

Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»

Кафедра Устойчивого Инновационного Развития

**Большаков Б.Е.,  
Петров А.Е.**

**Тензорные методы и измерители  
гармонизации в системе  
«человек—общество—природа»**

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента  
РФ НШ-9567.2006.9.

Дубна, 2007

Аннотация:

МЕТОДОЛОГИЯ, УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ, ТЕНЗОРНЫЕ МОДЕЛИ, ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ

Объектом исследования являются методологические принципы создания тензорных моделей информационных технологий для управления устойчивым развитием в системе «человек—общество—природа».

Цель работы — обоснование и разработка методологических принципов создания тензорных моделей для управления устойчивым развитием.

В процессе работы проводились теоретические исследования по разработке методологических принципов, критериев и универсальных измерителей, на основе которых предложены сетевые модели представления процессов и структуры экономических систем, обеспечивающие анализ и прогноз результатов проектируемых структурных реформ в процессе управления устойчивым развитием. Проведены экспериментальные исследования по применению сетевых моделей информационных технологий для отдельных составляющих экономической системы на примере технологии анализа банковской системы.

В результате исследования впервые были созданы методологические и математические основы применения тензорного метода двойственных сетей для расчета и анализа сложных систем с переменной структурой, которые необходимы для создания информационно-аналитических систем управления устойчивым развитием в системе «человек—общество—природа».

## Содержание

### Введение

#### **Раздел 1. Разработка методологических принципов для создания тензорной модели информационных технологий**

- 1.1 Принципы создания сетевых моделей процессов и структуры сложных систем
- 1.2 Методологические принципы применения пространства потоков для построения сетевых моделей сложных систем
- 1.3 Принципы двойственности для моделирования замкнутых и открытых систем
- 1.4 Тензорные принципы преобразования измеримых величин при изменении структуры

#### **Раздел 2. Разработка критериев и универсальных ЛТ-измерителей для создания тензорной модели информационных технологий**

- 2.1 Критерии создания тензорных моделей сложных систем
- 2.2 Разработка и применение универсальных ЛТ-измерителей в тензорных моделях информационных технологий
- 2.3 Технология создания тензорных моделей для исследования сложных систем
- 2.4 Создание информационной технологии управления на основе тензорных моделей

#### **Раздел 3. Основы тензорных моделей и их применение в экономике**

- 3.1 Методологические и математические основы метода двойственных сетей
- 3.2 Алгоритмы расчета процессов при изменении структуры тензорных моделей
- 3.3 Инварианты и тензоры в экономике
- 3.4 Тензорная сетевая модель межотраслевого баланса
- 3.5 Информационная технология расчета структурных изменений для управления устойчивым развитием
- 3.6 Методологические принципы и критерии информационной технологии анализа банковской системы

## **Раздел 4. Интернет-портал «Международная школа устойчивого развития»**

- 4.1. Введение
- 4.2. Цель портала
- 4.3. Основные качества портала
- 4.4. Особенности и отличия портала
- 4.5. Описание функциональности портала
- 4.6. Администрирование портала
- 4.7. Карта портала

### **Заключение**

### **Список использованных источников**

### **Приложение 1**

## **Введение**

Современное состояние методов проектирования инновационного развития во всех сферах жизнедеятельности общества не обеспечивает оперативное реагирование на происходящие в обществе позитивные и негативные изменения. Необходима разработка методологии гармонизации устойчивого инновационного развития в системе «человек—общество—природа» в форме интерактивных информационно-телекоммуникационных систем.

Управление устойчивостью инновационного развития требует математического моделирования, т.е. представления реально происходящих событий и явлений в обществе с помощью математического метода, основанного на измеримых величинах. Вместе с тем, известные методы не основаны на системах универсальных измеримых величин.

Разработка методов гармонизации устойчивого развития в системе «природа—общество—человек» с использованием современных информационно-телекоммуникационных систем не имеет аналогов в отечественной и зарубежной науке, что существенно снижает эффективность управления процессами инновационного развития.

Наиболее важным отличием данного исследования является развитие и применение в качестве методологического подхода для создания информационных систем тензорного метода двойственных сетей. Данный метод обеспечивает одновременное представление как процессов с их воздействиями и откликами, так и структуры связей элементов, в которых эти процессы протекают, что и обеспечивает гармонизацию развития системы как во времени, так и в пространстве.

