даны: терм-множество L , логический оператор τ и $l = \tau(L)$ множество, полученное применением τ к L . Допустим, что на L задана мера сходства между термами. Тогда в случае $l \notin L$ требуется найти такое $l' \in L$, что мера сходства между l и l' будет максимальной.

Нечеткие подмножества, которыми приходится оперировать, обычно являются унимодальными и нормальными. Одним из возможных методов аппроксимации указанных подмножеств является аппроксимация с помощью (LR) -функций.

Основная идея (LR) -аппроксимации заключается в переходе от выражений в терминах функций принадлежности к выражениям с аргументами (LR) -функций с целью получения аналитических решений различных задач.

Как указано в [1], для осуществления (LR) -аппроксимации необходимо сделать переход к двойственной задаче, а затем, получив решение в терминах аргументов (LR) -функций, произвести обратный переход.

Применение (LR) -аппроксимации дает возможность получения аналитического решения при нахождении возможностной меры сходства. При этом справедливо следующее утверждение.

Пусть $a, b \in U$; U – множество значений ЛП, которому соответствует множество нечетких подмножеств (LR) -типа $F(X)$. Тогда мера возможности того, что понятие « a есть b », определяется как [3, 26]:

$$Pos(a = b) = \max(0, \min(1, 1 + \frac{a-b}{\beta + \gamma}, 1 + \frac{b-a}{\alpha + \delta})). \quad (22)$$

Задача приближения функций принадлежности μ функциями (LR) -типа сводится к выбору одной из функций L^* (LR) -типа из заданного множества, для которой мера отличия $\rho(\mu, L^*)$ минимальна.

В качестве меры отличия может быть выбрана метрика Минковского [16]. При этом решается задача математического программирования:

$$w^* = \arg \min_w \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\mu(x_i) - L(\frac{a-x_i}{\alpha})]^r \right)^{\frac{1}{r}}, \quad (23)$$

где $w = (a, \alpha) \in R \times R^+$; a, α – параметры (LR) -функции; $x_i \in X \subset R$; n – количество точек.

Применение метрики Минковского позволяет в зависимости от r выбирать различные меры отличия $\mu(x_i)$ от $L(\frac{a-x_i}{\alpha})$, учитывая форму функций принадлежности (LR) -типа [3].

Развитие понятия нечеткого метрического пространства приводит к определению нечеткой метрики посредством нечеткой нормы на множестве нечетких чисел (LR)-типа в виде нечеткого модуля НЧ $\tilde{q}(A,0) \Leftrightarrow |A|$ [30]. При этом множество $F(R)$ с введенной на нем нечеткой метрикой $\tilde{q}$ называется нечетким метрическим пространством и обозначается $(F(R), \tilde{q})$.

Резюмируя полученные результаты, следует отметить достигнутую цель, а именно построение нечетких многомерных метрических пространств, в которых обычно и функционируют СЛО, при этом нормой выступает модуль НЧ. Это позволяет различать системно сформированные и структурированные ЭЗ в процессе наблюдения о принадлежности СЛО к определенному классу его состояния.

Направление III. Структуризация экспертных знаний предусматривает ортогонализацию n -мерного нечеткого метрического пространства с целью аппроксимации ЭЗ нечеткой аналитической функцией [3, 16].

Особым способом извлечения и представления знаний эксперта является создание продукционных правил (ПП) в импликативной форме типа «Если..., То...». Такой способ позволяет описывать алгоритмы поведения широкого класса объектов и процессов в режимах «ситуация – действие», «ситуация – прогноз поведения объекта», «ситуация – принятие решения» [31].

Если подойти к извлечению ЭЗ с позиций ТПЭ, то совокупность строк матрицы будет представлять собой набор ПП в многомерном пространстве ЛП [3, 16]. При этом ортогональное планирование первой степени является одновременно и ротатабельным, причем это свойство задается самой структурой матрицы планирования [32].

Оба указанных свойства матрицы особенно важны, если входные переменные представляют ФП для извлечения неявных ЭЗ. Свойство ортогональности расположения точек опроса в вершинах гиперкуба обуславливает «искусственную» независимость переменных, что соответствует логике мышления человека-эксперта с психологической точки зрения, поскольку о связях переменных между собой он может только догадываться в некотором смысле. Ротатабельность же определяет «одинаковость» ошибок по всем направлениям факторного пространства, что также вполне соответствует содержанию экспертной информации. Поэтому представляется разумным стремиться к такому планированию, при котором количество информации, содержа-

щееся в уравнении регрессии, будет одинаково для всех эквидистантных точек. Свойство ротатабельности, кроме того, сильно коррелирует с интуитивным представлением об «одинаковости» мышления эксперта во всех направлениях факторного пространства [16].

Опросная матрица обычно соответствует полному факторному эксперименту (ПФЭ) с количеством строк $N = 2^n$, где n – количество переменных в ФП, или полуреплике ПФЭ при $n = 7$, чтобы число строк матрицы не превышало 64.

В результате такого синтеза вырисовывался *качественно новый подход к системе опроса эксперта в многомерном пространстве нечетких лингвистических переменных*. Заполненная экспертом опросная матрица представляет теоретическую возможность аппроксимировать ЭЗ нелинейным полиномиальным выражением (22) с независимыми коэффициентами [3,16], что очень важно для интерпретации его с профессиональной точки зрения:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{j < u < n} b_{ju} x_j x_u + \dots + \zeta \quad (24)$$

Однако при этом возникают методологические проблемы извлечения и представления ЭЗ в виде, удовлетворяющем требованиям применения методов ТПЭ.

При обосновании применимости ТПЭ в нечеткой среде для представления экспертом решений в каждом конкретном случае необходимо принять исходные предположения [3,16]:

- знания эксперта о каждом конкретном Сло накапливаются в мозгу эксперта на естественном или близком к нему (профессиональный сленг) языке, что делает ЛП наиболее адекватным средством представления его знаний, а переход от словесных оценок к числовым не вызывает затруднений по любой из шкал;

- в основу мировосприятия человека заложена оппозиционная шкала. В оппозиционной шкале маркированы лишь концы шкалы, а середина соответствует нейтральному значению между концами шкалы. Маркировка промежуточных значений достигается дальнейшим делением шкалы, и таким образом эксперт ранжирует свои понятийные оценки;

- оппозиционная шкала из k значений ЛП является шкалой $k-1$ интервалов и ее деления отстоят друг от друга на психологическом

континууме на равных интервалах и, следовательно, ошибки классификации значений ЛП равны друг другу;

- в силу доминирования у эксперта аналитического (латерально-го) мышления, заключающегося в представлении входных переменных как квазинезависимых (эксперт знает о коррелируемости, но не всегда может определить ее степень количественно), применение методов ТПЭ наиболее естественным образом отвечает понятийной модели описываемого процесса, существующей в его сознании.

Таким образом фактически реализуется расширение применимости методов ТПЭ на область ТНМ в многомерных пространствах нечетких лингвистических переменных [16].

7.3.2. Методические и методологические основы синтеза логико-лингвистических моделей оценивания состояния СлО на основе ЭЗ

Проведенные теоретические исследования по выделенным основным направлениям позволили обобщить накопленный опыт в виде схемы методологических и методических основ синтеза логико-лингвистических моделей для оценивания и прогнозирования состояния СлО с использованием аппарата формализации ЭЗ., представленной на рисунке 3. При этом были решены задачи трех основных классов:

Задачи класса А – задачи анализа структурно-функциональных характеристик СлО.

Задачи класса Б – задачи разработки, анализа и многокритериального синтеза логико-лингвистических моделей оценивания состояния СлО на основе ЭЗ в условиях существенной неопределенности.

Задачи класса В – вспомогательные задачи.

Использование разработанных методических и методологических основ предоставляет возможность решения ряда практических задач, связанных с построением моделей состояния объектов, их многокритериальным оцениванием, анализом и извлечением принципиально новой информации о функционировании СлО.

7.4. Успехи научного направления

Следует отметить, что при решении общей проблемы оценивания состояния СлО [] основные классы задач применительно к теории управления динамическими системами (ДС) [33] **дополняются новым классом задач моделирования** (в таблице 1 выделено).

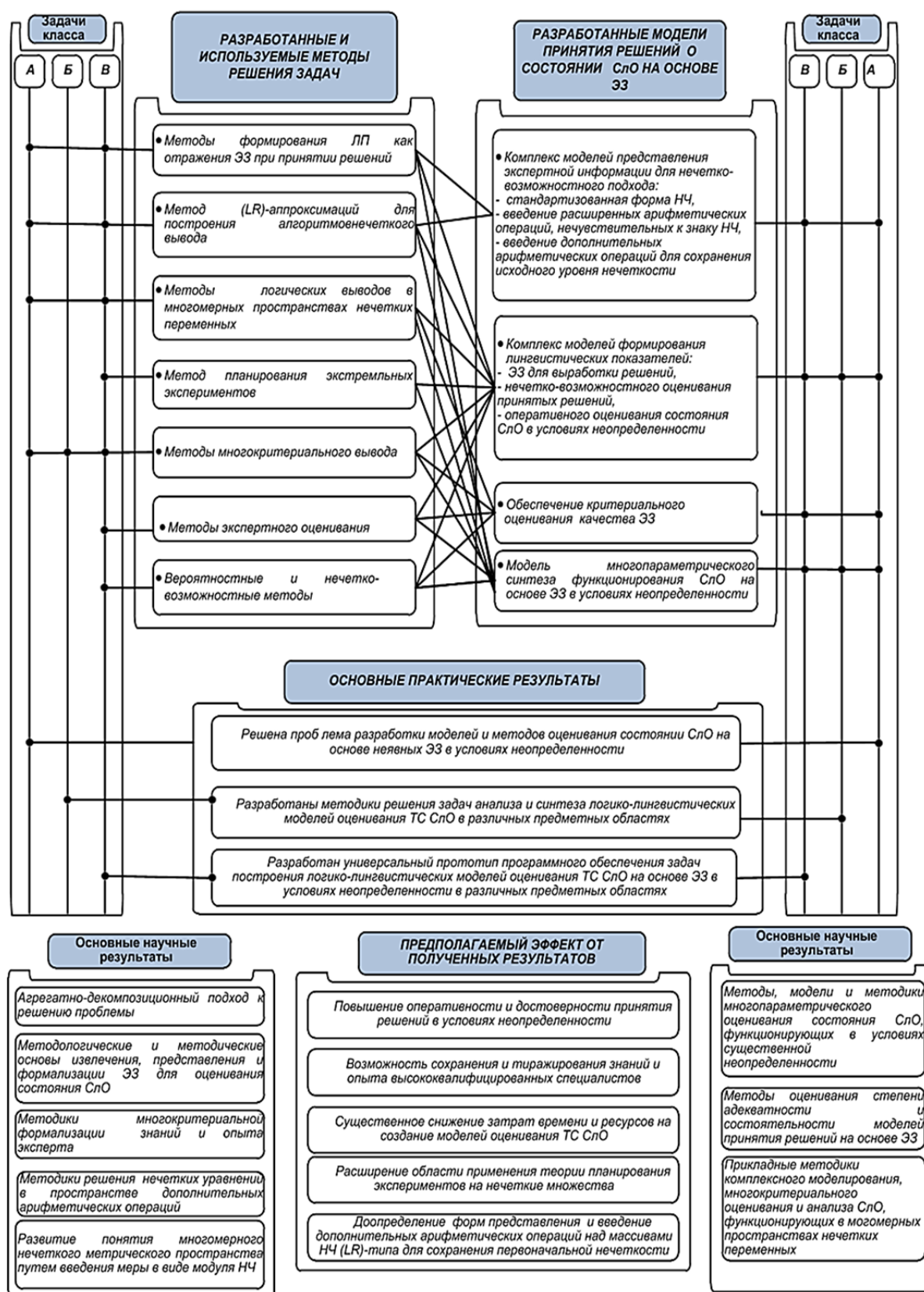


Рис. 3. Методические и методологические основы синтеза логико-лингвистических моделей оценивания состояния СЛО на основе ЭЗ

ДС в общем виде задается с использованием четырех базисных множеств и 2-х отображений:

$$ДС = \langle X, Y, U, \Xi, \varphi, \psi \rangle, \quad (25)$$

где X – множество состояний ДС;

Y – множество выходов ДС;

U – множество управляющих воздействий;

Ξ – множество возмущающих воздействий;

T – множество моментов времени;

$V = U \times \Xi$ – множество входных воздействий.

$$\varphi : X \times V \times T \rightarrow X \text{ – переходное отображение,} \quad (26)$$

$$\psi : X \times V \times T \rightarrow Y \text{ – выходное отображение,} \quad (27)$$

Переходное и выходное отображения задаются как функции φ и ψ .

Тогда основные классы задач применительно к теории управления примут вид, как показано в таблице 1.

Таблица 1

Основные классы задач теории управления ДС (ТУ ДС)

Элементы ДС Классы задач ТУ ДС	U	X	Y	φ, ψ
Задачи анализа	+	+	?	+
Задачи мониторинга	+	?	+	+
Задачи управления	?	+	+	+
Задачи моделирования	+	+	+	?

Обобщенное описание ДС (25) позволяет, анализируя свойства множеств и отображений:

- образовывать различные конкретные частные классы моделей ДС;
- устанавливать взаимосвязи между указанными классами;
- организовывать многомодельные исследования реально протекающих процессов.

Ниже, не соблюдая хронологии, дадим представление о работах по основным отраслям науки и техники.

Металлургия цветных металлов

Теоретические исследования позволили в 1994 году опубликовать в журнале «Известия РАН. Техническая кибернетика» первую статью «Формализация экспертной информации при логико-лингвистическом описании сложных систем» [34], где были изложены основные принципы работы с экспертом с целью получения аналитического выражения его знаний.

Затем в 1996 г статья о ЛЛМ для управления процессом обжига никелевого концентрата в печах кипящего слоя [35]. Защита *кандидатской диссертации* И.Т. Кимяевым на эту же тему убедила в состоятельности *концепции использования ЭЗ для построения ЛЛМ как базы знаний* при управлении производственными процессами [36] и концепции создания на этой базе *нечетких логических регуляторов* (НЛР) [37]. Способ защищен патентом РФ № 2204616 от 20.05.03.

Интересной получилась работа в ходе исследования *физико-химических процессов в расплаве* при конвертировании медного штейна до черновой меди [38]. При окислении штейна кислородом сначала дутье осуществляется в сульфидный расплав, в котором образуется металлическая медь, а затем по мере продувки наступает момент, когда дутье осуществляется в расплав меди с вкраплениями сульфидов металлов до их полного окисления. Однако при этом полностью меняется механизм окисления сульфидов от прямого соприкосновения с кислородом воздуха до взаимодействия с оксидами меди. Благодаря применению нечетко-возможностного подхода удалось установить очередность моментов времени окончания одних и протекания других химических реакций. Иными словами, вскрыть *существенные детали физико-химического механизма* получения черновой меди из медного штейна, о которых ранее имелось только некоторое представление. Взятие проб по ходу процесса конвертирования полностью подтвердило в количественном виде изменение фазового состава расплавленной ванны [38].

По одному из самых прогрессивных пирометаллургических процессов – плавке в жидкой ванне (процесс Ванюкова) защищена *кандидатская диссертация* И.Е. Зыковым, в которой на базе ЭЗ построены не только *ЛЛМ для автоматизации управления технологическим процессом большой единичной мощности*, но и проведена количественная оценка качества управления технологическим агрегатом экипажами смен плавильщиков [39]. Интересным был вывод о суще-

ственном отличии манеры ведения процесса экипажами – от агрессивного до плавного – в зависимости от особенностей характера оператора-плавильщика.

В 2013 году компанией «Сумма технологий» (Санкт-Петербург) под научно-методическим руководством автора *разработана и внедрена* на Медном заводе Заполярного Филиала «ГМК «Норильский никель» (Норильск) *«Интеллектуальная автоматизированная система мониторинга и управления процессом Ванюкова ИАСУ ПВ-3»* [40]. ИАСУ ПВ в данной версии использует две уникальные интеллектуальные технологии, обладающие универсальностью в широком смысле. Первая из них – универсальная технология «Полиномиальное преобразование НЕ-факторов», суть которого состоит в преобразовании качественных знаний эксперта в математическую модель в виде нелинейной полиномиальной функции, что дает возможность передать специфику данной области техники через опыт и интуицию профессионалов применительно уже к конкретному процессу [41]. Вторая – представление знаний «Семантической сетью на базовой онтологии», позволяющей описать сложную многофакторную модель в виде семантической сети на специфичном ограниченном словаре, что существенно снижает размерность предметной области без потери семантики и функциональности всех ее элементов, и обладающей свойством универсальности по отношению к различным предметным областям [42]. Синтез этих двух независимых технологий дает возможность создания ИАСУ практически любой «сложной технической системы» при наличии существующей базовой автоматизации заказчика и высококвалифицированных специалистов, эксплуатирующих такие системы в условиях «существенной неопределенности».

Предлагаемый подход к построению ИАСУ обладает несколькими преимуществами.

Во-первых, он дает существенную экономию во времени за счет того, что использование *онтологического подхода* уже реализована в программном продукте и позволяет обрабатывать знания о любых моделях в базе знаний, а построение системы математических уравнений сложного технологического процесса – в силу рецептурной разработанности методики применения – требует минимум обращений к эксперту.