С точки зрения методологии, тензоры являются математическим представлением измеримых величин, реальное значение которых не зависит от субъективного положения наблюдателя, т.е. от применяемой в каждом конкретном случае системы координат. Данный метод исследует фундаментальные свойства взаимного влияния процессов и структуры связей, как в абстрактном понимании, так и в приложении к изучению сложных систем. Полученные математические результаты применяются для анализа социально-экономической системы с целью управления устойчивым инновационным развитием в условиях обеспечения безопасности системы в целом.

Информация о состоянии управляемых объектов (например, хозяйствующих субъектов), организованная в базы данных, обновляемые и поддерживаемые, не является достаточным фактором для создания информационных технологий. Базы данных должны дополняться базами знаний, которые представляют собой сетевые модели исследуемых систем. Одним из важнейших принципов создания таких моделей является полнота описания исследуемой системы. Под этим понимается описание не только процессов, происходящих в разных частях, элементах системы, но также структура связей элементов. От изменения структуры существенным образом зависит

поведение всей системы, а также само ее существование как единого целого. База знаний должна дополняться базой целей, которая содержит основные критерии поведения системы, а также принципы оценки, которые обеспечивают сравнение результатов применения управляющих воздействий. Например, для хозяйствующего субъекта критерием эффективности являются: норма прибыли, изменение своей доли на рынке производимой продукции в сторону возрастания, динамика капитализации.

Самостоятельный научный интерес представляет найденный в результате проведенных исследований инвариант преобразования структуры, который состоит в том, что остается постоянной сумма метрических тензоров двух сетей с двойственной структурой, базисы подпространств замкнутых и разомкнутых путей которых взаимно дополняют друг друга до полного пространства. В электротехнике этому соответствует постоянство рассеиваемой мощности в цепях с двойственной структурой при изменении соединения ветвей, что может рассматриваться как проявление закона сохранения потока энергии. Применение данного инварианта позволило, в частности, получить алгоритмы расчета сетевых моделей при изменении структуры, включая разделение на подсистемы, что позволяет, например, в практических приложениях изучать последствия структурных изменений в экономических и социальных системах. Также это позволяет применять параллельные вычисления, эффективность которых обеспечена тем, что изменения процессов при декомпозиции отражаются в двойственной сети и затем используются при соединении результатов расчета подсистем в целое. В экономике двойственными являются сети производства продуктов и сети потоков денежных средств. Эти сети дополняют друг друга до полной системы воспроизводства и развития.

Отличие тензорного метода двойственных сетей также состоит в том, что известный метод математического моделирования, основанный на применении пространства состояний, дополняется новым методом, который основан на пространстве потоков. В применении пространства потоков состоит суть метода двойственных сетей, который исследует одновременно как процессы, так и структуру моделируемой сложной системы. Таким образом, в основе создания тензорных сетевых моделей сложных систем, с реализацией в форме интерактивных информационно-телекоммуникационных технологий, лежит представление о потоках и путях их распространения, соответствующее поведению реальных измеримых величин в изменяющейся структуре моделируемой системы.

Для анализа поведения сложной системы важно количественно оценивать не только текущее состояние или то заданное состояние, в которое она должна перейти спустя определенный промежуток времени (например, состояние с удвоенным ВВП). Необходимо определить также те промежуточные состояния (и проводить их мониторинг), которые должна пройти система между начальным и заданным состояниями. Это обеспечит контроль соответствия

реального движения целевым установкам. Это позволит также определить те тенденции, которые при этом сформируются в развитии системы, и которые определяют ее дальнейший путь после достижения заданного состояния; оценить соответствие этих путей поставленным целям, сделать прогноз на перспективу.

Необходимо также оценивать поведение отдельных составляющих, действия которых складываются в траекторию поведения всей системы. Следует учитывать, что поведение совокупности частей по отдельности отличается от поведения тех же частей, когда они соединены в единое целое, где части обмениваются между собой воздействиями и потоками. Например, при разделении СССР на части (независимые государства) изменилась только структура, т.е. были разорваны структурные хозяйственные связи при сохранении сырьевого, промышленного, кадрового потенциала. Однако это привело к падению производства и потребления более чем вдвое. Исследования экономистов показывают, что падение производства в период гражданской войны, а также реформ 90-х годов было вызвано, в первую очередь и в основном, разрывом хозяйственных связей. Таким образом, структура играет значительную и возрастающую роль в социальных и экономических системах. Роль структуры возрастает в современном мире в условиях постоянного усложнения связей в технике, политике, обществе и, особенно, в экономике, в условиях глобализации, соединения отдельных стран в единый планетарный хозяйственный механизм.

Для гармонизации структуры связей в системе необходимо выделить отдельные элементы и определить те границы элементов, по которым они могут соединяться или разделяться, осуществлять обмен потоками через эти границы. В хозяйстве такими элементами служат в основном технологические цепочки, на вход которых поступают исходные компоненты (сырье, ресурсы, поставки смежников), а на выходе — продукция, которая поступает потребителям (смежникам или конечным потребителям).

Разделение на части сложной системы государства можно проводить по территориальному, отраслевому, социальному и другим признакам. На эту естественную структуру хозяйственного механизма накладываются: структура органов государственного управления, которая реализует механизм действующего политического устройства; структура политических партий с их программами ведения или изменения социальной и хозяйственной деятельности. Управление экономической структурой осуществляется правительством в соответствии с разделением на органы управления (например, министерства, агентства, службы), которые отражают текущую хозяйственную политику.

Возникающая проблема расчета и гармонизации изменений процессов при изменении структуры связей элементов сложной системы, в широком смысле — взаимодействия процессов и структуры, не обеспечена соответствующим математическим аппаратом. Это проблема

исследования новых закономерностей, связывающих процессы и структуру; расчета поведения технических, экономических систем при изменении структуры, включая разделение на подсистемы и расчет по частям. Метод создания тензорной модели информационных технологий с применением двойственных сетей предназначен для решения таких задач. Найденные закономерности двойственных сетей используются для моделирования и расчета изменений процессов при изменении структуры сложных технических, экономических систем.

Тензорное моделирование процессов и структуры сложных систем с переменной структурой, которое использует новый инвариант преобразования структуры двойственных сетей, предназначено для повышения эффективности управления проектированием устойчивого инновационного развития социальных и экономических систем. Полученные в результате сетевые модели системы производства товаров и услуг, финансовой системы и товарных рынков могут применяться в качестве основы создания систем управления устойчивостью инновационного развития при изменении структуры хозяйственных связей, с учетом влияния разнообразных внутренних и внешних факторов.

Теоретическое и экспериментальное моделирование гармонизации устойчивого развития тензорным методом двойственных сетей необходимо для определения возможностей влияния социальной политики на перспективы экономического роста, управления инновационным развитием, изменения демографической ситуации.

Другой существенной особенностью данной работы является разработка и применение методологии универсальных ЛТ-измерителей, которая обеспечивает создание тензорных моделей для анализа соответствия реальных и ожидаемых потоков продуктов и денежных средств различных социальных групп сформировавшимся у них системам ценностей, обеспечивая расчеты возможного изменения социальных процессов при изменении структуры производства, распределения, хозяйственных связей. Информационной основой являются измеримые величины социальных и экономических показателей статистической отчетности производства и распределения ВВП в сопоставлении со сложившимися системами ценностей различных социальных групп с учетом региональных факторов.

Работа выполняется в соответствии с техническим заданием, календарным планом и сметой расходов НИР НШ-9567.2006.9.

Техническим заданием НИР на 2006 год предусмотрена разработка методологических принципов, критериев и универсальных измерителей тензорной модели информационных технологий и портала «Международная школа устойчивого развития».

Целью работы является обоснование и разработка методологических принципов создания тензорных моделей для управления устойчивым развитием.



Задачами работы являются:

- Разработка методологических принципов для создания тензорной модели информационных технологий;
- Разработка критериев и универсальных ЛТ-измерителей для создания тензорной модели информационных технологий;
- Разработка основ тензорных моделей и их применение в экономике;
- Интернет-портал «Международная научная школа устойчивого развития».

В процессе работы проводились теоретические и экспериментальные исследования принципов, критериев, измерителей и моделей создания информационно-телекоммуникационных систем для устойчивого развития в системе «природа—общество—человек».

В результате исследования впервые создан и применен в качестве методологического подхода для создания информационно-телекоммуникационных систем тензорный метод двойственных сетей с использованием универсальных ЛТ-измерителей.