Во-вторых, использование ЭЗ применительно к оцениванию технического состояния конкретного СЛО осуществляется строго в условиях технологических регламентов его функционирования, что сво-

дит к минимуму степень риска выработки ИАСУ ПВ неправильного решения, а мониторинг в режиме реального времени способствует раннему обнаружению приближения к запредельным (предаварийным) состояниям процесса.

В-третьих, рассматривая процесс создания ИАСУ подобного рода со структурно-топологических позиций, акцентируется внимание непосредственно на свойствах механизма процесса распознавания состояния СЛО с использованием комплекта ЛЛМ [43]. Правильность такого подхода находит подтверждение в фундаментальном труде [4], где поставлена и решена проблема потоково-многоуровневого (ПМ) распознавания технического состояния СЛО, причем основным методологическим принципом выступает переход от конструкций метрических пространств к конструкциям более общего порядка – топологическим пространствам.

На основании проведенных исследований получены Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2014613676 и патент РФ № 2571968.

Синтез ИАСУ ПВ показал, что *фактически реализован универсальный и наиболее общий подход к решению многоуровневого распознавания состояния сложных технологических процессов, объектов или явлений в любой отрасли* – космонавтика, строительное дело, цветная и черная металлургия, горное и нефтегазовое производство, химическая промышленность, тепло-электроэнергетика, медицина, сельское хозяйство и др.

Космонавтика

В кандидатской диссертации Кунько А.Е. (2012 г.) на основе синтезированной ЛЛМ разработаны методики оценивания технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса химических источников тока для энергоснабжения объектов наземной космической инфраструктуры (космодром «Плесецк»). Проведенные исследования [44,45] позволили на основе синтезированной ЛЛМ перевести методику оценивания технического состояния объекта в *область неразрушающего контроля* и разработать для него принципиально новую методику прогнозирования остаточного ресурса, подтвержденную патентом РФ № 2467436 от 20.11.2012.

Разработана (адъюнкт Астанков А.М.) методика оценивания степени развития дефектов при эксплуатации насосных агрегатов заправочного оборудования ракетно-космических комплексов (космодром «Байко-

нур») [46,47]. По построенной ЛЛМ виброскорости как БЗ строят графики ее изменения от каждой из переменных во всем диапазоне их изменения, и по точкам пересечения запредельной величины виброскорости с графиками определяют степени развития соответствующими дефектов на оси абсцисс в кодированном масштабе с последующим декодированием их величин в натуральный масштаб. Показано, что методологически оправдано рассматривать ЛЛМ как решение обратной задачи диагностирования степени развития предполагаемых дефектов.

В пятимерном пространстве лингвистических переменных построена ЛЛМ оценивания *повреждаемости элементов конструкции и оборудования стартовых комплексов* в условиях интенсивного теплового нагружения (космодром «Байконур») при пуске ракет космического назначения [48], по которой определяется уровень ремонтно-восстановительных работ. Точность и обоснованность прогнозирования существенно выше, чем при применении обычного регрессионного анализа.

На основе ЭЗ получена ЛЛМ (адъюнкт Гула Д.Н.) количественного оценивания *вероятности возникновения дефектов металлооблицовки нулевой отметки стартового комплекса* (космодром «Плесецк») после пуска ракет космического назначения [49], позволившая доказать предпочтительность болтовой схемы даже при пусках тяжелых ракет.

Автор работает в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, где происходит становление нового направления применения ЛЛМ в космической отрасли. При этом вовлекаются курсанты уже на стадии написания магистерских диссертаций.

Строительное дело

Во время работы в Норильском индустриальном институте за период 1996–1998 гг. под руководством автора был проведен цикл исследований строительных объектов по прогнозированию их состояния с построением соответствующих ЛЛМ. В качестве были выбраны самые высокорисковые объекты Норильского промышленного района: дамбы и плотины хвостохранилищ, возведенных на многолетнемерзлых грунтах, и другие геотехнические сооружения. Результаты исследований докладывались на многих зарубежных конференциях в Японии, Греции, Канаде, Австралии, Португалии [50–57]. Обобщение результатов легло в основу *докторской диссертации* Лолаева А.Б.

(1999), руководившего строительным направлением, и кандидатской Галишевская В.В. (2004).

Защита кандидатской диссертации Кардашевым И.П. «Разработка метода оценки технического состояния и физической устойчивости высокорисковых сооружений с использованием нечетких множеств» (Академия МЧС, Новогорск, 2003) положила начало исследований с помощью ЛЛМ пространственно-распределенных СЛО в целом. При этом оценивались состояния отдельных его элементов с последующим объединением их путем иллюстративного представления или в виде функциональных зависимостей [58,59]. Дополнительно были решены важные вопросы методологии при управлении безопасностью и рисками в строительстве, отраженные в монографии [60] и работах [61–63].

Решение задач акмеологии и психологии личности

По утверждению выдающегося российского математика Елены Семеновны Вентцель: «Математика не только проникает в ранее чуждые для неё области, «завоёвывает» их – она при этом и сама трансформируется, становится менее формальной, менее ригористичной, меняет свои методологические черты, приближаясь к наукам гуманитарным».

Именно по такому сценарию развивается «проникновение» мягких измерений и вычислений в область *индивидуального консультирования* нуждающихся клиентов. Дело в том, что в области социальной психологии математизация успешно осуществлена статистическими методами в виде некоторых осредненных по большим выборкам характеристик, но в области индивидуального консультирования такие осредненные показатели не помогают консультанту-специалисту сориентироваться, а иногда даже заводят консультирование конкретного человека в тупик [64–66]. Балльная система в оценке психологического состояния человека не выдерживает критики по причине слабости ординальных шкал, да и баллы, как утверждает математическая статистика, не являются числами, а только упорядоченными метками.

На приведенном ниже рисунке схематично представлена авторская субъективная схема «проникновения» математических методов в область психологии [66].

Если считать квалифицированного консультанта в психологии экспертом в представлении [5], а его клиента – «сложной системой», то будет вполне допустимым применить построение ЛЛМ к решению задач психологии [64].



Авторами работ [64] рассмотрено решение двух задач психологии, назревших в нашем и мировом обществе: первая – моделирование психологической готовности женщины к созданию семьи [64–69], а вторая – про-

блеме оценивания вероятности положительного выхода из игровой зависимости [70–72].

В методологическом же плане предлагаемый метод синтеза ЛЛМ предоставляет возможность вплотную приблизиться к построению, проведению и контролю индивидуальной формы обучения [73].

К сожалению, методы синтеза ЛЛМ, как и всякое «слишком новое», трудно пробивается в гуманитарные области, видимо, из-за недостаточности пропагандистских действий в этом направлении. Хотя в медицине защищена *кандидатская диссертация* Савчиковой Л.В. по синтезированной ЛЛМ на тему «Прогнозирование положительной ремиссии при лечении хронического алкоголизма в условиях Крайнего Севера» и выпущены методические рекомендации [74].

Сельское хозяйство

Применение ЛЛМ в сельском хозяйстве естественно и эффективно, поскольку практически все сферы деятельности обладают свойствам СЛО и функционируют в условиях существенной неопределенности.

Широкое применение ЛЛМ находит в различных сферах сельского хозяйства. Так, при участии академика РАН Попова В.Д. выполнен ряд исследований, направленных на создание прогнозных моделей по оцениванию эффективности технологий кормопроизводства в хозяйствах Ленинградской области [75–78] на основе многокритериального подхода. В перспективе намечена защита *докторской диссертации*

А.И. Сухопарова, обобщающей теорию потенциалов сельскохозяйственных производств с использованием ЛЛМ.

Другое направление, возглавляемое А.Ю. Брюхановым, который совсем недавно защитил *докторскую диссертацию* с использованием

ЛЛМ, занимается моделированием сложной системы Сельскохозяйственное угодье-Водная экосистема. Это позволит получать количественные оценки коэффициента диффузной нагрузки, показывающий зависимость массы поступающего в воду азота от совокупности воздействия агротехнических факторов на природную среду. Проведение исследований по данной тематике являются вкладом Российской Федерации в ряд международных проектов по снижению биогенной нагрузки на регион Балтийского моря [79–82]. На подходе защиты двух кандидатских диссертаций аспирантов Р.А. Уварова и И.А. Субботина под научным руководством А.Ю. Брюханова, исследования которых направлено на переработку отходов скотоводческих и птицефабрик разрабатываемыми промышленными агрегатами.

Применение ЛЛМ представлено также в ветеринарии при разработке «Концепции оптимизации системы эпизоотологического надзора при сибирской язве на территории Таймырского полуострова» [83–86] и исследовании вирусных инфекций в популяции диких птиц Таймыра под руководством член-корреспондента РАН К.А. Лайшева.

7.5. Как представляется дальнейшее применение и развитие направления

Преподавание магистрантам Государственного университета аэрокосмического приборостроения 10-часового курса по построению ЛЛМ в рамках дисциплины «Математические методы в научных исследованиях» выявило очень хорошее понимание молодежью как замысла, так и его воплощения в виде построения самими студентами «личных, персональных» моделей. Профессорско-преподавательский состав воспринимает двояко: от полного отторжения до некоторой заинтересованности, если нечетко-возможностный подход каким-то образом коррелирует с их профессиональной деятельностью. Из этого вывод – следует подготовить методические указания и задачник по синтезу ЛЛМ для студентов и аспирантов вузов как технических, так и гуманитарных специальностей.

Если же говорить об углублении математических методов к анализу получаемых ЛЛМ и извлечения качественно новой информации для экспертов на основе их же знаний и опыта, то необходимо: разработать аппарат инженерной интерпретации частных производных первого и

второго порядка по каждой из переменных от полиномиальной модели; определить инженерную значимость матриц частных производных второго порядка, философское осмысление и доказательство извлечения именно неявных экспертных знаний как нового инструмента изучения психологии и акмеологии индивидуума.

Заключение

В кратком обзоре более чем 20-летнего своего «нечеткого и мягкого» периода хочется выразить благодарность всем своим соавторам по совместным публикациям, многие из которых сначала были учениками, а затем соратниками в нашем увлекательном научном направлении.

Особая благодарность Ольге Николаевне Журавлевой подвижникам-организаторам ежегодной Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM), проводимой ЛЭТИ уже 20 раз в 2017 году, и ее «крестной матери» профессору Светлане Васильевне Прокопчиной.

Подчеркну неоценимую помощь профессора Бориса Владимирович Соколова, «открывшего мне глаза» на глубину понимания идеи работы со знаниями, ее важности для науки и, прежде всего, инженерной практики.

Список литературы

1. *Аверкин А.Н.* Мягкие вычисления – основа новых информационных технологий / А.Н. Аверкин // Пятая национальная конференция с международным участием «Искусственный интеллект – 96». Сборник научных трудов. М. 1996. С. 23–28.

2. *Миронов А.Н.* Теоретические основы и методы многомодельного прогнозирования долговечности сложных военно-технических систем космического назначения / А.Н. Миронов. Министерство обороны, 2000. 429 с.

3. *Спесивцев А.В.* Управление рисками чрезвычайных ситуаций на основе формализации экспертной информации / под ред. проф. В.С. Артамонова. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. 238 с.

4. *Охтилев М.Ю.* Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов / М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов. М.: Наука, 2006. 410 с.

5. *Спесивцев А.В.* Эксперт как «интеллектуальная измерительно-диагностическая система» / Спесивцев А.В., Домшенко Н.Г. // Сб. докладов. XIII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM. 23–25 июля 2010. Санкт-Петербург, 2010. Т. 2. С. 28–34.
6. *Спесивцев А.В.* Метод извлечения и формализации экспертной информации / В монографии «Управление в условиях неопределенности» / под общ. ред. проф. С.В. Прокопчиной. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 304 с. С. 217–263.
7. *Zadeh L.A.* The concept of a linguistic variable and application to approximate reasoning / L.A. Zadeh // Inf. Sci. 1975. V. 8, 9.
8. *Моисеев Н.Н.* Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. М.: Наука, 1981. 328 с.
9. *Рыжов В.А.* Сетцентризм – управление сложностью. Портал «Сайт С.П. Курдюмова» 2014 // (<http://spkurdyumov.ru/networks/setcentrism-upravlenie-slozhnostyu/>).
10. Управление сложностью. Операционная система бизнеса / под редакцией Сергея Хромова-Борисова // Изд. Гребенникова, 2012.
11. *Эшби У. Росс.* Введение в кибернетику / под редакцией В.А. Успенского / У. Росс Эшби. М.: ИЛ, 1959. 428 с.
12. Теоретические основы и методы оптимизации анализа технического состояния сложных систем / Монография / В.В. Мышко, А.Н. Кравцов, Е.В. Копкин, В.А. Чикуров. СПб.: ВКА им А.Ф. Можайского, 2013. 303 с.
13. <http://kolesnik.ru/2006/pattern/>.
14. *Полани М.* Неявное знание. М., 1962. 110 с.
15. *Де Боно Э.* Латеральное мышление. Учебник творческого мышления / Э. де Боно. Попурри, 2012. 324 с.
16. *Спесивцев А.В.* Металлургический процесс как объект изучения: новые концепции, системность, практика / А.В. Спесивцев. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. 307 с.
17. *Хованов Н.В.* Математические основы теории шкал измерения качества / Н.В. Хованов. Л.: ЛГУ, 1982. 185 с.
18. *Ларичев О.И.* Теория и методы принятия решений / О.И. Ларичев. М.: Логос, 2000. 286 с.
19. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука, 1989. 312 с.
20. *Недосекин Д.Д.* Информационные технологии интеллектуализации измерительных процессов / Д.Д. Недосекин, С.В. Прокопчина, Е.А. Чернавский. СПб.: Энергоатомиздат, 1995. 178 с.

21. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. Изд. ПИТЕР, 2000. 382 с.

22. *Спесивцев А.В.* Изучение технологических процессов статистическими методами. Учебное пособие / А.В. Спесивцев. Норильск: Изд. Красноярского ГУ, 1981. 40 с.

23. *Спесивцев А.В.* Обобщение дополнительных арифметических операций над нечеткими числами (LR)-типа / Спесивцев А.В., Дроздов А.В., Кимяев И.Т. // Сб. докладов XIV Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM 23–25 июля 2011. Санкт-Петербург, 2011. Т.1. С. 251–254.

24. *Алексеев А.В.* Применение нечеткой математики в задачах принятия решений / А.В. Алексеев // Прикладные задачи анализа решений, в организационно-технических системах. Рига.: Риж. политехн. Ин-т, 1983. С. 12–17.

25. *Спесивцев А.В.* Решение нечетких уравнений в пространстве дополнительных арифметических операций / Спесивцев А.В., Дроздов А.В. // Сб. докладов XIV Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM23-25 июля 2011. Санкт-Петербург, 2011. Т. 1. С. 247–250.

26. *Спесивцев А.В.* Применение (LR)-аппроксимации для построения алгоритмов нечеткого вывода / Спесивцев А.В., Дроздов А.В. // Сб. докладов XV Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM 25–27 июня 2012. Санкт-Петербург, 2012. Т. 2. С. 148–150.

27. *Беллман Р.* Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л.З аде // В кн. Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976. С. 172–215.

28. *Спесивцев А.В.* Задание нечеткой метрики на множестве нечетких чисел (LR)-типа посредством нечеткой нормы // Сб. докладов XVII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2014, 23–25 мая 2014. Санкт-Петербург, 2014. С.55–61.

29. *Miller G.A.* The Magical Namber Seven, Plus of Minus Two // The Psychological Review. 1956. Vol. 63. Pp. 81–97.

30. *Спесивцев А.В.* Задание нечеткой метрики на множестве нечетких чисел (LR)-типа посредством нечеткой нормы / А.В. Спесивцев, А.В. Дроздов // Сб. докладов XVII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM 23–25 мая 2014. Санкт-Петербург: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. С. 55–61.

31. *Кандрашина Е.Ю.* Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах / Е.Ю. Кандрашина, Л.В. Литвинцева, Д.А. Поспелов. М.: Наука, 1989. 256 с.

32. *Налимов В.В.* Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. М.: Наука, 1965. 382 с.

33. *Соколов Б.В.* Комплексное планирование операций и управление структурами в АСУ активными подвижными объектами / Б.В. Соколов. М.: МО СССР, 1992. 182 с.

34. *Дроздов А.В.* Формализация экспертной информации при логико-лингвистическом описании сложных систем / А.В. Дроздов, А.В. Спесивцев // Изв. РАН. Техническая кибернетика. 1994. № 2. С. 89–96.

35. *Спесивцев А.В.* Управляющие модели металлургических процессов с использованием нечетких множеств / А.В. Спесивцев, А.В. Дроздов, С.В. Негрей, Р.Р. Даминов // Цветные металлы. 1996. № 11. С. 66–69.

36. *Спесивцев А.В.* Алгоритмы обработки входной информации и управления объектом / Спесивцев А.В., Дроздов А.В., Кимяев И.Т., Писарев А.И. // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-2000. Сборник трудов XIII Международной научной конференции. Санкт-Петербург: СПбТИ (ТУ), 2000. С. 221–223.

37. *Спесивцев А.В.* Информационная модель нечеткого логического регулятора с интеллектуализированной базой знаний / Спесивцев А.В., Кимяев И.Т. // Управление большими системами. Выпуск 21. М.: ИПУ РАН, 2008. С. 165–172.

38. *Спесивцев А.В.* Применение элементов нечетких множеств при изучении процессов / Спесивцев А.В., Рябушкин М.И., Федоров А.Н., Навильников Е.В., Кимяев В.Т. // Добыча и переработка руд цветных металлов. Сборник научных трудов. Норильск. 2000. С. 80–87.

39. *Салихов З.Г.* Количественная оценка качества управления технологическим агрегатом / З.Г. Салихов, А.В. Спесивцев, Д.А. Москвитин, А.В. Сириченко, И.Е. Зыков // Цветные металлы. 2002. № 10. С. 89–92.

40. *Орешкин С.А.* Синтез интеллектуальных автоматизированных систем управления сложными ТП / Орешкин С.А., Спесивцев А.В., Дайманд И.Н. Козловский В.Г., Лазарев В.И. // Автоматизация в промышленности. 2013. № 7. С. 3–9.

41. *Спесивцев А.В.* Интеллектуальная автоматизированная система управления процессом плавки ПВ-3 Медного завода ЗФ ОАО «ГМК « Норильский никель» / А.В. Спесивцев, И.Н. Дайманд, В.И. Лазарев, А.П. Кащук // Известия вузов. Цветная металлургия. 2014. № 5. С. 64–69.

42. *Спесивцев А.В.* Семантические сети на базовой онтологии./ Спесивцев А.В., Дайманд И.Н. // Сб. докладов XVI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2013, 23–25 мая 2013. Санкт-Петербург, 2013. Т. 1. С. 76–81.

43. *Спесивцев А.В.* Структурно-топологическая архитектура экспертной системы оценивания технологического объекта при полимодельном логико-лингвистическом подходе / А.В. Спесивцев // Сб. докладов XVIII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2015, 19–21 мая 2015. Санкт-Петербург, 2015. Т. 1. С. 117–123.

44. *Спесивцев А.В.* Оценивание технического состояния химических источников тока на основе неявных экспертных знаний / Кунько А.В., Спесивцев А.В. // Информация и космос. 2010. № 4. С. 42–49.

45. *Спесивцев А.В.* Алгоритмическое обеспечение методики прогнозирования остаточного ресурса технических объектов на основе метода формализации экспертной информации / Кунько А.Е., Спесивцев А.В. Наука и образование. Электронное научно-техническое издание. 77-30569/259313# 01, январь 2012. <http://technomag.bmstu.ru/doc/259313.html>.

46. *Астанков А.М.* Снижение рисков возникновения опасных последствий при эксплуатации насосных агрегатов заправочного оборудования ракетно-космических комплексов / А.М. Астанков, А.В. Спесивцев, А.В. Вагин // Проблемы управления рисками в техносфере. 2016. № 1[37]. С. 6–14.

47. *Астанков А.М., Спесивцев А.В.* Логико-лингвистическая модель оценивания вероятности возникновения нештатных ситуаций при эксплуатации насосных агрегатов заправочного оборудования РКК // «Фундаментальные исследования» www.fundamental-research.ru.

48. *Спесивцев А.В.* Прогнозирование повреждаемости элементов конструкции и оборудования стартовых комплексов в условиях интенсивного теплового нагружения / Спесивцев А.В., Варварский В.М., Ссадин Д.В., Чистов Д.А. // Сб. трудов XXVII Межведомственной научно-технической конференции космодрома «Плесецк» «Научно-

технические аспекты совершенствования эксплуатации существующих и испытаний перспективных образцов ракетно-космической техники в современных условиях». Плесецк, 2010. С. 81–83.

49. Гула Д.Н. Оценивание состояния металлооблицовки стартовых сооружений ракетно-космических комплексов на основе логико-лингвистических моделей / Д.Н. Гула, А.В. Спесивцев, А.В. Вагин // Проблемы управления рисками в техносфере. № 1[41]. 2017. С. 6–14.

50. *Lolayev A.B.* Forecasting of the technogenic influence on soils properties on the basis of fuzzy models / A.B. Lolayev, A.V. Spesivtsev, A.V. Drozdov // Proceedings of 2nd International Congress on Environmental Geotechnics, Osaka, JAPAN. 1996.

51. *Lolayev A.B., Spesivtsev A.V., Spesivtsev V.V.* Modelling of the technogenic salting of the frozen soils. / A.B. Lolayev, A.V. Spesivtsev, V.V. Spesivtsev // Proceedings of International Symposium Engineering Geology and the Environment, Athens, GREECE. 1997.

52. *Lolayev A.B.* Site investigation of tailing dam in permafrost region / A.B. Lolayev, A.V. Spesivtsev, N.D. Shklyarov, V.V. Spesivtsev, A.G. Osipov, V.K. Panchul, E.E. Kirienko // Proceedings of Geoenvironmental Engineering Conference CONTAMINATED GROUND: FATE of POLLUTANTS and REMEDIATION, Cardiff, UK. 1997.

53. *Lolayev A.B.* Geotechnics of mining, metallurgical wastes and tailing dams in permafrost regions / A.B. Lolayev, A.V. Spesivtsev, N.D. Shklyarov, V.V. Spesivtsev, V.K. Panchul, E.E. Kirienko // Proceedings of 1st Australia-New Zealand Conference on Environmental Geotechnics GEOENVIRONMENT 97, Meulburne, AUSTRALIA. 1997.

54. *Lolayev A.B.* Geotechnics of mining, metallurgical wastes and tailing dams in permafrost regions / A.B. Lolayev, A.V. Spesivtsev, N.D. Shklyarov, V.V. Spesivtsev, V.K. Panchul, E.E. Kirienko // Proceedings of 1st Australia-New Zealand Conference on Environmental Geotechnics GEOENVIRONMENT 97, Meulburne, AUSTRALIA. 1997.

55. *Lolayev A.B.* Geotechnics of mining, metallurgical wastes and tailing dams in permafrost regions. / A.B. Lolayev, A.V. Spesivtsev, N.D. Shklyarov, V.V. Spesivtsev, V.K. Panchul, E.E. Kirienko // Proceedings of 1st Australia-New Zealand Conference on Environmental Geotechnics GEOENVIRONMENT 97, Meulburne, AUSTRALIA. 1997.

56. *Lolayev A.B.* Forecasting of the stability of the tailing dam in permafrost region on the basis of fuzzy models / A.B. Lolayev, A.V. Spesivtsev, V.V. Butyugin, B.S. Pukhtin, V.A. Savchenko // Proceedings of 8th

International Congress of International Association of Engineering Geology (IAEG), Vancouver, CANADA. 1998.

57. *Lolayev A.B.* Influence of chemical structure of salts on strengthen characteristics of fine grained soils / A.B. Lolayev, A.V. Spesivtsev, O.A. Lyalina, T.G. Ryashchenko, V.V. Akulova // Proceedings of 8th International Congress of International Association of Engineering Geology (IAEG), Vancouver, CANADA. 1998.

58. *Спесивцев А.В.* Метод оценки состояния сооружений на основе формализации нечеткой информации / А.В. Спесивцев, И.П. Кардашев // Добыча и переработка руд цветных металлов. Сборник научных трудов. Норильск: НИИ, 2000. С. 75–78.

59. *Спесивцев А.В.* Выбор метрики для оценки технического состояния инженерных сооружений / Спесивцев А.В., Кардашев И.П., Петров А.В. // Экономика и управление. Сборник статей. Норильск: Норильский индустриальный институт. 2002. С. 129–133.

60. *Артамонов В.С.* Элементы превентивного управления рисками при эксплуатации системных объектов / под общей редакцией А.В. Спесивцева / В.С. Артамонов, И.П. Кардашев, В.Б. Моторин, А.В. Спесивцев, Н.И. Уткин. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. 132 с.

61. *Spesivtsev A.V.* Fuzzy models of a technical state of engineering structures / Spesivtsev A.V., Kardashev I.P., Domshenko N.G., Petrov A.I., Kerina N.A., Semenov G.V. // Сб. докладов VIII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям «SCM-2005». Санкт-Петербург, 2005. Т.1. С. 161–164.

62. *Спесивцев А.В.* Мониторинг физического состояния фундаментов зданий и сооружений в нечетком многомерном пространстве / Спесивцев А.В., Семенов Г.В., Кардашев И.П., Гусев А.Н. // Сб. докладов. IX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям «SCM 2006». Санкт-Петербург, 2006. Т. 1. С. 143–146.

63. *Спесивцев А.В.* К вопросу об управлении безопасностью и рисками в строительстве / А.В. Спесивцев, И.П. Кардашев, Г.В. Семенов, А.М. Джаман // Экономика и управление. 2005. № 3. С. 98–103.

64. *Спесивцев С.А., Спесивцев А.В., Спесивцев В.А.* Мониторинг на основе фаззи-моделей психологической готовности женщины к созданию семьи / XIV Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. Сборник докладов. СПб.: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. С. 241–246.

65. *Спесивцев А.В.* Математизация развития психики женщины на базе фаззи-моделей / А.В. Спесивцев, С.А. Спесивцев, В.А. Спесивцев //

Сб. докладов. XV Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM 25–27 июня 2012. Санкт-Петербург: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. Т. 2. С. 151–154.

66. *Спесивцев С.А.* Методология решения задач акмеологии на основе логико-лингвистических моделей / С.А. Спесивцев // Сб. докладов. XVI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2013, 23–25 мая 2013. Санкт-Петербург, 2013. С. 62–65.

67. *Спесивцев А.В.* Повышение степени адекватности логико-лингвистической модели изучаемому явлению путем расширения факторного пространства / А.В. Спесивцев, В.А. Спесивцев, С.А. Спесивцев // Сб. докладов XVII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2014, 23–25 мая 2014. Санкт-Петербург, 2014. С. 62–65.

68. *Спесивцев С.А.* Извлечение новой информации о психике женщины на основе логико-лингвистической модели / С.А. Спесивцев, В.А. Спесивцев // Сб. докладов XVII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2014, 23–25 мая 2014. Санкт-Петербург, 2014. С. 66–70.

69. *Спесивцев С.А.* Метод решения задач психологии личности формализацией экспертных знаний в условиях неопределенности / А.В. Спесивцев, С.А. Спесивцев, В.А. Спесивцев // Сб. докладов XVIII Международная научно-практическая конференция: «Научное обозрение физико-математических и технических наук в XXI веке», Россия, г. Москва, 25-27.06.2015 // Ежемесячный научный журнал «Prospero». № 6 (18). 2015. С. 43–57.

70. *Спесивцев В.А.* Оценивание степени привлекательности компьютерной игры на основе фаззи-модели / В.А. Спесивцев // Сб. докладов XVI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2013, 23–25 мая 2013. Санкт-Петербург, 2013. С. 66–69.

71. *Спесивцев В.А.* Изучение проблемы зависимости от компьютерных игр на основе логико-лингвистической модели / С.А. Спесивцев, В.А. Спесивцев // Сб. докладов XVII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2014, 23–25 мая 2014. Санкт-Петербург, 2014. С. 66–70.

72. *Спесивцев В.А.* Извлечение качественно новой информации из логико-лингвистической модели оценивания вероятности положительного выхода из игровой зависимости / В.А. Спесивцев // Сб. докладов XVII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2015, 19–21 мая 2015. Санкт-Петербург, 2015. С. 72–75.

73. *Спесивцев С.А.* Индивидуализация психологических тренингов с использованием логико-лингвистических моделей / С.А. Спесивцев // Сб. докладов XVII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2015, 19–21 мая 2015. Санкт-Петербург, 2015. С. 65–68.

74. *Савчикова Л.В.* Прогнозирование ремиссии при лечении хронического алкоголизма в условиях Крайнего Севера. Методические рекомендации / Л.В. Савчикова, Т.В. Чернобровкина, А.В. Спесивцев, А.Г. Соловьев, И.А. Кирпич. Архангельск–Москва: Издательский центр «Российская ассоциация общественного здоровья», 2000. 19 с.

75. *Попов В.Д.* Применение логико-лингвистических моделей для прогнозирования сохранности биопотенциала трав при их консервировании / В.Д. Попов, А.В. Спесивцев, А.И. Сухопаров, В.А. Спесивцев // Сб. докладов XIX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2016, 25–27 мая 2016. Санкт-Петербург, 2016. Т. 1. С. 256–259.

76. *Попов В.Д.* Формализация экспертных знаний в виде логико-лингвистических моделей / Попов В.Д., Спесивцев А.В., Сухопаров А.И. // Вестник российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 3. С. 10–13.

77. *Попов В.Д.* Свертка многокритериальных экспертных оценок в условиях неопределенности / В.Д. Попов, А.В. Спесивцев, А.И. Сухопаров, В.А. Спесивцев // Сб. докладов XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2017, 24–26 мая 2017. Санкт-Петербург, 2017. Т. 2. С. 211–215.

78. *Спесивцев А.В.* Методы формализации знаний эксперта специалиста в области сельского хозяйства / А.В. Спесивцев, А.И. Сухопаров // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования: Сб. науч. трудов. Часть 1. СПб.: СПбГАУ, 2014. С. 435–438.

79. *Брюханов А.Ю.* Оценка экологической безопасности на основе логико-лингвистического моделирования процессов утилизации жидкого навоза / А.Ю. Брюханов, А.В. Спесивцев, И.А. Субботин // Технология и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства: Сб. научн. тр. / ИАЭП. Вып. 86. СПб., 2015. С. 128–138.

80. *Брюханов А.Ю.* Моделирование негативного воздействия технологий переработки отходов животноводства / А.Ю. Брюханов, А.В. Спесивцев, И.А. Субботин // Международный конгресс АПК – стратегиче-

ский ресурс экономического развития государства: Материалы для обсуждения. СПб.: ООО «ЭФ-Интернэшнл», 2015. С. 9–11.

81. Брюханов А.Ю. Логико-лингвистическое моделирование для решения агроэкологических проблем / А.Ю. Брюханов, А.В. Спесивцев, А.В. Трифанов, И.А. Субботин // Сб. докладов XIX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2016, 25–27 мая 2016. Санкт-Петербург, 2016. Т. 1. С. 236–239.

82. Брюханов А.Ю. Логико-лингвистическая модель рециклинга органических отходов сельского хозяйства / А.Ю. Брюханов, А.В. Трифанов, А.В. Спесивцев, Р.А. Уваров, В.А. Спесивцев // Сб. докладов XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM-2017, 24–26 мая 2017. Санкт-Петербург, 2017. Т. 2. С. 216–219.

83. *Laishev K.A.* Anthrax epizootic monitoring in the Far North on the basis of fuzzy models / К.А. Лайшев, А.В. Спесивцев, В.Р. Кечин // Сб. докладов VIII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM 2005. Санкт-Петербург, 2005. Т. 2. С. 132–135. Лайшев, К.А. Нечеткие множества в эпизоотологическом прогнозировании.

84. *Лайшев К.А.* Актуальные проблемы инфекционной патологии и иммунологии животных / К.А. Лайшев, А.В. Спесивцев, И.М. Шалаев // Всероссийский научно-исследовательский ин-т эксперим. Ветеринарии. Новосибирск, 2006. С. 88–89.

85. *Лайшев К.А.* Концепция оптимизации системы эпизоотологического надзора при сибирской язве на территории Таймырского муниципального района: Методические рекомендации / К.А. Лайшев, В.А. Забродин, А.В. Спесивцев, С.К. Димов, Ю.Г. Юшков, А.В. Прокудин, А.А. Самандас, И.М. Шалаев, В.М. Здунов, Б.В. Марцеха // ГНУ НИИСХ КС СО Россельхозакадемии; ГНУ ИЭВ СидВ СО Россельхозакадемии. Норильск, 2007. 25 с.

86. *Прокудин А.В.* Система мониторинга наиболее распространенных и возвращающихся вирусных инфекций в популяции диких птиц полуострова Таймыр. Методическое пособие / А.В. Прокудин, К.А. Лайшев, А.В. Спесивцев, С.К. Димов, А.М. Самандас // ГНУ НИИСХ Крайнего Севера Россельхозакадемии. Норильск, 2014. 32 с.

ГЛАВА 8

НЕЧЕТКИЕ ГИБРИДНЫЕ МОДЕЛИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

А.А. Аверкин

8.1. Методы моделирования слабоструктурированной ситуации в гибридных системах поддержки принятия решений

В теории систем поддержки принятия решений разработаны различные математические модели и методики. Несмотря на их обилие, каждая из теорий в отдельности ограничена определенными рамками, обусловленными её структурой. В связи с чем, рассмотрение гибридных, смешанных интеллектуальных моделей представляет собой перспективное направление исследований. В данной статье рассмотрены основные методики для построения гибридных информационных систем поддержки принятия решений.

8.1.1. Иерархическая модель

Иерархия это система, основанная на предположении, что элементы (факторы) системы могут группироваться в несвязанные множества. Элементы каждой группы находятся под влиянием элементов некоторой вполне определенной группы и, в свою очередь, оказывают влияние на элементы другой группы. Элементы в каждой группе иерархии (называемой уровнем, кластером) должны быть независимы.