Данный метод обеспечивает одновременное представление как процессов с их воздействиями и откликами, так и структуры связей элементов, в которых эти процессы протекают, что и обеспечивает гармонизацию развития системы как во времени, так и в пространстве. Разработанный метод не имеет аналогов в отечественной и мировой науке.

## **Раздел 1. Разработка методологических принципов для создания тензорной модели информационных технологий**

В качестве основы методологических принципов создания информационных технологий рассматриваются понятия процесса и структуры, которые составляют две неразрывные стороны описания сложных систем.

Система – это совокупность элементов, соединенных своими границами.

Элемент – часть системы, выделенная в пространстве (пространстве физическом или математическом пространстве представления системы), отделенная границами от других элементов и внешнего мира, обладающая однородными свойствами (материи) в пределах своих границ.

Процесс – совокупность явлений, характеризующих свойства данной системы. Процессу присущи воздействие на элементы (причина), инерция (сопротивление материи элементов) и отклики (следствие), т.е. реакция элементов на приложенное воздействие. Обычно в качестве процесса рассматриваются потоки энергии.

Структура – совокупность соединения элементов, т.е. слияния их границ. Изменения структуры связаны с разделением или слиянием границ элементов, что меняет пути и направления потоков процессов в системе.

### **1.1 Принципы создания сетевых моделей процессов и структуры сложных систем**

Процессы и структура присущи всем сложным системам. Это основные свойства **обобщенной сложной системы всех систем**, категории системы. Задача исследования состоит в определении отношений между этими свойствами в динамике их изменения. Конкретные проявления категории системы в разных предметных областях определяются содержанием процессов (физической размерностью) и структуры (геометрической размерностью элементов). Системы различаются по физической сути процессов, по виду структуры связей элементов (точки, линии, плоскости и т.д.), что позволяет их классифицировать. Обобщенная система – это абстрактный объект, а классы систем, определяемые типами и количеством процессов, размерностью и составом элементов структуры – ее проекции в частные системы координат.

Таким образом, множество сложных систем можно разделить на классы, имеющие аналогии процессов и структуры, т.е. сходство двух характеристик:

- количество процессов и вид уравнений, которые эти процессы описывают,
- вид структуры, который определяет размерность элементов и преобразования соединения и разъединения, которые допускается с ними проводить.

Все системы одного класса рассматриваются как одна «обобщенная» система, а конкретные системы – как проекции в частные системы координат, для них применяется один метод расчета и анализа. Процессы и структура являются неразрывными свойствами сложных систем. Структура играет роль пространства, в котором процессы являются объектами. Объект остается тождественным самому себе при любых его представлениях с разных точек зрения.

Среди систем каждого класса выделяется своя собственная эталонная система, в которой наиболее явно представлены процессы и структура. Такая система является эталонным представителем данного класса, она используется для разработки эквивалентных моделей всех систем, относящихся к данному классу.

**Принцип полноты описания системы.** Этот принцип предусматривает соединение в одной сетевой модели процессов и структуры. В модели должны быть представлены все потоки на входе и выходе системы, воздействия и отклики, а также их распределение в элементах самой системы, связанных в заданную структуру. Изменение структуры системы, связанное, например, с реформами в социально-экономической системе, приводит к изменению потоков в элементах.

**Принцип полноты выбора и описания показателей сетевой модели.** Выбор и создание списка, совокупности показателей, которые представляют все стороны, аспекты поведения системы, которые необходимы для контроля ее состояния и функционирования. Показатели должны быть измеримыми величинами, которые отражают реальные характеристики системы, изменение которых оказывает влияние на реальное изменение системы, и не зависит от того, в какой системе координат производится их измерение наблюдателем, управленцем. Выбор и создание совокупности управляющих воздействий, т.е. тех показателей состояния системы, целенаправленное изменение которых приводит к соответствующему изменению состояния и траектории движения системы в пространстве состояний. Вместе с тем состав показателей и уровень их детализации зависят от решаемых задач и могут оказаться как недостаточными, так и избыточными.

**Принцип создания структурной схемы потоков информации через систему и представляющую ее сетевую модель.** Применение для расчета, анализа и прогноза поведения сетевой модели с последующей интерпретацией на поведение моделируемой системы.