На последнем, самом нижнем уровне этой структуры располагаются факторы, на которые оперирующая сторона может непосредственно воздействовать. Эффект от воздействия на эти факторы, т.е. «реализация» данных факторов (обычно они представляют собой конкретные мероприятия), распространяясь вверх по последовательно расположенным уровням иерархической структуры системообразующих факторов приведет к реализации всех выше расположенных фак-

торов и, в конечном итоге, – к достижению «глобальной» (генеральной) цели функционирования (развития) рассматриваемого сложного объекта. Для определения взаимовлияния факторов, принадлежащих различным уровням иерархии проводятся элементарные экспертизы. При проведении элементарной экспертизы рассматривается множество альтернатив $A = \{1, 2, \dots, n\}$ и множество упорядоченных пар альтернатив $U = \{(i, j)\}: (i, j) \in U$, если альтернатива i сравнивается с альтернативой j . Веса x_i альтернатив i из множества A определяется в результате обработки взвешенного бинарного отношения $R\{((i, j), r_{ij}) | (i, j) \in U\}$, в котором положительное число r_{ij} – задаваемая экспертами степень предпочтения альтернативы i по сравнению с альтернативой j , относительно общего критерия.

Рассматриваемые значения r_{ij} могут быть заданы следующим образом:

а) в виде числа (альтернатива i предпочтительнее альтернативы j в r_{ij} раз);

б) в виде интервалов $r_{ij} = [a_{ij}, \beta_{ij}]$ на пространстве неотрицательных чисел S^+ (альтернатива i предпочтительнее альтернативы j не менее чем в a_{ij} раз, но не более чем в β_{ij} раз);

в) в виде нечетких множеств $r_{ij} = \{t_{ij}, \mu_{ij}(t_{ij})\}$ на пространстве S^+ (альтернатива i предпочтительнее альтернативы j в t_{ij} раз с достоверностью $\mu_{ij}(t_{ij}) \in [0, 1]$), здесь t_{ij} – оценка степени превосходства альтернативы i по сравнению с альтернативой j , а $\mu_{ij}(t_{ij})$ – ее функция принадлежности.

Перечисленные случаи соответствуют точечным, интервальным и нечетким отношениям предпочтения.

Результатом работы алгоритма обработки нечеткой иерархии становится модель ситуации, отображающая степень влияния отдельных факторов нижних уровней (альтернатив воздействия, наличия конкретных объектов, мероприятий и способов реагирования) на основную цель – общее благополучие рассматриваемой сложной системы. Учитывая, частные случаи выхода факторов за критические значения своих показателей в иерархической модели, предоставляющей механизмы относительного комплексного оценивания влияния развития факторов, получаем механизмы позволяющие оценить ситуацию в целом, дать рекомендации по наиболее эффективным воздействиям на ситуацию, промоделировать поведение сложного объекта, предупредить о выходе значений факторов за критические показатели и указать их причины и способы устранения.

8.1.2. Когнитивное моделирование

Когнитивное моделирование позволяет учитывать динамику развития ситуации. Базовым инструментом моделирования является ориентированный граф, состоящий из множества вершин – факторов ситуации и дуг, представляющих причинно-следственные отношения между факторами. Направленным дугам графа приписывается знак $+$ или $-$, т.е. они могут быть положительными или отрицательными. Положительная связь означает, что увеличение значения фактора источника приводит к увеличению значения фактора приемника, а отрицательная дуга означает, что увеличение значения фактора источника приводит к уменьшению значения фактора приемника. Граф, дугам которого приписаны знаки, называется *знаковым графом*. Кроме того, дугам могут быть приписаны числовые веса, которые выражают силу влияния данной связи. Такой граф интерпретируется как модель функциональной структуры ситуации, которая представляется и анализируется в компьютерной системе моделирования. В моделировании ситуаций его принято называть *когнитивной картой*, поскольку он наряду с наблюдаемыми и точно измеряемыми значениями факторов ситуации, точно известными законами и закономерностями развития ситуации, содержит знания, опыт, здравый смысл эксперта, его видение ситуации, что позволяет заполнить пробелы в объективной информации о плохо определенной ситуации.

Математическая модель когнитивной ситуации представляет из себя следующее: каждой вершине когнитивной карты соответствует функция f_i , которая называется *фактором*. В каждый момент времени фактор принимает некоторое значение из линейно упорядоченного множества. Такие множества в дальнейшем будем называть *шкалами*. Значение фактора будем называть также *интенсивностью проявления фактора*. Если эти значения измеримы в виде количественных показателей, то они образуют количественную шкалу. Более типичным для является случай, когда интенсивность проявления фактора непосредственно не измерима и может быть оценена субъективной экспертной оценкой в виде лингвистического значения. Множество таких значений также должно быть линейно упорядочено и образует *лингвистическую шкалу*. f_i обозначает имя i -го фактора. Его значение в момент t обозначается $x_i(t)$. Вектор $X(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$ значений всех факторов ситуации в момент t образует *состояние ситуации* в момент t . Переменная w_{ij} , приписанная ребру (f_i, f_j) , является числовой и может принимать любые действительные значения. Она назы-

вается весом связи (f_i, f_j) и характеризует силу влияния фактора f_i на фактор f_j . Совокупность переменных w_{ij} задается матрицей смежности графа $W = ||w_{ij}||$. Значение переменной w_{ij} , т.е. сила влияния f_i на f_j в общем случае зависит от значения фактора f_i . Однако на практике веса связи меняются существенно реже, чем значения факторов, поэтому на сравнительно коротких отрезках времени их можно считать постоянными. Они определяются экспертной оценкой ситуации.

Когнитивная карта, являясь моделью, позволяющей отражать динамику ситуации, служит помимо её моделирования для осуществления прогнозов развития, проигрыша различных путей развития, в том числе в случае критических значений интенсивности проявления факторов, а также как источник не достающих в текущий момент значений интенсивностей. Которые могут использоваться другими моделями, в частности иерархической, для построения более полной картины развития ситуации.

8.1.3. Многокритериальное ранжирование альтернатив

Рассматривается задача выбора вариантов по многим критериям, при условии, что основу исходных данных составляют экспертные оценки заданных вариантов по каждому (из некоторого конечного множества) критерию.

Особенности экспертной информации заключаются в том, что от экспертов не требуются точные оценки, оценки альтернатив по каждому критерию могут быть нечеткими и задаваться соответствующими распределениями на шкалах критериев, разные эксперты могут оценивать альтернативы по разным критериям.

Обработка такой информации связана с двумя принципиальными вопросами. Во-первых, с определением способа учета многокритериальности. В данном случае вводится понятие обобщенной шкалы измерения, являющейся своего рода сверткой отдельной шкал. Введение такой шкалы допустимо, если используемые для оценки альтернатив критерии не зависимы по ценности. В то же время конкретные значения полезностей различных градаций для построения не требуется. Во-вторых, необходимо определить способ сравнения альтернатив по одному критерию для случая, когда оценки альтернатив являются нечеткими. В качестве такого способа выбрана комбинация метода Жаке-Лагреза и метода аппроксимации нечетких отношений нечеткими обратимыми квазисериями.

Пусть ранжируемые варианты (альтернативы) образуют множество $X = \{1, 2, \dots, n\}$. Каждая альтернатива оценивается по критериям, причем каждый ξ -й критерий задается в порядковой шкале $E^\xi = \{e_k^\xi \mid k = \overline{1, m^\xi}\}$ с дискретными градациями e_k^ξ , m^ξ – число градаций шкалы E^ξ .

Для любой альтернативы $i \in X$ по каждой шкале E^ξ экспертами задаются нечеткие оценки $\gamma^\xi(i)$ в виде распределений $\gamma^\xi(i) = \{P_{i1}^\xi, \dots, P_{ik}^\xi, \dots, P_{im^\xi}^\xi\}$.

Величина P_{ik}^ξ трактуется как достоверность того (степень уверенности в том), что оценка альтернативы i по шкале E^ξ есть e_k^ξ .

Задача ранжирования состоит в построении на основе перечисленной исходной информации такого разбиения множества X на классы $K_1, \dots, K_l, \dots, K_l$ равноценных альтернатив, что альтернативы из класса K_i строго предпочтительнее альтернатив из классов $K_{i+1}, \dots, K_l$ для любого $i = 1, 2, \dots, l-1$.

Особенности предлагаемого метода связаны в первую очередь с использованием теории нечетких множеств для описания исходной информации, являющейся неполной и нечеткой в ряде практических задач.

Совместное использование модели нечеткого иерархического оценивания и многокритериального ранжирования альтернатив обусловлено возможностью наличия эффективных способов построения обобщенной шкалы с использованием коэффициентов относительной важности критериев, полученных в результате работы алгоритмов обработки иерархической модели.

Заключение

Описанные модели могут быть использованы при создании гибридных систем, что обуславливается повышением точности и адекватности моделирования слабоструктурированной ситуации. Совместное использование этих моделей позволяет осуществлять поддержку принятия решений на таких этапах, как мониторинг, анализ ситуации, генерация альтернатив, выбор наилучшего решения и построение прогноза развития ситуации.

Список литературы

1. Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф., Силов В.Б., Тарасов В.Б. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука, 1986.

2. *Макеев С.П.* Структура транзитивных нечетких отношений // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1989. № 2.

3. *Силов В.Б.* Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО-РЕС, 1995.

4. *Saathy T, Kerns K.* Analytic Planning. Systems organization. М.: Радио и связь, 1991.

5. *Кулинич А.А.* Когнитивное моделирование в системах поддержки принятия решений. М.: Изд-во ИПУ РАН, 1999.

6. *Катулаев А.Н., Северцев Н.А.* Математические методы в системах поддержки принятия решений. М.: Высшая школа, 2005.

8.2. Поддержка принятия решений в слабо структурированных ситуациях на основе нечеткой иерархической модели

Работа направлена на интеграцию различных моделей для разработки объектов с синергетическим эффектом, используемых для решения неоднородных задач в системах поддержки принятия решений (СППР), оценивающих альтернативы, выбирающих лучший вариант и согласовывающих групповые решения.

Необходимо заметить, что интеграция различных моделей представления слабоструктурированной ситуации является актуальной задачей в связи с тем, что в последнее время осуществляется переход на новое поколение информационных систем на основе сервисно-ориентированной архитектуры, где модели поддержки принятия решений представляют собой взаимодействующие сервисы в рамках единого информационного пространства.

В последние годы в теории систем поддержки принятия решений активно используется понятие «интеллектуального управления», смещающего акценты на эвристическую коррекцию формально-математического описания объекта управления для моделирования системы. Различные аспекты проблемы обоснования решений в системах рассматриваются как с помощью количественной оценки факторов в рамках моделей исследования операций, так и с помощью качественного анализа взаимовлияния системообразующих факторов исследуемой предметной области в рамках теории принятия решений. Важным инструментом обоснования рекомендаций является моделирование, однако его использование предполагает не только наличие

хорошо развитой методологии исследований, но и весьма сложного комплекса моделей развития ситуации в исследуемой предметной области, анализа конфликтов, принятия решений и т.д.

С другой стороны, основой задач поддержки принятия решений является анализ ряда трудно формализуемых задач с использованием экспертной информации. Использование нечеткой логики на базе параметрических Т-норм позволяет адаптировать систему на логику эксперта и оптимизировать процесс обработки экспертной информации. По этой причине, для решения задачи принятия решений в слабо структурированной предметной области, предлагается использовать подход, базирующийся на объединении различных моделей представления предметной области на основе параметрических Т-норм.

На множестве моделей может быть построена синергетическая структура, использующая различные модели для решения сложной задачи, т.е. интегрированная или гибридная модель поддержки принятия решений. Тем самым обеспечивается многоаспектность исследования и принятия решений.

В представленной работе разрабатываются принципы и методология разработки подобных систем в слабо формализуемых предметных областях, а также исследуется возможность объединения моделей представления знаний и методы теории принятия решений.

Решается задача поддержки принятия решений в слабо структурированной предметной области, которая характеризуется представлением предметной области в виде качественных и количественных описаний системообразующих факторов, с преобладанием качественных описаний; взаимовлияние факторов определяется методом субъективных экспертных оценок.

В основе разрабатываемой модели лежит идея об интеграции модели представления знаний о слабо структурируемой предметной области в виде нечеткой иерархии и метода многокритериального ранжирования нечетких объектов.

На данный момент существуют интегрированные модели поддержки принятия решений, в основе которых лежит иерархическая структура системообразующих факторов предметной области, например, интеграция нечеткой иерархической модели и когнитивной модели слабо структурированной предметной области [1]. В рамках упомянутой модели проводилось конструирование альтернатив на основе когнитивной модели предметной области, а также

построение прогнозов развития ситуации при выборе некоторой альтернативы. Однако, в связи с неполнотой когнитивной модели, а также в связи с упрощением функциональных зависимостей между элементами и их представлениями в виде линейных функций и наличия тактового времени в системе, не учитывающего реальных временных зависимостей между факторами, в задачах с заранее заданным множеством альтернатив такая интегрированная модель является неадекватной.

Представленная в рамках данной работы интегрированная модель использует представление предметной области в виде нечеткой иерархии, а также позволяет проводить многокритериальное оценивание заранее заданных альтернатив с учетом значимости критериев относительно целей, заданных в системе.

Разработанные методы и алгоритмы использованы при создании программного комплекса, предназначенного для автоматизации процесса решения задач выбора оптимального подмножества возможных альтернатив путем упорядочения (ранжирования) объектов с учетом сформированного множества целей.

8.2.1. Методы и алгоритмы построения и анализа нечеткой иерархической модели слабо структурированной ситуации

Нечеткая иерархическая модель слабо структурированной предметной области

Анализируется методология анализа иерархических моделей ситуации. При рассмотрении проблем функционирования или развития сложных объектов, связи между системообразующими факторами часто удается представить в виде многоуровневой иерархически упорядоченной структуры (в виде графа с сетевой структурой).

Введем несколько основных понятий.

Альтернативами называются варианты принимаемых решений.

Критерий – способ описания альтернативных вариантов решений, способ выражения различий между ними с точки зрения предпочтений ЛПР [2].

В случае, когда альтернативы не определены, критерии определяются ЛПР на основе его целей и требований к задаче выбора. При этом рассматриваются либо предыдущие ситуации принятия решений, либо ожидаемые альтернативы. Критерии могут быть зависимыми и незави-

симыми друг от друга. Критерии называются зависимыми, когда оценка альтернативы по одному из критериев определяет оценку по другому критерию. При большом количестве критериев они могут быть объединены в группы зависимых критериев, имеющих определенное смысловое значение. Такие группы, как правило, являются независимыми. Таким образом, появляется иерархия критериев, т.е. могут быть построены иерархии критериев с различным числом уровней. Основанием для естественного объединения критериев в группы является возможность выделить плюсы и минусы альтернативы, ее достоинства и недостатки. Большую роль в образовании групп играет зависимость критериев. Представление в виде иерархической структуры является наиболее удобным способом представления слабо структурированной ситуации. В качестве модели используется дерево критериев, в котором общие критерии разделяются на критерии частного характера. Для каждой группы критериев определяются коэффициенты важности относительно критерия верхнего уровня. Основными принципами построения модели являются следующие утверждения:

- любая сложная проблема может быть подвергнута декомпозиции;
- результат декомпозиции можно представить в виде иерархической системы наслаиваемых уровней, каждый из которых состоит из многих элементов;
- качественные сравнения экспертами парной значимости элементов на любом уровне иерархии (субъективные суждения) могут быть преобразованы в количественные соотношения между ними.

Определение: Иерархия – есть определенный тип системы, основанный на предположении, что элементы системы могут группироваться в несвязные множества. Элементы каждой группы находятся под влиянием некоторой вполне определенной группы, и, в свою очередь, оказывают влияние на элементы другой группы.

Основные этапы определения коэффициентов важности объектов в иерархических системах

Процесс определения коэффициентов важности в иерархических системах состоит из следующих этапов.

Построение иерархической модели

Иерархия строится методом структурной декомпозиции рассматриваемой ситуации (формирование структур «сверху»). Цели нижележащего уровня иерархии есть средства для достижения целей вы-

шестоящего уровня. Для уровней, ниже лежащих по отношению к ним, они являются целями. В настоящее время пока еще нет сложившейся строгой постановки задачи построения иерархических (многоуровневых) структур системообразующих факторов. Однако можно указать основные принципы их практического построения [3].

На множестве объектов ситуации $Z = \{1, \dots, N\}$ определяется ориентированный граф $G_r = (Z, W)$ без контуров с множеством вершин Z , совпадающим с множеством объектов, и множеством дуг W . Наличие дуги $(i, j) \in W$ означает, что вес z_i объекта (вершины) i непосредственно зависит от веса z_j объекта j . Граф G_r имеет структуру дерева целей и задач, если его вершины можно расположить на непересекающихся уровнях $V_1, \dots, V_M$ так, что дуги графа соединяют только вершины смежных уровней, причем: дуги ведут сверху вниз, с уровня V_i на уровень V_{i+1} , $i = 1, \dots, M-1$; все вершины, из которых дуги не выходят, находятся на уровне V_M . Построение иерархии оканчивается уровнем листовых критериев $k_1, \dots, k_n$, т.е. таких критериев, что они являются далее не декомпозируемыми и для каждого из них можно построить ограниченное линейно – упорядоченное множество принимаемых значений (шкалу).

В существующих методах анализа иерархических структур за уровнем листовых критериев следует уровень альтернатив $A = \{K^J\}$, $J = 1, M$. Каждая из альтернатив K^J есть некоторое решение, характеризующееся набором атрибутов, которые совпадают с названиями листовых критериев k_i .