Применение информационной технологии на базе тензорной сетевой модели. Сбор, обработка информации, преобразование в базы данных. Поддержка и обновление баз данных. Примером может служить база данных по статистической и бухгалтерской (финансовой) отчетности хозяйствующих субъектов. Отчетность представляет собой совокупность значений реальных объектов в применяемой системе координат. В реальности происходят изменения рассматриваемой системы, которые находят отражение в изменениях системы координат, способов отражения, представления состояния системы. Необходим мониторинг изменений самой

системы координат, внесение корректировок в методику расчета показателей. Это сопровождается ведением протоколов изменений, которые в совокупности позволяют определить и контролировать, что и как рассчитывалось в каждый момент времени.

**Принцип ведения протоколов изменения.** Эти протоколы сохраняют все изменения, которые были внесены в методики расчета показателей для описания состояния моделируемой системы. Также они сохраняют хронологию изменения состава показателей, т.е. введения новых показателей, исключение ставших не нужными, или не соответствующими изменению реальности, при сохранении их значений в базе данных информационно-аналитической системы. Это обеспечивает хронологическую целостность динамики состояния исследуемой системы, возможность сравнительного анализа за любой период, в течение которого производились измерения характеристик.

Выбор показателей и своевременное изменение их состава и методик расчета в соответствии с изменением реальных условий должно обеспечивать возможность сравнительного анализа и сопоставлений, преемственность динамического ряда состояний системы. Таким образом, получаемое представление о системе не должно зависеть от способа измерения, представления, т.е. от системы координат. В этом и состоит тензорный метод описания системы на первом (втором) уровне обобщения.

Модель должна указывать, какие показатели, в какие сроки и на какие значения надо изменить для достижения необходимого результата в заданные периоды развития, и как это повлияет на рабочие характеристики, безопасное поведение системы.

Одним из возможных примеров является банковская система. Средствами контроля являются обязательные экономические нормативы (ежемесячная отчетность), а средствами управления – ставки по привлеченным и размещенным средствам (определяемые ставкой рефинансирования), а также присвоением рейтингов (в результате аналитических обследований); мерами административного воздействия (санкции в виде штрафов и запретов, внешнее управление, отзыв лицензии). Другим примером является состояние человеческого организма. Средствами контроля являются пульс, давление (измеряемые с необходимой периодичностью), а средствами управления – объемы и характер питания, физической и умственной нагрузки; чередование режима работы и отдыха, а при необходимости – применение средств внешнего и внутреннего медицинского воздействия.

## **1.2 Методологические принципы применения пространства потоков для построения сетевых моделей сложных систем**

**Потоки, как воздействия и отклики.** Энергия – основная характеристика вещества, которая связана с массой соотношением Эйнштейна, т.е. энергия и масса связаны движением, которое представлено скоростью света в квадрате. Поток энергии измеряется как количество энергии в единицу времени через единичную площадь (сечение). Иначе можно сказать, что поток энергии измеряется как объем, проходимый единицей (плотности) энергии в единицу времени через единичную площадку в определенном направлении.

Необходимость включить понятие направления показывает, что само понятие потока энергии связано со структурой пространства, т.е. с выделенными в пространстве направлениями по которым происходит движение.

Потоки энергии предстают наблюдателю для измерения как сочетание двух величин – воздействия и отклика. Воздействие является причиной, побудительным мотивом, которая прикладывается к материи, веществу, чтобы вызвать изменение, движение.

Отклик является следствием реакции материи на приложенное воздействие. Материя оказывает сопротивление изменениям, т.е. возникновению и поддержанию движения, в меру своей инертности. Такая инерционность, различная для разных видов энергии, характеризует материальные, метрические свойства материи, определяет метрику (пространства, системы).