Возникает задача нахождения наилучшей альтернативы $K^J \in A$ (т.е. наилучшего решения из множества рассматриваемых решений) относительно генеральной цели (элемента верхнего уровня иерархической структуры). Для решения задачи нахождения наилучшей альтернативы необходимо, прежде всего, определить коэффициенты относительной важности (т.е. веса) критериев в построенной иерархии относительно генеральной цели (критерия 0 уровня построенной модели).

Проведение элементарных экспертиз

Элементарная экспертиза состоит в получении для некоторой вершины $i \in V_M$ парных оценок весов дуг $(i, j) \in W$, $j \in \Gamma_i = \{k | (i, k) \in W\}$. Парные оценки $r_{jk}^{(i)}$ показывают, во сколько раз вклад объекта j больше вклада объекта k в решение задачи, стоящей перед объектом i ; $j, k \in \Gamma_i$.

Эти оценки могут быть:

- а) точечными ($r_{jk}^{(i)} \in R_+$ – неотрицательные числа);
- б) интервальными ($r_{jk}^{(i)} = [a_{jk}^{(i)}, b_{jk}^{(i)}] \in R_+$ – интервалы);
- в) нечеткими числами ($r_{jk}^{(i)} = \{(t, \mu_{jk}^{(i)}(t)) | t \in R_+\}$ – замкнутые выпуклые подмножества на положительной полуоси R_+). Последний случай включает также лингвистические оценки и два предыдущих случая.

Таким образом, результатом элементарной экспертизы является взвешенное бинарное отношение $R^{(i)} = \{(j, k), r_{jk}^{(i)} | j, k \in \Gamma_i\}$ на множестве объектов Γ_i , задающее интенсивности превосходства объектов.

Определение весов дуг иерархии

Результат усреднения парных оценок в i -й элементарной экспертизе – точечное, интервальное или нечеткое отношение $R^{(i)}$ с интенсивностью превосходства используется для определения весов всех дуг $(i, j) \in W$, выходящих из вершины i , с помощью метода анализа нечетких иерархий (МАНИ) [3,4].

Отметим некоторые свойства метода МАНИ, повышающие обоснованность его применения при решении практических задач.

Метод обладает свойствами:

- содержательности, т.е. инвариантности упорядочения объектов к любым допустимым преобразованиям на шкале измерений;
- положительной реакции, т.е. при изменении оценок только между одной парой объектов в пользу одного из них результирующие коэффициенты важности изменяются также в пользу этого объекта.

Определение коэффициентов важности

После обработки результатов элементарных экспертиз определены веса w_j критериев $j \in V_1$ первого уровня иерархии и веса y_{ij} всех дуг $(i, j) \in W$. Далее, для каждой дуги $(i, j) \in W$ определяем знак влияния критерия нижнего уровня на критерий предыдущего уровня, обозначим $s^+(i, j)$ – положительный знак на дуге и, соответственно, $s^-(i, j)$ – отрицательный знак на дуге. Тогда веса y_{ij} всех дуг $(i, j) \in W$ определяются следующим образом:

$$\begin{cases} y_{ij}^{sign} = y_{ij}, s^+(i, j) \\ y_{ij}^{sign} = -y_{ij}, s^-(i, j) \end{cases}$$

Веса критериев нижнего уровня определяются тогда следующим способом: путем рекуррентного сверху вниз пересчета весов критериев, с учетом знаков на дугах иерархии:

$$w_i = \sum_{j \in \Gamma_i^{-1}} y_{ji}^{sign} w_j, i \in V_2,$$

$$\dots\dots\dots$$

$$w_i = \sum_{j \in \Gamma_i^{-1}} y_{ji}^{sign} w_j, i \in V_S,$$

$(\Gamma_i^{-1} = \{j | (j,i) \in E\}), V_1, \dots, V_S$ – уровни в иерархии.

В результате применения методов анализа количественной и качественной информации об интенсивности предпочтений в иерархии получили веса листовых критериев.

8.2.2. Методы и алгоритмы построения и анализа модели нечеткого многокритериального ранжирования альтернатив

Принятие решений как особый вид целенаправленной деятельности заключается в выборе одной или нескольких альтернатив из заданного множества на основе системы предпочтений, характеризующей желательность этих альтернатив для аналитика в рамках данной задачи, то есть в соответствии с зафиксированными им цепью и ограничивающими условиями.

Задачу принятия решений можно формально определить в виде шестерки элементов (Z, Ω, L, E, F, G) .

где Z – постановка задачи (например, выбрать одну наилучшую в некотором смысле альтернативу или упорядочить все множества альтернатив);

Ω – множество допустимых альтернатив;

L – множество критериев оценки степени достижения поставленных целей, $L = \{L^\xi | \xi = \overline{1, \alpha}\}$;

E – множество шкал измерения по критериям, $E = \{E^\xi | \xi = \overline{1, \alpha}\}$;

F – отображение множества допустимых альтернатив в множество критериальных оценок их последствий (исходов);

G – система предпочтений решающего элемента (системного аналитика).

Здесь и далее термин «альтернатива» используется для обозначения рассматриваемых объектов, вариантов, способов действий и т.п., из которых не обязательно должна выбираться только одна альтернатива.

Шкалой E^ξ критерия L^ξ будем называть множество возможных оценок альтернатив с отношением линейного порядка на нем.

В рамках настоящей работы разрабатывается метод, соответствующие алгоритмы и создается на их основе диалоговая система для решения слабо структурированных задач ранжирования альтернатив в условиях нечетких исходных данных.

Процесс решения таких задач включает, как правило, следующие этапы.

1. Структуризация задачи, то есть:
 - определение множества допустимых альтернатив Ω ;
 - выявление критериев L^ξ оценки исходов-последствий принимаемых решений;
 - определение или построение шкал изменения E^ξ по этим критериям;
 - верификация условий независимости критериев (если такие условия накладываются).
2. Разработка модели принятия решения (в данном случае – метода ранжирования многокритериальных альтернатив при нечетких исходных данных).
3. Получение исходных данных.
4. Нахождение и исследование решения задачи.

Для реализации предлагаемой модели разрабатывается диалоговая система ранжирования альтернатив, упрощающая процесс получения экспертных оценок.

Структура исходной информации в многокритериальной задаче выбора вариантов и метод решения задачи

Различный характер исходных данных, используемых в задачах упорядочивания альтернатив (объектов), обуславливает различия в постановках задач по их ранжированию. В данной работе основу исходных данных составляет оценки альтернатив по каждому (из некоторого конечного множества) критерию. Особенности экспертной информации заключаются в том, что от экспертов не требуются точные оценки, оценки альтернатив по каждому критерию могут быть нечеткими и за-

даваться соответствующими распределениями на шкалах критериев, разные эксперты могут оценивать альтернативы по разным критериям.

Обработка такой информации связана с двумя принципиальными вопросами. Во-первых, с определением способа учета многокритериальности. В данном случае вводится понятие обобщенной шкалы измерения, являющейся своего рода сверткой отдельных шкал. Введение такой шкалы допустимо, если используемые для оценки альтернатив критерии не зависимы по ценности. В то же время конкретные значения полезностей различных градаций для построения не требуется. Во-вторых, необходимо определить способ сравнения альтернатив по одному критерию для случая, когда оценки альтернатив являются нечеткими. В качестве такого способа выбрана комбинация метода Жаке-Лагреза и метода аппроксимации нечетких отношений нечеткими обратимыми квазисериями Макеев, Шахнов, [3]]. При этом, после уточнения метода Жаке-Лагреза, его обоснование приводится с иных позиций.

Пусть ранжируемые альтернативы образуют множество $X = \{1, 2, \dots, n\}$ (далее не будем различать альтернативу и ее номер). Каждая альтернатива оценивается по критериям, причем каждый ξ -й критерий задается в порядковой шкале $E^\xi = \{e_k^\xi \mid k = \overline{1, m^\xi}\}$ с дискретными градациями e_k^ξ , m^ξ — число градаций шкалы E^ξ .

Для любой альтернативы $i \in X$ по каждой шкале E^ξ экспертами задаются нечеткие оценки $\gamma^\xi(i)$ в виде распределений $\gamma^\xi(i) = \{P_{i1}^\xi, \dots, P_{ik}^\xi, \dots, P_{im^\xi}^\xi\}$.

Величина P_{ik}^ξ трактуется как достоверность того (степень уверенности в том), что оценка альтернативы i по шкале E^ξ есть e_k^ξ .

Кроме того, эти величины могут также трактоваться как значения функции принадлежности нечеткой оценки $\gamma^\xi(i)$, заданной на базовом множестве E^ξ .

Будем предполагать, что оценки $\gamma^\xi(i)$ являются распределенными величинами, то есть величина $\sum_{k=1}^{m^\xi} P_{ik}^\xi$, не зависит от i и ξ , без огра-

ничения общности будем считать, что $\sum_{k=1}^{m^\xi} P_{ik}^\xi = 1, \forall i \in X, \xi = \overline{1, \alpha}$.

Таким образом, каждая альтернатива i характеризуется α распределенными величинами $\{\gamma^1(i), \gamma^2(i), \dots, \gamma^\alpha(i)\}$.

Естественно, что определенную роль в сравнении альтернатив i и j должны играть не только их оценки $\gamma^\xi(i)$ и $\gamma^\xi(j)$ по всем шкалам E^ξ , но

и относительная важность различных шкал и градаций. В связи с этим будем предполагать, что множество $\{e_k^\xi \mid k = \overline{1, m^\xi}, \xi = \overline{1, \alpha}\}$ градаций всех шкал можно упорядочить, то есть его можно разбить на классы $C_1, \dots, C_m$ равноценных градаций, а сами эти классы строго упорядочить:

$$C_1 > C_2 > \dots > C_m, \quad (1)$$

где $>$ – отношение строгого превосходства.

Таким образом, если градации $e_j^{\xi_1}$ и $e_i^{\xi_2}$ равноценны, то они входят в один и тот же класс C_p , если первая градация предпочтительнее второй, то $e_j^{\xi_1} \in C_q$, $e_i^{\xi_2} \in C_r$ и $q < r$.

Существование такого разбиения на классы можно гарантировать, используя аксиоматический подход, разработанный в теории полезности. Предположим, что критерии, используемые для оценки альтернатив, независимы по ценности, а значит относительная предпочтительность различных градаций шкал E^ξ может быть описана с помощью аддитивной функции полезности:

$$U(e_{k_1}^1, e_{k_1}^2, \dots, e_{k_\alpha}^\alpha) = U_1(e_{k_1}^1) + \dots + U_\alpha(e_{k_\alpha}^\alpha),$$

где $k_\xi \in \{i, \dots, m^\xi\}$ для любого $\xi = \overline{1, \alpha}$.

Из этого предположения следует, что на множестве всех градаций $\{e_k^\xi \mid k = \overline{1, m^\xi}, \xi = \overline{1, \alpha}\}$ можно определить отношение строго превосходства $>_e$:

$$e_s^{\xi'} >_e e_t^{\xi''} \Leftrightarrow U_{\xi'}(e_s^{\xi'}) > U_{\xi''}(e_t^{\xi''}) \quad (2)$$

с помощью которого множество градаций всех шкал разбивается на классы равноценных градаций $C_1, \dots, C_m$, а сами эти классы строго упорядочиваются естественным образом по предпочтительности.

Для определяемых таким образом классов выполняется условия:

$$(e_s^{\xi'}, e_t^{\xi''} \in C_i) \Leftrightarrow (U_{\xi'}(e_s^{\xi'}) = U_{\xi''}(e_t^{\xi''}))$$

$$(e_s^{\xi'} \in C_i, e_t^{\xi''} \in C_j, i(j) \Leftrightarrow (U_{\xi'}(e_s^{\xi'})) > U_{\xi''}(e_t^{\xi''})).$$

Существенным обстоятельством здесь является то, что, вообще говоря, для построения отношения строгого превосходства $>$ при выполнении условия (2) от системного аналитика требуется информация только о разбиении всех градаций $\{e_k^\xi \mid k = \overline{1, m^\xi}, \xi = \overline{1, \alpha}\}$ на классы $C_1, \dots, C_m$; значение функции полезности U при этом не обязательно. Именно эту «упрощенную» информацию и предполагается получить от системного аналитика.

Итак, исходной информацией для ранжирования альтернатив являются: $X = \{1, \dots, n\}$ – множество альтернатив;

$\gamma^\xi(i)$ – нечеткие оценки каждой альтернативы $i \in X$ по каждой шкале E^ξ ;

$C_1, \dots, C_m$ – упорядоченные классы равноценных градаций шкал $E^\xi, \xi = \overline{1, \alpha}$.

Задача ранжирования состоит в построении на основе перечисленной исходной информации такого разбиения множества X на классы $K_1, \dots, K_l$ равноценных альтернатив, что альтернативы из класса K_i строго предпочтительнее альтернатив из классов $K_{i+1}, \dots, K_l$ для любого $i = 1, 2, \dots, l-1$.

Для того, чтобы сформулировать следующие из приведенной постановки частные задачи, обсудим в общих чертах метод предлагаемый для решения сформулированной задачи ранжирования.

Во-первых, в любой задаче принятия решения со многими критериями возникает проблема выбора обобщенного (глобального) критерия, Существует множество методов построения обобщенных критериев.

Заметим только, что во многих практических задачах нет оснований априори считать один критерий более важным, чем другой; в предлагаемом подходе принято, что на системного аналитика возлагается задача построения упорядоченных согласно (3.1) классов равноценных градаций $C_1, \dots, C_m$. Отсюда вытекает первая задача исследования: зная классы $C_1, \dots, C_m$ и их упорядочение (3.1) необходимо определить понятия обобщенной шкалы и предложить способ вычисления оценок каждой альтернативы $i \in X$ на этой шкале (то есть обобщенных оценок $\gamma(i)$) на основе частных оценок $\gamma^\xi(i)$ $\xi = \overline{1, \alpha}$.

Во-вторых, необходимо предложить метод попарного сравнения любых двух альтернатив i и j из множества X на основе знания их обобщенных оценок $\gamma(i)$ и $\gamma(j)$ и определить в результате этого сравнения оценку r_{ij} степени предпочтения альтернативы i перед j .

Проведя такое сравнение для всех пар альтернатив $i, j \in X$ можно построить квадратную $n \times n$ матрицу $R = (r_{ij})$, определяющее некоторое бинарное нечеткое отношение R на X и содержащую в агрегированном виде предпочтения как системного аналитика, так и группы экспертов.

В-третьих, по нечеткому отношению R необходимо проранжировать объекты. Данная задача сводится к задаче аппроксимации R нечеткой обратимой квазисерией.

Таким образом, предлагаемый метод заключается в следующем: на основе перечисленной выше исходной информации построить исходную шкалу, вычислить обобщенные оценки альтернатив, построить на основе этих оценок бинарное нечеткое отношение предпочтения R , а затем найти ближайшую к нему обратимую квазисерию.

8.2.3. Методология построения интегрированной модели слабо структурированной ситуации на основе нечеткой иерархической модели и нечеткого многокритериального ранжирования альтернатив

Принципиальной особенностью процесса выбора решения является использование информации об исходном состоянии факторов. Для этого вводится решающая функция, определенная на множестве возможных значений факторов и отображающая это множество во множество возможных решений. Таким образом, решающая функция это правило, по которому на основании информации об исходных состояниях факторов осуществляется выбор решений. Для выбора решающей функции необходимо ввести критерий эффективности принятия решений (систему предпочтения аналитика) [5]. Из-за неполноты количественной информации о состоянии факторов и показателей вводится система бинарных отношений предпочтения, вводятся порядковые шкалы для качественных критериев. Критерий эффективности соответствует целям, заданным в системе, структуре системы и определен на множестве исходных данных. В иерархической системе имеет место граф системообразующих факторов, согласно которому организуется обмен информацией между уровнями подсистем, предусматривается распределение функций по обработке информации, при этом цели подсистем не противоположны. Таким образом, критерий эффективности является векторным критерием. Разработанные алгоритмы анализа иерархических структур позволяют перейти к скалярным критериям, упорядоченным по важности относительно главной цели, заданной в системе.

Для упорядоченных по важности скалярных критериев разработанными методами многокритериального ранжирования строится обобщенная шкала измерения, являющейся сверткой шкал используемых количественных и качественных критериев. Таким образом, проводится оценка мероприятий (объектов) по интегрированному критерию, с использованием количественных оценок, полученных из информационно-справочной системы, и качественных оценок, полученных от экспертов.

Иерархическая модель представляет собой граф системообразующих факторов, в котором определяются коэффициенты относительной важности всех факторов влияющих на выполнение целевых показателей, лежащих на верхнем уровне. На последнем уровне иерархической модели лежат факторы, являющиеся скалярными критериями, относительная важность которых также оценена для выполнения целевых показателей.

Модель иерархического оценивания описывает ситуацию с точки зрения цели управления ситуацией, степень достижения которой выражается через предпочтения эксперта, в виде коэффициентов важности системообразующих факторов в некоторой шкале.

Необходимо решить задачу построения дискретной шкалы для системообразующих факторов на последнем уровне иерархии, являющихся критериями для многокритериальной оценки заданных в системе альтернатив. Вводимая дискретная шкала для каждого их критериев должна позволять описывать оценки альтернатив по рассматриваемым критериям. Вводимые на дискретной шкале градации должны позволять описывать изменение предпочтений экспертов по мере перемещения от одной градации к другой.

Задача построения шкалы фактора разбивается на две подзадачи:

1. Построение дискретной шкалы принимаемых данным фактором значений (построение дискретной шкалы проводится экспертами, либо осуществляется преобразованием непрерывной шкалы принимаемых фактором значений, см.[6])

2. Отображение построенной шкалы принимаемых значений факторов на отрезок $[0,1]$. Отображение строится таким образом, что каждой градации шкалы ставится в соответствие экспертом некоторое число из отрезка $[0,1]$, означающее степень полезности данной градации для рассматриваемого фактора. «0» – является минимальным значением полезности, «1» – является максимальным значением полезности.

Для каждого фактора нижнего уровня модели иерархического оценивания строится дискретная шкала с содержательно определенными, упорядоченными и пронумерованными в порядке возрастания предпочтительности градациями. Такие шкалы принято называть порядковыми. На построенной шкале фактора с упорядоченными по предпочтительности градациями экспертом строится три класса полезности градаций, т.о., что в первый класс попадают градации для которых полезность с точки зрения эксперта является неудовлетворительной («красная» область шкалы), во второй класс попадают такие градации, что их полезность, с точки зрения эксперта, является приемлемой («желтая» область шкалы), и наконец, в третий класс попадают такие градации, что их полезность является наилучшей («зеленая» область шкалы).

Для ранжирования заданного в системе множества альтернатив, с точки зрения выполнения цели заданной в иерархической модели, необходимо определить значения на построенных шкалах факторов нижнего уровня иерархии для каждой альтернативы из заданного множества альтернатив.

Для интеграции моделей необходимо:

1. определить генеральную цель управления ситуацией;
2. определить иерархическую структуру подцелей генеральной цели;
3. определить факторы, влияющие на реализацию подцелей иерархической структуры;
4. построить дискретные шкалы для факторов нижнего уровня в иерархической модели;
5. для каждой градации на шкалах факторов нижнего уровня построить отображение на шкалу полезности, значения которой лежат на отрезке $[0,1]$;
6. построить обобщенную шкалу полезности, включающую все градации всех факторов нижнего уровня, используя алгоритм, описанный в [7];
7. для каждого фактора нижнего уровня определить области неудовлетворительных, приемлемых и наилучших значений на его шкале.

В предлагаемом методе [8] за счет интеграции модели иерархического оценивания и многокритериального ранжирования каждая альтернатива представляет собой вектор значений на шкалах факторов нижнего уровня иерархической модели.

Описание процесса построения интегрированной модели

Общая схема построения интегрированной модели:

1. Построение нечеткой целевой иерархической модели в виде ориентированного графа G_r без контуров с множеством вершин Z , совпадающим с множеством объектов, и множеством дуг E .

2. Определение шкал факторов нижнего уровня иерархической модели.

3. Построение обобщенной шкалы для шкал факторов нижнего уровня иерархической модели.

4. Анализ и оценивание иерархической модели: т.е. проведение элементарных экспертиз, усреднение экспертных оценок, определение весов дуг в модели по модифицированному методу анализа иерархий, определение коэффициентов важности факторов всех уровней иерархической модели относительно общей цели с учетом знаков влияния на дугах, анализ достоверности полученных весов.

5. Для каждой альтернативы из заданного множества альтернатив определение значений на построенных шкалах факторов нижнего уровня иерархии.

Заключение

Построенная интегрированная модель позволяет проводить оценивание заранее заданных альтернативных вариантов решения как с точки зрения оценок альтернатив по критериям, так и с точки зрения заданной в иерархической модели системы целей. Используемые алгоритмы нечеткого оценивания в иерархической модели и при многокритериальном ранжировании позволяют анализировать неопределенность, возникающую в результате экспертного оценивания. Также, в рассматриваемой модели есть возможность согласовывать групповые экспертные оценки в соответствии с заданными весовыми коэффициентами компетентности экспертов. В интегрированной модели альтернативный вариант решения представляется в виде вектора значений факторов нижнего уровня иерархии. Т.к. каждое значение на шкалах факторов нижнего уровня относится к одной из областей (неудовлетворительной, приемлемой или наилучшей), то ЛПР имеет возможность проанализировать принимаемые факторами значения полезности для каждой альтернативы. Данная модель приме-

нима для поддержки принятия решений в слабоструктурированной предметной области с заранее заданным множеством альтернативных вариантов решений. На основе построенной модели создан макет системы поддержки принятия решений, реализующий методы и алгоритмы анализа нечетких иерархических структур, построение шкал для факторов нижнего уровня иерархии, а также многокритериальное ранжирование заданных альтернатив с использованием весов факторов нижнего уровня иерархии и построенных шкал.

Список литературы

1. *Аверкин А.Н., Кузнецов О.П., Кулинич А.А., Титова Н.В.* «Поддержка принятия решений в слабоструктурированных предметных областях: анализ ситуаций и оценка альтернатив». М.: Теория и системы управления. Известия РАН. 3. 2006. С. 139–149.
2. *Ларичев О.И., Мошкович Е.М.* Качественные методы принятия решений. М.: Наука, 1996.
3. *Макеев С.П., Шахнов И.Ф.* «Упорядочение объектов в иерархических системах» // Известия АН СССР, Техническая кибернетика. 1991. № 3. С. 29–46.
4. *Макеев С.П., Серов Г.П., Шахнов И.Ф., Чуйкин С.И.* «Ранжирование распределенных величин на основе нечетких квазисерий», Сообщения по прикладной математике. М.: ВЦ АН СССР, 1986.
5. *Averkin A., Agrafonova T., Titova N.* «Synthesis of distributed fuzzy hierarchical model in decision support systems in fuzzy environment», EUSFLAT, Ostrava, 2007, Proceedings. С. 428–423.
6. *Шахнов И., Яковлев Е.* «Построение и использование дискретных шкал при многокритериальном анализе нечетких альтернатив», Москва, ВЦ РАН, 2007, Моделирование, декомпозиция и оптимизация сложных динамических процессов. С. 86–110.
7. *Шахнов И., Яковлев Е.* «Построение обобщенной шкалы при многокритериальном ранжировании альтернатив». Москва, ВЦ РАН, 2006. Моделирование, декомпозиция и оптимизация сложных динамических процессов. С. 58–74.
8. *Аграфонова Т., Титова Н.* Использование гибридных моделей представления знаний в СППР. Труды Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM. СПб., 2006. Т. 2. С. 113–115.

8.3. Принятие решений в когнитивной экономике

8.3.1. Структура проблемной области

Когнитивная экономика является одним из перспективных направлений развития экономики и прикладной когнитивной науки [1]. Предметом когнитивной экономики является изучение процессов оценки, выбора и принятия решений человеком в экономической деятельности и объяснение природы эволюции организаций и социальных институтов в условиях структурной неопределенности. Подобно психологии, нейробиологии и философии, когнитивная экономика опирается на понимание умственной активности человека и разрабатывает свои модели в связи с этими науками и их прогрессом.

Структурно, методологически и технологически когнитивная экономика связана с методами искусственного интеллекта и управления знаниями в экономике. Сама по себе когнитивная экономика, как сфера исследований и человеческой деятельности, включает в себя три основные области. Объединение этих областей, представленное на рисунке 1, назовем «когнитивной экономикой в широком смысле», так как термин «когнитивная экономика» имеет несколько различных смыслов, и термин является объединяющим для наиболее известных его интерпретаций.

Область *интеллектуальных (когнитивных) систем в экономике* связана с использованием в экономике, производственной сфере и бизнесе методов и моделей искусственного интеллекта, ИИС, СППР, интеллектуальной обработки данных и т.д. [2]. Важным аспектом поддержки управленческих решений в экономике является развитие методов экономического моделирования, основанных на знаниях и моделях когнитивной бизнес-аналитики [3].

Среди примеров применения когнитивных методов *в прикладных интеллектуальных системах* в экономике следует отметить интеллектуальные системы планирования производств, динамические экспертные системы диспетчерского управления предприятием, финансовый анализ и планирование с помощью нейронных сетей и эволюционных алгоритмов, интеллектуальные системы управления инвестиционным портфелем и риск-менеджмента [4].

Область *управление знаниями в экономике* – ключевой элемент экономики знаний, или «новой экономики». Кроме собственно управления, область тесно связана с инновационной экономикой, интеллектуальным

капиталом, со знаниями, как экономической категорией, управлением изменениями, реинжинирингом и т.д., то есть со всем, что связано с экономическими знаниями в широком смысле [5]. Основными социальными положениями «новой экономики» являются такие понятия как важность интеллектуального капитала, создание информационного общества, новые формы ведения бизнеса на основе сетевых технологий, интенсивное развитие электронного бизнеса и электронной коммерции, развитие инновационных ресурсосберегающих технологий и альтернативных, экологически чистых источников энергии и так далее. На первый план выходят проблемы инновационного развития экономики и социума на основе прогнозирования тенденций в экономике, обществе, технологической сфере и цивилизации в целом.



Рис. 1. Когнитивная экономика в широком смысле

Область *когнитивной экономики (в узком смысле)*, которую мы в дальнейшем будем называть просто когнитивной экономикой, основана на применении когнитивной науки к экономике и изучает модели принятия экономических решений в сознании человека. Когнитив-

ная экономика – раздел гетеродоксальной экономической теории, имеющий дело с экспериментальным анализом того, как собственно человек принимает экономические решения и зачастую опровергающий классическую теорию, основанную на рациональном выборе с полной информацией. Сюда относятся собственно сама когнитивная экономика, экспериментальная и поведенческая экономики. В этой области в научных исследованиях используются методы нейрофизиологии, психологии, лингвистики, антропологии, а также весь аппарат современных компьютерных наук вплоть до робототехники и моделирования мозга на суперкомпьютере. Все эти направления, так или иначе, связаны с представлением знаний в мозгу человека.

Новые направления в когнитивной экономике в широком смысле возникают в зонах пересечения трех рассмотренных областей. На пересечении *областей интеллектуальных систем в экономике и области управления знаниями в экономике* (зона 1) лежат бизнес-аналитика, data mining, business intelligence. Эта зона связана с созданием систем поддержки принятия решений и обработки данных для инновационных бизнес-процессов.

На пересечение *областей интеллектуальных систем в экономике и когнитивной экономики (в узком смысле)* (зона 2) лежат гибридные интеллектуальные системы с настройкой на сознание и логику эксперта. Они состоят из когнитивной и аналитической части, причем нижний уровень – когнитивный, предоставляет информацию для обработки верхним, аналитическим, уровнем.

На пересечении *областей управления знаниями в экономике и когнитивной экономики (в узком смысле)* (зона 3) находятся такие направления, как прямое использование когнитивных методов в бизнес процессах, например, когнитивный маркетинг.

На пересечении *областей управления знаниями в экономике, когнитивной экономики (в узком смысле) и интеллектуальных систем в экономике* (зона 4) лежат системы бизнес-аналитики для экономики знаний на основе интеллектуальных систем поддержки принятия решений, использующие когнитивные методы анализа сознания людей, вовлеченных в эти процессы, а также тестирование качества ЛПР по их мозговой активности, для параметрической настройки интеллектуальных систем поддержки принятия решений. С этой областью также связаны работы по интеграции моделей прогноза и оценивания неструктурированных ситуаций на основе подходов когнитивного моделирования.

Работы в этих областях ведутся на кафедре когнитивной экономики факультета информатики РЭА, в том числе в рамках научного сотрудничества с когнитивной лабораторией Высшей школы информатики Киотского Университета (Япония). Такие модели охватывают все этапы процесса поддержки принятия решений (от анализа ситуации до выбора лучшей альтернативы) и предназначены для поддержки деятельности аналитиков в условиях неопределенности. Они ориентированы на моделирование знаний эксперта о ситуации в аспекте его представлений и предпочтений относительно цели управления и динамических свойств ситуации [6-8].

Предложенная систематизация может явиться основой для создания ряда перспективных гибридных научных направлений на стыках областей управления знаниями в экономике, когнитивной экономики (в узком смысле), интеллектуальных систем и когнитивного моделирования [9].

8.3.2. Интеллектуальные системы в экономике

Область интеллектуальных систем в экономике связана с использованием в экономике моделей представления знаний, т.е. с моделями представления знаний в искусственном интеллекте, ИИС, СППР, интеллектуальной обработке данных, мягких вычислениях, когнитивной информатике, когнитивном моделировании и т.д., т.е. знаниями,

И поскольку модель в некоторой форме отражает реально протекающие процессы, возникает проблема ее адекватности. Традиционные детерминированные и стохастические модели не позволяют эффективно решать проблемы адекватности и учета трудно формализуемых факторов и рисков. Поэтому в настоящее время все большее распространение получают лингвистические и когнитивные модели, в частности, нечеткие и нейронные модели, а также модели искусственного интеллекта с использованием эвристик и знаний менеджера высокой квалификации – эксперта. Эксперт ведет систематический поиск информации и создает базу знаний, которая формируется на основе информации и знаний об изменениях рыночной ситуации и среды функционирования.

Понимание этого факта привело к развитию специализированных программных систем – интеллектуальных систем. Подклассом таких систем являются экспертные системы (ЭС), каждая из которых является экспертом в некоторой достаточно узкой предметной области. С помощью интеллектуальных систем решаются задачи, относящиеся к классу неформализованных. При этом на основе базы знаний автома-

тически определяются не только факты, но генерируются новые знания путем логического вывода. ЭС часто используются как советчики в системах управления и поддержки решений и в качестве консультантов в гуманитарных и политологических системах.

На современном этапе развития интеллектуальных информационных технологий и информатизации в сфере экономики и бизнеса также важной проблемой является разработка адекватных моделей проблемных сред для систем поддержки решений в сложных экономических системах в условиях неопределенности: нечеткая логика, нейронные сети, генетические алгоритмы и генетическое программирование, эволюционное программирование и эволюционные стратегии, искусственные иммунные системы, системы с нелинейной динамикой, с хаотическим поведением, фрактальные системы, мягкие измерения, вычисления, прогнозирование и вывод в условиях неопределенности на основе байесовского подхода.

Большое значение приобретает анализ проблемных областей, в которых интеграция интеллектуальных технологий и информационных систем принесла бы ощутимый эффект. Наиболее перспективными областями экономики и бизнеса, где когнитивные и интеллектуальные технологии наиболее эффективны, являются: управление производством; производственное и внутрифирменное планирование; управление маркетингом и сбытом; финансовый менеджмент; риск-менеджмент; банковская сфера; торговля; фондовый рынок.

Основным типом интеллектуальных систем, используемых в экономике, являются экспертные системы, ERP и data mining. Множество предприятий устанавливают ЭС для решения задач в таких областях, как: торги на фондовой бирже, автоматическое понимание новостей, кредитный анализ, управление рисками, построение портфелей кредитов и инвестиций, оценка рейтинга банков, автоматизация аудита, предсказание изменений на финансовом рынке и т.д.

Разработчики систем искусственного интеллекта и интеллектуальных систем ставят своей задачей изменения традиционных подходов к системе взаимодействия человека и компьютера при решении задач принятия решений. Среди них можно отметить следующие: повышение удобства и комфорта пользователя, увеличение продуктивности таких систем за счет использования когнитивных методов, повышение эффективности менеджмента глобальными информационными ресурсами и базами знаний корпорации при принятии эффективных реше-

ний, использование развитых сетевых технологий и новых форм ведения электронного бизнеса. Таким образом, речь идет о переосмыслении всей технологии обработки, хранения и представления информации пользователю с позиций новой информационной технологии.

Важным аспектом поддержки управленческих решений в экономике является развитие методов экономических моделей, основанные на знаниях и моделей когнитивной бизнес-аналитики и *bussiness intelligence*. Особую роль в интеллектуальных системах в экономике играют гибридные интеллектуальные модели, лежащие на стыке с системами *data mining*, и отражающие двойственную логико-гештальтную природу и разную степень когнитивности соответствующих процессов у человека. Примером таких гибридов являются нейро-нечеткие модели, способные извлекать из данных о некотором процессе знания в виде продукционных правил

В настоящее время в отделе интеллектуальных систем ФИЦ ИУ РАН [1, 9, 10–12] ведутся работы по интеграции моделей прогноза и оценивания неструктурированных ситуаций на основе подходов когнитивного моделирования и иерархического оценивания.

Такие модели охватывают все этапы процесса поддержки принятия решений (от анализа ситуации до выбора лучшей альтернативы), предназначены для поддержки деятельности аналитиков в условиях неопределенности, ориентированы на моделирование знаний эксперта о ситуации в аспекте его представлений и предпочтений относительно цели управления и относительно динамических свойств ситуации.

Для принятия решений в плохо определенных динамических ситуациях используются динамические модели, также основанные на знаниях эксперта. В настоящее время существуют методологии извлечения из эксперта знаний о динамических свойствах ситуаций (причинно-следственные отношения). Для фиксации этих знаний используется модель представления знаний в виде так называемой когнитивной карты – динамической модели, основанной на знаниях человека об экономических, политических или социальных процессах, происходящих в реальности.