Описание потока энергии как отклика материи на воздействие можно записать соотношением:

$$\text{воздействие} = \text{сопротивление} * \text{отклик}.$$

Такой вид имеют все уравнения описания процессов в элементах. Для совокупности элементов получаем систему уравнений. Решением является получение обратного соотношения. Считается, что воздействие и сопротивление можно измерить, а отклик надо рассчитать, т.е.:

$$\text{отклик} = \text{воздействие} / \text{сопротивление}.$$

В случае многих взаимодействующих элементов составляется система уравнений, в которой воздействие и отклик представляют векторы, а сопротивление есть матрица, которую надо обратить; тогда это решение задачи принимает вид:

$$\text{отклик} = (\text{сопротивление})^{-1} * \text{воздействие}.$$

**Принцип инвариантности (постоянства) мощности.** Величина потока энергии измеряется как произведение воздействия и отклика. Эту величину называют *мощность* и определяют в зависимости от ситуации, как: энергия, потребляемая в единицу времени; или энергия, производимая в единицу времени; или энергия, рассеиваемая в единицу времени. Это можно записать так:

$$(\text{поток энергии}) = \text{мощность} = \text{воздействие} * \text{отклик}.$$

Такое соотношение переключается с представленной выше связью воздействия, отклика и метрики, выраженной сопротивлением материи, которую можно записать так:



(метрика) = сопротивление = воздействие / отклик.

Инвариантность, или постоянство мощности при изменении соединений элементов (структуры) систем; а также роль двойственности структуры сетей в этой закономерности, является фундаментальным принципом применения пространства потоков для моделирования сложных систем.

Для классификации измеримых величин воздействий, инерции и откликов в сложных системах различных предметных областей применяется система пространственно-временных величин. Существуют различные системы размерностей физических величин, в которых все известные величины выражаются через ряд величин, принятых за основные. Это позволяет сопоставлять физические величины, которые относятся к разным предметным областям, с помощью анализа размерностей. Понятие размерности ввел в физику Фурье в 1822 году. Например, в системе СИ используют шесть основных величин, в системе СГС – три: длина, масса и время. Существует система, в которой все физические величины выражаются через две наиболее фундаментальные – пространство (длина) и время.

Такой системой является таблица универсальных пространственно-временных величин (сокращенно LT–система) Р.О.Бартини и П.Г.Кузнецова, опубликованная в 1965 г. в докладах АН СССР по представлению академиков АН СССР Н.Н.Боголюбова и Б.М.Понтекорво при поддержке президента А.Н. СССР академика М.В.Калдыша (таблица 1).

**Таблица 1. Система универсальных пространственно-временных величин (LT–система)**

	$L^{-2}$	$L^{-1}$	$L^0$	$L^1$	$L^2$	$L^3$	$L^4$	$L^5$	$L^6$
						$L^3 T^{-6}$	$L^4 T^{-6}$	Изменение мощности	Скорость передачи мощности
					Изменение давления	Поверхностная мощность	Скорость изменения силы	Мощность	Скорость передачи энергии
			Изменение плотности тока	Давление	Угловое ускорение массы	Сила	Момент силы Энергия	Скорость передачи действия	
		Изменение углового ускорения	Плотность тока	Напряженность эл-маг. поля Градиент	Ток Массовый расход	Скорость смещения заряда Импульс	Момент количества движения Действие	Момент действия	
$T^{-2}$		Изменение объемной плотности	Массовая плотность Угловое ускорение	Ускорение	Разность потенциалов	Масса Количество магнетизма Количество электричества	Магнитный момент	Момент инерции	
$T^{-1}$		$L^{-2} T^{-1}$	$L^{-1} T^{-1}$	Частота	Скорость	Объемность 2-х мерная	Расход объемный	Скорость смещения объема	
$T^0$	$L^{-3} T^0$	$L^{-2} T^0$	Изменение проводимости	Безразмерные константы	Длина Емкость Самоиндукция	Поверхность	Объем пространственный		
$T^1$	$L^{-3} T^1$	Изменение магнитной проницаемости	Проводимость	Период	Длительность расстояния	$L^2 T^1$			
$T^2$	$L^{-3} T^2$	Магнитная проницаемость	$L^{-1} T^2$	Поверхность времени	$L^1 T^2$				
$T^3$	$L^{-3} T^3$	$L^{-2} T^3$	$L^{-1} T^3$	Объем времени					

Система представлена в форме таблицы с осями: **время** (в целочисленных степенях S от минус бесконечности до плюс бесконечности) и **длина** (в целочисленных степенях R от минус бесконечности до плюс бесконечности).

Характеристики сложных систем, измеримые величины, представлены в соответствующих ячейках LT–системы и будут называться универсальные LT–измерители.