Для принятия решений в статических ситуациях разработаны методы и модели поддержки принятия решений, основанные на теории выбора. Их смысл заключается в упорядочивании множества возможных вариантов решения задачи (альтернатив), предложенных человеком и выбора лучшей альтернативы с использованием его субъектив-

ной функции полезности. Эти методы обеспечивают поддержку принятия решений на разных этапах процесса и дополняют друг друга.

Методология когнитивного моделирования и анализа отражает знания субъекта о законах ее развития, а модель представляется в виде нечеткого орграфа, в котором вершины – это факторы ситуации, а взвешенные дуги – причинно-следственные отношения, вес которых отражает силу влияния факторов ситуации. Для каждого фактора ситуации определена шкала – упорядоченное множество лингвистических или числовых значений. В модели иерархического оценивания цель управления, сформулированная в самом общем виде, представляется в виде иерархической структуры – дерева критериев, в котором цель управления декомпозируется на подкритерии. Для интеграции этих моделей ситуации необходимо, во-первых, обеспечить пересечение факторов ситуации, описываемой в каждой из перечисленных моделей и, во-вторых, обеспечить отображение значений факторов ситуации, полученной в когнитивной модели в значения листовых критериев модели оценивания [10–12].

8.3.3. Управление знаниями

Концепция *управление знаниями* тесно связана с *экономикой знаний*, новой экономикой, инновационной экономикой, обучаемыми организациями, интеллектуальным капиталом, управлением изменениями и реинжинирингом бизнес-процессов. Никакие ограничения на формализацию этих знаний не накладывается и диапазон их представлений необычайно широк – от знаний в широком смысле (как совокупности понятий, теоретических построений и представлений) до знаний в узком смысле (ограниченного объема информации, направленного решения конкретной задачи. Некоторые ученые и практики, формулируя определение понятия «знания», подчеркивают, что знания являются результатом мыслительной деятельности и существуют только в «головах людей». И любая форма представления знаний (твердая копия, магнитный носитель, человек) лишь определенных условиях может стать знаниями в голове «получателя» этой информации. Мы видим тут принципиальное отличие от применения понятия знания в системах искусственного интеллекта и в информационных технологиях. Важнейшей частью управления знаниями выступают технологии распространения, адаптации, конвертации и использования неявных знаний, которые тесно переплетены с эмоциями, принципами, приверженностью и др. [14].

Экономика знаний как научная дисциплина изучает под определенным (когнитивным) углом зрения все уровни и подразделения народного хозяйства. В настоящее время наиболее активно в теоретическом плане развивается макроэкономика знаний, главным образом в аспекте взаимоотношений роста объема знаний в экономике и макроэкономического роста, а в прикладном – управление знаниями на уровне фирмы.

Пересечение областей ИСЭ и УЗ (зона 1 на рис. 1) включает в себя инструментальное направление теории управления знаниями, связанное с созданием и применением компьютерных средств хранения, накопления и трансформации знаний, которое возникло в результате развития корпоративных компьютерных систем искусственного интеллекта, предметно- и проблемно-ориентированных экспертных систем и привело к оформлению научно-прикладной дисциплины управление знаниями.

Инструментальные системы управления знаниями являются основой для поддержки принятия решений на основе систем управления знаниями и включают в себя источники данных; качество данных; хранилища данных; поиск и интеллектуальный анализ данных; оперативную аналитическую обработку данных (OLAP), поиск, открытие и анализ знаний; управление знаниями; корпоративные базы знаний и организационное обучение, изучение эволюции инфраструктуры, анализ, проектирование и развитие систем управления знаниями, соотнесение стратегии бизнеса с управлением знаниями, технологические компоненты архитектуры системы управления знаниями, аудит и анализ знаний.

8.3.4. Когнитивная экономика

Когнитивная экономика – комплекс методов когнитивной науки, применимых в экономической науке. Основными проблемами когнитивной экономики стали индивидуальная и коллективная рациональность, когнитивные модели и институты, социальный капитал, доверие и социальные сети, непрерывное повышение компетенций и обучение, ценности и институциональные изменения. Когнитивная экономика является одной из основополагающих концепций современного социально-экономического развития.

Основные направления развития современной когнитивной экономики достаточно широко освещены в англоязычной литературе [15–17]. Активно разработкой данного направления занимается итальянская школа: примерно половина работ по данной тематике являются перево-

дами с итальянского языка [18, 19]. Особо стоит отметить работу [16], которая является первым фундаментальным трудом, посвященным данному направлению, и содержит структурированное описание основных течений в когнитивной экономике (книга состоит из четырех частей, каждая из которых посвящена одному из направлений).

В течение последних 50 лет экономическая наука столкнулась с критикой в двух основных направлениях, на которых она базировалась, а именно с критикой понятия человеческой рациональности и понятия коллективного равновесия. С одной стороны, поведение человека слишком идеализируется, так как основывается на понятии рационализма, не описывая соответствующих ментальных процессов, лежащих в его основе. С другой стороны, коллективное равновесие кажется величиной мнимой, так как гласит, что индивиды координируют свои действия в некоем равновесии, не указывая, однако, каким образом это равновесие достигается. В ответ на эту критику, совместно были разработаны две исследовательские программы, привнесшие в экономические модели два дополнительных измерения индивидуальных человеческих сущностей: ментальное и временное [15].

Эпистемическая (термин эпистемический (epistemic) обозначает «относящийся к знаниям или включающий процесс познания») программа делает упор на когнитивных достижениях индивида, как на основном факторе, объясняющем его поведение, и, соответственно, на экономических феноменах, основывающихся на этих предположениях. Каждый индивид наделен набором собственных «верований» или «знаний» об окружающем мире, которые выступают в качестве посредников между информацией, которую он получает и его ожиданиями. Коллективно, все индивиды объединены в информационную «сеть», структурирующую их постоянные отношения, которая выступает порой как поддержка для их материальных ожиданий, но чаще как средство для обмена информацией. В то же время «эволюционистская программа» делала упор на динамическое обучение индивидов как на важный компонент их взаимодействия и, соответственно, на экономические изменения, вытекающие из него. Каждый индивид делает собственные «умозаключения», модифицирующие его внутренние убеждения, которые действуют в качестве посредника между его предположениями и действиями, которые он собирается сделать. Коллективно, все индивиды подвержены адаптивным процессам, обуславливаемым их окру-

жением, которые позволяют им развиваться совместно и могут глобально порождать некоторые новые структуры.

В последнее время, с развитием «когнитивного веяния», оказавшего влияние на все социальные науки, эти две программы объединились в одно направление, названное когнитивной экономикой. Это новое совместное направление включает как ментальную, так и динамическую точку зрения на вопрос.

Традиционное понятие «экономический человек» («*homo economicus*») было заменено на «человек мыслящий/адаптирующийся» («*homo cogitans /adaptans*»), для которого рекуррентное течение времени может заменять его ограниченные познавательные возможности. Традиционное «состояние равновесия» было заменено на «самоорганизующиеся механизмы» («*self-organizing mechanisms*»). Таким образом, когнитивная экономика может быть определена как изучение принципов умозаключений и адаптационных процессов, происходящих с экономическими индивидами и интерактивной и динамической среде.

Совмещение эпистемического и эволюционистского подходов ведет, в сущности, к взаимосвязанному развитию как индивидуально-го поведения, так и коллективной координации. Они работают как заместители при принятии индивидом решений в условиях нехватки времени и др. подобных случаях, и как взаимодополняющие друг друга механизмы при использовании индивидом более сознательных механизмов принятия решений. Адам Смит, «официальный основатель» экономики сравнивал поведение индивида в процессе получения материальных благ и в процессе получения знаний, и многие другие экономисты делали ударение на когнитивные основы экономики и экономические ограничения в познании.

С одной стороны, когнитивные принципы были достаточно быстро применены к основным экономическим сущностям для объяснения феноменов, для которых они являются значимыми факторами. Например, Д.М. Кейнс подчеркивал влияние дифференцированной информации и степени анализа предпочтений и их устойчивости для условных значений на случай возникновения неопределенности. Ф. фон Хайек привлек внимание к распределенным характеристикам ценовых сигналов при обмене на рынках и к влиянию эволюционных процессов на эмерджентных рынках. Т. Шеллинг подчеркивал важность учета пересекающихся предпочтений между игроками в стратегическом контексте, а Р. Ауманн делал ударение на координационной

роли, играемой этими предпочтениями при существовании и выборе в состоянии равновесия.

В другом направлении, экономические принципы применялись к познавательным способностям индивида, рассматривая последние в качестве редких ресурсов для демонстрации способов эффективного управления. Например, Маршалл предполагал, что фирмы должны использовать определенные производственные процессы, постепенно адаптируемые с течением времени для экономного использования других когнитивных ресурсов. Г. Саймон анализирует внутренние когнитивные ограничения, с которыми сталкивается индивид при сборе и обработке информации, и приложения его ограниченной рациональности к планированию в мультиагентных организациях [21]. Р. Стиглер изучал проблему восприятия информации из внешних источников в терминах обмена между ее стоимостью и ожидаемой полезностью. Дж. Мат изучал проблему оптимального использования информации при формировании ожиданий.

Когнитивная экономика может быть применена на нескольких уровнях обобщения, обычно упоминаемых в экономической литературе, а именно на уровне как абстракции (к примеру, в теории игр), так и конкретики (применительно к биржевым операциям). Она смягчает и обогащает взгляд на традиционную экономическую теорию, разделяемую остальными социальными науками. Более того, эмпирическое измерение познания растет одновременно с быстрым развитием экспериментальной теории игр и «экономики знаний» [17].

С когнитивной экономикой (в узком смысле) тесно связаны следующие основные области гетеродоксальной экономики:

Поведенческая экономика – применение психологических методов к экономическим задачам. Она повышает объяснительную способность традиционной теории за счет обеспечения более реалистичного психологического основания исходных предпосылок анализа последней (отличительные черты модели «экономического человека», представление о его рациональности, движущих мотивах деятельности, способах координации и так далее). Другими словами, в основе своей поведенческая экономика исходит из убеждения, что, увеличивая реализм психологических оснований экономического анализа как такового, мы тем самым будем повышать качество экономической теории в ее же собственных границах. Данный процесс будет способствовать появлению различных теоретических конструкций, которые

в свою очередь будут генерировать лучшие предсказания наблюдаемых явлений, феноменов и предлагать объяснения, практические рекомендации, наиболее подходящие в каждом конкретном случае [21].



Рис. 2. Основные дисциплины, связанные входящие с когнитивной экономикой

Д. Канеман – один из основоположников психологической (поведенческой) экономической теории, лауреат Нобелевской премии по экономике 2002 «за применение психологической методике в экономической науке, в особенности – при исследовании формирования суждений и принятия решений в условиях неопределенности». Главный объект исследований Д. Канемана – это механизмы принятия человеком решений в ситуации неопределенности. Он доказал, что принимаемые людьми решения существенно отклоняются от того, что предписано стандартной моделью «экономического человека». Критикой этой модели занимались и до Д. Канемана (можно вспомнить, например, нобелевских лауреатов Г. Саймона и М. Алле), но именно он и его коллеги впервые начали систематически изучать психологию принятия решений. В 1979 появилась знаменитая статья «Теория перспектив: анализ принятия решений в условиях риска», написанная Д. Канеманом в соав-

торстве с профессором психологии А. Тверски (Стенфордский университет). Авторы этой статьи, положившей начало так называемой поведенческой экономике (behavioral economics), представили результаты огромного количества опытов, в ходе которых людям предлагалось совершать выбор между различными альтернативами. Эти эксперименты доказали, что люди не могут рационально оценивать ни величины ожидаемых выгод или потерь, ни их вероятности.

Цель, которую преследуют сторонники поведенческой экономической теории, выдвигая и обосновывая новые теоретические конструкции, состоит в значительном улучшении предсказательных возможностей традиционных моделей и концепций. Это, в свою очередь, способствует уменьшению разрыва между нормативным исследованием поведения индивида и позитивным, дескриптивным подходом, который акцентирует внимание именно на выявлении реальных фактов и закономерностей, присущих людям в процессе принятия решений, и их последующем объяснении путем изменения, модификации ортодоксальной теории.

Основные области экономического анализа, для которых в русле поведенческой экономической теории были разработаны альтернативные концепции: 1) выбор в условиях риска и неопределенности; 2) межвременной выбор; 3) поведенческая теория игр.

Выбор в условиях риска и неопределенности: теория Перспектив (Prospect theory) Д. Канемана и А. Тверски. Классической работой в данной области принято считать статью «Теория Перспектив: анализ принятия решений в условиях риска», опубликованную в журнале «Эконометрика» в 1979 году [22]. Данная работа является наиболее цитируемой в современной экономической литературе, касающейся вопросов принятия решений в условиях риска и неопределенности. В 1992 году ученые опубликовали еще одну статью «Достижения в теории Перспектив: обобщенное представление неопределенности», в которой они обобщили результаты предыдущих многолетних исследований в данной сфере, в частности на область принятия решений в условиях неопределенности, и представили аксиоматическую трактовку теории [23].

Межвременной выбор. Теория межвременного выбора всегда привлекала к себе пристальное внимание со стороны экономистов. На то были и остаются серьезные основания. Решения, принимаемые индивидами и включающие в себя соизмерение понесенных издержек и

получаемых выгод, которые относились бы к различным периодам времени, являются центральными в области исследования сбережений и инвестиций, потребительского поведения, а в конечном счете проблем, связанных с общественным благосостоянием той или иной нации. Поэтому вовсе не случайно, что великие экономисты прошлого (И. Фишер, П. Самуэльсон, и многие другие) уделяли серьезное внимание проблеме теоретического анализа факторов, влияющих на поведение экономических субъектов в ситуациях принятия решений, когда последствия, а точнее, результаты действий становятся известными спустя определенное время. Теоретической основой для последующих более чем полувековых исследований в этой области стала модель дисконтированной полезности (далее МДП), предложенная ее автором П. Самуэльсоном в 1937 году и получившая со временем аксиоматическую трактовку в работах Т. Купманса. Модель определяет межвременные предпочтения лица, принимающего решение, между различными конфигурациями потребительских планов. С течением времени МДП нашла применение в таких разнообразных разделах экономики, как теория сбережений, предложение труда, оценка инвестиционных проектов с точки зрения рисков и доходов, поведение индивидов, касающееся образования и преступности. Данная модель обеспечила простую и в то же время мощную аналитическую схему для рассмотрения широкого спектра хозяйственных решений, последствия которых не известны в момент совершения действий [24].

Поведенческая теория игр. Использование математического аппарата теории игр в области экономической науки во второй половине прошлого столетия оказалось чрезвычайно плодотворным. В наибольшей степени это проявилось в тех разделах, объектом рассмотрения которых является стратегическое взаимодействие экономических агентов между собой (индивидов, фирм, государств) в различных условиях и стремление наиболее оптимальным образом разрешить возникшую конфликтную ситуацию. Предложенные формальные концепции анализа (равновесие Нэша, вектор Л.Шэпли, процедура трассирования Дж. Харшаньи – Р. Зельтена и другие) получили широкое применение в качестве теорий как объясняющих реальное поведение участников, так и способных предсказывать определенные последствия [25].

Экспериментальная экономика – развивающееся направление в экономике и бизнес – администрировании. Оно предоставляет сред-

ства тестирования различных теоретических предсказаний, исследования поведения человека в специфическом экономическом окружении в различных условиях, планировать создание учреждений и давать консультации по стратегии поведения. Ученые все большее внимание уделяют экспериментальному изучению распределенных коллективных когнитивных процессов, знаний и представлений. Американский экономист В. Смит получил Нобелевскую премию по экономике в 2002 году за лабораторные эксперименты, как средство в эмпирическом экономическом анализе, в особенности в анализе альтернативных рыночных механизмов.

Экономическая психология – отрасль психологии, изучающая психологические явления и процессы, связанные с производственными отношениями; и решающая задачи повышения эффективности экономической деятельности людей психологическими методами.

Предметом экономической психологии является, прежде всего, *экономическое сознание*, понимаемое как высший уровень психического отражения экономических отношений общественно развитым человеком. Составной частью предмета являются *экономическое мышление, экономическое самосознание и экономическое поведение* участников рыночных отношений. Экономическая психология *взаимодействует* с общей, социальной, возрастной, экспериментальной, юридической психологией, а также с психологией менеджмента, маркетинга и рекламы.

Нейроэкономика – новое научное направление, использующее методы исследования, основанные на достижениях современной нейроанатомии и приложений психологии, тем или иным образом применимым к экономике. Нейронаука использует визуализацию мозговой деятельности и другие техники измерений для того, чтобы делать выводы о том, как функционирует мозг и использовать результаты наблюдений для расширения существующих экономических дисциплин и формирования новых направлений, таких как нейромаркетинг [24–26].

Существует четыре основных метода визуализации процессов головного мозга: электроэнцефалограмма, позитронно-эмиссионная томография, магнитно-резонансная томография, функциональная магнитно-резонансная томография. Сочетание этих методов и их использование наряду с традиционными методиками (например, измерение биометрических параметров) позволяет составить подробную карту зон активации головного мозга в процессе принятия решений.