В LT–системе пространство понимается как многомерная протяженность с проникающей способностью во время. Время понимается как многомерная длительность с проникающей способностью в пространство. Пространство и Время ортогональны.

Топологические свойства Пространства достаточно подробно описываются в разных геометриях: евклидовой–неевклидовой, римановой – не римановой, паскалевой – не паскалевой, дезарговой – недезарговой и др.

Топологические свойства Времени практически не изучены. В математике вообще нет понятия времени. Существует ось с численными значениями, условно называемыми временем. Однако Время – это не только количество, но, прежде всего качество, имеющее в LT–системе определенное имя, размерность и единицу измерения.

Основные принципиальные понятия описания систем: воздействия – отклики, продольные – поперечные, контравариантные – ковариантные величины, материальные характеристики метрики, замкнутые и разомкнутые пути, открытые и закрытые системы, таблица LT для классификации измеримых величин. Эти понятия используются для создания сетевых моделей процессов и структуры систем из разных предметных областей.

Вместе с тем нельзя автоматически перенести установленные аналогии и соотношения между, например, продольными и поперечными величинами, воздействиями и откликами, определяющими потоки энергии, на любую систему, в которой распространяются потоки энергии данного вида. Для каждой системы надо на основе аналогий конструировать соответствующую сетевую модель, свойства которой будут адекватны свойствам исходной системы. В качестве примера рассмотрим отношения между воздействиями и откликами (продольными и поперечными величинами) в некоторых системах: электротехнике, механике, гидродинамике. Возникающие при этом ограничения связаны с тем, что речь пойдет, соответственно, о постоянных токах, равномерном движении и ламинарном течении, чтобы не усложнять рассмотрение.

**1. Электротехника.** Произведение пары продольных и поперечных величин в каждой предметной области имеет физическую размерность мощности, т.е.  $[L^5 T^{-5}]$ . Например, в электрических системах продольная величина **ток** (имеет размерность  $[L^3 T^{-3}]$ ), измеряется в одной точке; и поперечная величина **напряжение** (имеет размерность  $[L^2 T^{-2}]$ ), измеряется как разность значений потенциала в двух точках. Произведение тока и напряжения имеет размерность **мощности**  $[L^5 T^{-5}]$  (потока электрической энергии). Уравнения поведения для внутреннего воздействия (источники напряжения) имеют вид закона Ома для комплексных сопротивлений, а для внешнего воздействия (источники тока) – закона Ома для комплексных проводимостей.

Полученное описание в терминах ЛТ-таблицы, воздействий и откликов, продольных и поперечных величин позволяет построить сетевую модель для систем, реализующих процесс передачи электрической энергии. В ЛТ-таблице получаем четверку клеток-величин, определяющих потоки энергии в данной предметной области, которые образуют две тройки «воздействие – сопротивление – отклик» для замкнутых систем и для разомкнутых систем.

Воздействие-ток  $[L^3 T^{-3}]$ , отклик-напряжение  $[L^2 T^{-2}]$ , мера инерции (метрика) – проводимость  $[L^1 T^{-1}]$  – для открытых систем.

Отклик-ток  $[L^3 T^{-3}]$ , воздействие-напряжение  $[L^2 T^{-2}]$ , мера инерции (метрика) – сопротивление  $[L^{-1} T^1]$  – для замкнутых систем.

**2. Механические системы.** В механике сила  $F$  (продольная величина, измеряется в точке приложения) имеет размерность  $[F] = [L^4 T^{-4}]$ , а скорость  $v$  (поперечная величина, измеряется как разность положения тела в двух точках в единицу времени), имеет размерность  $[v] = [L^1 T^{-1}]$ . Их произведение имеет размерность **мощности**  $[L^5 T^{-5}]$  и характеризует поток кинетической энергии.

Уравнение поведения открытой механической системы, по аналогии с электротехникой, может иметь вид  $F = X v$ , где  $X$  – коэффициент пропорциональности, связывающий силу и скорость, должен иметь размерность

$$[X] = [F] / [v] = [L^4 T^{-4}] / [L^1 T^{-1}] = [L^3 T^{-3}].$$

Такой коэффициент пропорциональности не может быть массой  $m$ , поскольку масса участвует в уравнении второго закона Ньютона:

$$F = m a,$$

где ускорение имеет размерность  $[a] = [L^2 T^{-1}]$ , а масса  $[m] = [L^3 T^{-2}]$ . Таким образом, коэффициент  $X$  имеет размерность «масса в единицу времени», т.е. скорость течения массы. Предметная область, в которой сила и скорость связаны с течением массы, известна – это реактивное движение, которое используется в ракетной технике.