Результаты нейронауки заинтересовали экономистов. Они стали использовать методы и средства нейронауки, чтобы заглянуть в «черный ящик» мозга уже со своими вопросами. Им, прежде всего, хотелось бы глубже понять механизмы принятия решений и экономического поведения людей. Картины активации специализированных зон мозга в конкретных ситуациях принятия решений позволяют, например, объяснить отклонения их выбора от рациональной модели. Эти и другие аспекты обозначили новую область исследований – нейроэкономику. Цель нейроэкономики – создать базис для экономической теории, который бы детально объяснял принципы работы человеческого мозга в процессе принятия решений, стратегическом планировании и т.д.

В экономической и финансовой теории психологические характеристики индивида описываются поведенческими параметрами модели (например, эластичностью отношения к риску и нормой временного дисконта). Они обычно считаются постоянными, но вполне возможны обобщения, когда они подвержены случайным внешним воздействиям. Индивидуальные поведенческие характеристики действительно непостоянны, но зависят от ситуаций выбора. Обсуждаемые далее примеры нормального или «аномального» поведения иллюстрируют такие зависимости. Понимание механизмов принятия решений и принципов взаимодействия разных систем в данном процессе, позволяет строить прогнозы поведения человека (и отличия в поведении разных людей) при принятии решений в области экономики.

Список литературы

1. Абдикеев Н.М., Аверкин А.Н. Когнитивная экономика: теория и практика // I Международная научно-практическая конференция «Инновационное развитие российской экономики». М.: Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 2008. С. 11–13.
2. Алиев Р.А., Абдикеев Н.М. и др. Производственные системы с искусственным интеллектом. М.: Радио и связь, 1990.
3. Абдикеев Н.М., Аверкин А.Н. и др. Когнитивная бизнес-аналитика / под ред. Н.М. Абдикеева. М.: ИНФРА-М, 2009.
4. Абдикеев Н.М. Проектирование интеллектуальных систем в экономике. М.: Экзамен, 2004.

5. Абдикиев Н.М., Киселев А.Д. Управление знаниями корпорации и реинжиниринг бизнеса. М.: ИНФРА-М, 2009.

6. *Abdikeev N., Tarasenko S.* Cognitive Decision Support System architecture // Cognitive Modeling in Linguistics – The VIII International Conference, Varna, Bulgaria.- Proceedings, September 4-11, 2005.

7. *Tarasenko S., Inui T., Abdikeev N.* The Golden Ratio characteristics of decision-making without prior information // The 5th Conference Japanese Society for Cognitive Psychology, Kyoto, Japan. Proceedings, 2007.

8. *Tarasenko S., Inui T., Abdikeev N.* Sub-functions of human Learning process during a sequential task // CogSci 2008 – The 30th Annual Conference of the Cognitive Science Society, Washington, D.C., USA. Proceedings, July, 2008.

9. Абдикиев Н.М., Аверкин А.Н., Ефремова. Когнитивная экономика: инновационный подход // II Международная научно-практическая конференция «Инновационное развитие российской экономики». М.: Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 2009.

10. Аверкин А.Н., Титова Н., Черемисина Е. Модели представления знаний в системах поддержки принятия управленческих решений в слабо структурированной предметной области (в природопользовании) // Вестник РАЕН. 2005.

11. Аверкин А.Н., Кузнецов О.П., Кулинич А.А., Титова Н.В. Поддержка принятия решений в слабо структурированных предметных областях: анализ ситуаций и оценка альтернатив // Теория и системы управления. Известия РАН. 3. 2006.

12. Аверкин А.Н., Аграфонова Т.В., Титова Н.В. Гибридные системы поддержки принятия решений в сложноструктурируемых областях – Учреждение российской академии наук, Вычислительный центр им. А.А. Дородницына. Сообщения по прикладной математике, 2009. 90 с.

13. Гапоненко А.Л. Управление знаниями. М.: ИПК госслужбы, 2001.

14. *Topol, Richard, Walliser, Bernard.* Contributions to economic analysis. Elsevier Science, 2007.

15. *Walliser, Bernard.* Cognitive Economics. Springer, 2008.

16. *Ross Don.* Economic Theory and Cognitive Science: Microexplanation. The MIT Press, 2005.

17. *Dimitri N., Basili M., Gilboa I.* Cognitive processes and economic Behaviour, Routledge, 2003.

18. *Salvatore Rizzello*. Cognitive Developments in Economics, Routledge, 2003. 416 p.

19. *Simon Herbert A.* Administrative Behavior Third Edition. New York: The Free Press. 197 p.

20. *Loewenstein G.* Exotic Preferences: Behavioural Economics and Human Motivation. Oxford University Press, 2008.

21. *Kahneman D., Tversky A.* (1979) Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*. 47. Pp. 313–327.

22. *Tversky A., Kahneman D.* (1992) Advances in prospect theory: cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*. 5. Pp. 297–322.

23. *Павлов И.А.* Поведенческая экономическая теория – позитивный подход к исследованию человеческого поведения. М.: ИЭ РАН, 2007.

24. *Camerer Colin F, Loewenstein G., Prelec D.*, 2005. «Neuroeconomics: How Neuroscience Can Inform Economics». *Journal of Economic Literature*, Vol. XLIII (March 2005). Pp. 9–64.

25. *Camerer Colin F.*, 2006. «Neuroeconomics: Using neuroscience to make economic predictions» Hahn Lecture, Royal Economic Society, Nottingham UK, April 20. 2.

26. *Alan G. Sanfey, George Loewenstein, Samuel M. McClure and Jonathan D. Cohen* Neuroeconomics: cross-current in research on decision-making // *Trends in Cognitive Sciences* Vol. 10. № 3. March 2006. Pp. 108–116.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

З.И. Абдулаева – к.э.н., доцент кафедры медицинской информатики и физики Северо-западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова.

А.А. Аверкин

Е.С. Волкова – к.ф.-м.н., доцент

В.Б. Гисин – к.ф.-м.н., профессор, Финансовый университет, департамент анализа данных, принятия решений и финансовых технологий г. Москва, Российская Федерация, e-mail: vgisin@fa.ru.

Ю.В. Ефимов

А.Н. Козловский – к.э.н., депутат государственной думы VII созыва.

А.О. Недосекин – д.э.н., к.т.н., академик МАНЭБ, генеральный директор ООО «СИ-ФИНАНС».

Е.И. Рейшахрит – д.э.н., профессор кафедры управления, учёта и финансов, Санкт-Петербургского горного университета.

А.В. Спесивцев – Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

М.Ю. Шестопалов

Г.А. Щербаков – к.э.н., Финансовый университет при Правительстве РФ

CONTENTS

<i>Chapter 1. Development of methods of restoration of control systems</i>	7
Introduction	7
1.1. An integrated approach to the development of fault-tolerant management systems	16
1.2. The tasks of developing methods for the restoration of control systems	20
1.3. Method of topological synthesis of reconstructed systems	24
1.4. Structurally-parametric synthesis of reconstructed systems	28
1.5. Parametric optimization and analysis of recovered systems	46
1.6. Synthesis and restoration of complex control systems	52
1.7. Synthesis of decision logic about reconfiguration	65
1.8. Development of computer simulation tools for fault-tolerant management systems	72
Bibliography	79
<i>Chapter 2. Application of fuzzy sets and soft computing in economics and finance (review)</i>	100
Introduction	100
2.1. Economics and finance are specific objects of scientific research	101
2.2. The first steps of the scientific school (1999–2008)	104
2.5. What next? Instead of the conclusion on chapter 2	130
Bibliography	131
<i>Chapter 3. The fuzzy-logical system of balanced indicators (NLSP) and the assessment of economic risk</i>	139
Introduction	139
3.1. Modeling of NLSP MTP	139
3.2. Risk modeling	148
Conclusion	153
Bibliography	153
<i>Chapter 4. Net Present Value and Internal Rate of Return on Cash Flows with Fuzzy Defined Payments</i>	155
Introduction	155

4.1. Fuzzy values and operations on them	159
4.2. Internal rate of return on investment projects with fuzzy defined payments	164
4.3. Summarizing of fuzzy defined payments taking into account the dependency	175
4.4. The price of information in the tasks of evaluating investment projects with fuzzy defined cash flows	181
4.4.1. Measure of uncertainty of fuzzy values	182
4.4.2. The price of information when choosing an investment project with fuzzy determined payments by the criterion of net present value	185
Conclusion	195
Bibliography	196
Chapter 5. Soft technologies of rationing at industrial enterprises in conditions of uncertainty	200
5.1. Classification of environmental uncertainties and assessment of their impact on the activities of enterprises	200
5.2. The application of the regularizing Bayesian half-cycle for the normalization of labor standards in enterprises under uncertainty	207
5.3. Features of labor standards in shipbuilding enterprises	218
5.4. Methodological approaches to the regulation of labor in shipbuilding enterprises in conditions of uncertainty	224
Chapter 6. Interaction of cycles of different duration in the process of economic development, the problems of managing the economy un- der conditions of polycyclicity	250
Introduction	250
6.1. Methodological bases of studying of economic cycles of various duration	252
6.2. The content and interrelation of economic cycles of different duration: a polycyclic model of economic development	261
6.3. Sources of formation of economic cycles of different duration: quantitative and qualitative processes in the economy	278
6.4. Analysis and Forecasting in a Polycyclic Economic Development: Opportunities and Limitations	295
Conclusion	311
Bibliography	311
Chapter 7. Soft measurements and soft computing in modeling the state of complex objects on the basis of expert knowledge	317

7.1. Problems modeling complex objects in conditions of uncertainty	317
7.1.1 Features of complex objects and systems	317
7.1.2. Complexity as a control object	321
7.1.3. Presentation on the accumulation of knowledge and the development of solutions	323
7.1.4. What do we know about knowledge	326
7.2. Expert as an "intelligent information and diagnostic system" ..	329
7.3. Theoretical research for the construction of logical-linguistic models	334
7.3.1. Directions of research	334
7.3.2 Methodological and methodological foundations for synthesizing logical-linguistic models for assessing the state of an complexity on the basis of an expert knowledge	346
7.4. Advances in the scientific direction	346
7.5. As it seems, the further application and development of the direction	355
Conclusion	356
Bibliography	356
Chapter 8. Fuzzy hybrid decision support models	366
8.1. Methods of modeling a weakly structured situation in hybrid decision support systems	366
8.1.2. Hierarchical model	366
8.1.3. Cognitive modeling	368
8.1.4. Multi-criteria ranking of alternatives	369
Conclusion	370
8.2. Support for decision-making in poorly structured situations based on a fuzzy hierarchical model	371
8.2.1. Methods and algorithms for constructing and analyzing a fuzzy hierarchical model of a weakly structured situation	373
8.2.2. Methods and algorithms for constructing and analyzing a model of fuzzy multi-criteria ranking of alternatives ..	377
8.2.3. Methodology for constructing an integrated model of a weakly structured situation based on a fuzzy hierarchical model and fuzzy multi-criteria ranking of alternatives	382

Conclusion	385
Bibliography	386
8.3. Decision making in the cognitive economics	387
8.3.1. The structure of the problem area	387
8.3.2. Intellectual systems in the economy	390
8.3.4. Knowledge management	393
8.3.5. Cognitive economics	394
Bibliography	402
Information about authors	405

CHAPTER 1

Development of methods of restoration of control systems

M.Yu. Shestopalov

***Abstract.** This section focuses on the development of control system recovery on the basis of information-algorithmic approach. The systematic approach to the development of the methods for the recovery of CS means the integration of the controlled object modeling stages, main control system synthesis, the supervisory level system, and the implementation and maintenance of Fault-Tolerant Control System (FTCS).*

The methods of providing fault tolerance in the complex-frequency domain, matching the structural approach to modeling, analysis and synthesis of control systems, are suggested.

The processes of diagnosis and recovery of a control system with typical structure are illustrated by the means of specially designed computer simulator of a FTCS.

CHAPTER 2

Application of fuzzy sets and soft computing in economics and finance (review)

A.O. Nedosekin, Z.I. Abdulaeva, E.I. Reishahrit, A.N. Kozlovsky

***Abstract.** A review of the development of Fuzzy Economics in Russia over the past 20 years, including under the auspices of the international conference SCM (Soft Computing and Measurement), St. Petersburg.*

CHAPTER 3

The fuzzy-logical system of balanced indicators (NLSP) and the assessment of economic risk

A.O. Nedosekin, Z.I. Abdulaeva

***Abstract.** The chapter provides a simple example of modeling a fuzzy-logical enterprise BSC and structuring a risk map based on this BSC.*

CHAPTER 4

Net present value and internal rate of return on cash flows with fuzzy defined payments

V.B. Gisin, E.S. Volkova

***Abstract.** In this paper we consider the most important numerical quantitative characteristics of the cash flows. The internal rate of return of project with fuzzy cash flow is introduced on the basis of the extension principle. It is shown that if all payments are presented by triangular fuzzy numbers and Norström conditions are satisfied, the internal rate of return turns out to be a fuzzy number. We present conditions under which the growth of the uncertainty of the net present value does not increase with the increase in the number of payments and depends only on the uncertainty of payments. The concept of the price of information is introduced in the case when the net present value serves as the main criterion for evaluating and ranking projects.*

CHAPTER 5

Soft technologies of rationing at industrial enterprises in conditions of uncertainty

Yu.V. Efimov

***Abstract.** The chapter deals with the soft standardization technologies at industrial enterprises in conditions of uncertainty, the classification of environmental uncertainties and the assessment of their influence on the activities of enterprises the application of the regularizing Bayesian approach for labor standardization in enterprises under uncertainty, peculiarities of labor standardization at shipbuilding enterprises, as well as methodological approaches to the standardization of labor in shipbuilding enterprises in conditions of uncertainty.*

CHAPTER 6

Interaction of cycles of different duration in the process of economic development, the problems of managing the economy under conditions of polycyclicity

G.A. Shcherbakov

***Abstract.** The presented article is devoted to researching of the economic cycle – one of the most unknown phenomena of world economic life, the phenomena that nature hasn't received the recognized explanation in economic science yet. The subject of scientific debate remains not only about the nature and content of economic cycles, but even on the types of cyclical fluctuations. If you take multicyclic economic development as a scientific fact, economic development is a set of processes originated in the cycles of various duration. N.D. Kondratyev divided economic processes into quantitative (countable) and qualitative (uncountable). The idea of the famous Russian economist (that wasn't developed further by the scientist) suggests that economic development is a result of the implementation of processes generated within the cycles of different duration. The first of them are implemented in the short- and medium-term dynamics and fraught in the phase of economic growth with the accumulation of quantitative imbalances issues resolved by cyclical crises. The second are found in the long-term cycle when economic system is faced with problems that require its qualitative transformation. This research represents an attempt to comprehend the sources of different economic cycles (primarily medium-term and long-term cycles), to determine the place of each cycle in the overall process of economic development, to describe the capabilities and limitations of management of the economy in terms of multicyclic development.*

CHAPTER 7

Soft measurements and soft computing in modeling the state of complex objects on the basis of expert knowledge

A.V. Spesivtsev

***Abstract.** This section summarizes more than 20 years of experience in the application of logical and linguistic modeling of complex objects on the basis of expert knowledge in various fields of technology, agriculture and the humanities.*

The construction of logical-linguistic models is considered as one of the ways to combat complexity, and complexity is regarded as an object of control.

In our opinion, the most acceptable point of view on the accumulation and storage of knowledge in the human brain is the pattern approach in the sense of Edward de Bono, which correlates rather well with the proposed approach of formalization of expert knowledge and allows us to treat the expert as an "intelligent information and diagnostic system".

A brief description of the directions of theoretical studies for the construction of logical and linguistic models, covering the extraction of expert knowledge in the form of linguistic variables, their presentation in production terms in a linguistic form, and formalization by polynomial models according to the methodology of the theory of experimental planning is given.

The total number of publications on this subject has exceeded 150 articles in scientific and technical journals, the materials of numerous international and all-Russian conferences, including four monographs and four patents of the Russian Federation.

CHAPTER 8

Fuzzy hybrid decision support models

A.A. Averkin

Abstract. *The main idea of the article is to demonstrate the features of the ill-structured situation modeling methods. The integration of the methods gives the new possibilities in the Decision Support System.*

The hybrid model of decision making support system in ill-structured subject area is considered in the paper. This model is based on fuzzy hierarchical model. As the result of situation model analysis a set of alternatives are ranged by several criteria. The importance of the criteria is determined towards the general goal of constructed hierarchical model of the area.

The paper generalizes the notion of cognitive economics. The foundations of this direction in modern economics theories are considered. The generalizations of cognitive economics concept is suggested by including in this field some parts of intelligent systems economics, knowledge-based models, soft computing and knowledge management in economics. We demonstrate, that the creation of intelligent hybrid systems in the intersection of these domains provides the increasing of cognitive potential of intelligent systems in economics, its adaptivity and possibility of tuning to mental model of user.

Научное издание

МЯГКИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ.

ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

Под редакцией проф. Прокопчиной Светланы Васильевны

Том II

Редактор О.В. Якупова
Компьютерная верстка С.Ю. Кирьянов
Корректор Н.А. Гежа

Подписано в печать 03.05.2017. Формат 60/90 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Объем 25,87 п.л. Тираж 1000 экз. Заказ _____

Издательский дом
«НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА»
Телефон: 8 (495) 592-2998.
Адрес сайта: www.sciencelib.ru
E-mail: idnb11@yandex.ru, info@sciencelib.ru