Любой ракетный двигатель тем или иным способом выбрасывает из ракеты некоторую массу, запас которой (так называемое рабочее тело) находится внутри ракеты [79, с.22-23]. На выбрасываемую массу со стороны ракеты действует некоторая сила, и такая же сила, но в противоположном направлении, действует на ракету; она называется силой тяги, которую обозначим  $F$ . Сила тяги пропорциональна скорости выбрасываемой массы и величине массы, расходуемой в единицу времени. Скорость выбрасываемой массы, скорость истечения по отношению к ракете, обозначим  $v$ . Секундный расход массы, который обозначим  $q$ , это и есть в данном случае наш коэффициент  $X$ . Его размерность масса в единицу времени, т.е.  $[L^3 T^{-3}]$ .

Таким образом, роль материальной характеристики, метрики в данной предметной области играет секундный расход массы. Заметим, что воздействием является сила, т.е. продольная величина, следовательно, речь идет об открытой системе. Действительно, ракета



выбрасывает массу в окружающую среду, следовательно, оказывает на нее воздействие. Для замкнутой системы воздействием является скорость. Уравнения должны быть записаны в обратном порядке, а метрической характеристикой будет величина, обратная по размерности секунднему расходу массы, т.е.  $[L^{-3} T^3]$ .

Полученное описание в терминах LT-таблицы, воздействий и откликов, продольных и поперечных величин позволяет построить сетевую модель для систем, реализующих принцип реактивного движения. Интересно, что величины одной размерности в терминах LT могут в одной предметной области быть метрической характеристикой, а в другой играть роль воздействий – откликов. Например, величина  $[L^3 T^{-3}]$ : здесь это секундный расход массы, метрическая мера связи силы и скорости; а в электротехнике это величина тока, который может быть воздействием или откликом.

В LT-таблице получаем четверку клеток-величин, определяющих потоки энергии в данной предметной области, которые образуют две тройки «воздействие – сопротивление – отклик» для замкнутых систем и для разомкнутых систем.

Воздействие-сила  $[L^4 T^{-4}]$ , отклик-скорость  $[L^1 T^{-1}]$ , мера инерции (метрика)  $[L^3 T^{-3}]$  – для открытых систем.

Отклик-сила  $[L^4 T^{-4}]$ , воздействие-скорость  $[L^1 T^{-1}]$ , мера инерции (метрика)  $[L^{-3} T^3]$  – для замкнутых систем.

**3. Гидродинамические системы.** В гидродинамике воздействиями и откликами являются поток жидкости (объем в единицу времени) и давление (сила, оказывающая воздействие на единицу площади). Давление  $p$  является продольной величиной, измеряется в каждой точке приложения, имеет размерность  $[p] = [L^2 T^{-4}]$ . Поток жидкости (скорость изменения объема)  $q$  является поперечной величиной, измеряется как разность положения тела в двух точках в единицу времени, имеет размерность  $[q] = [L^3 T^{-1}]$ . Размерность произведения давления и потока жидкости имеет размерность **мощности**  $[L^5 T^{-5}]$ , и характеризует поток энергии, связанный с течением жидкости.

Уравнение поведения открытой гидродинамической системы, по аналогии с электротехникой, может иметь вид  $p = X q$ . Здесь  $X$  – коэффициент пропорциональности, связывающий давление и поток жидкости, т.е. играющий роль «сопротивления», который должен иметь размерность:

$$[X] = [p] / [q] = [L^2 T^{-4}] / [L^3 T^{-1}] = [L^{-1} T^{-3}].$$

Такой коэффициент пропорциональности мог бы быть вязкостью  $\eta$ , поскольку вязкость характеризует внутреннее трение в жидкости, и, таким образом является «мерой инерции», сопротивления потоку, метрической характеристикой. Однако вязкость имеет другую

размерность, которая следует из основного закона вязкого течения, установленного Ньютоном в 1687 году [124, с. 99]:

$$F = \eta (v_2 - v_1) S / (z_2 - z_1),$$

где

- $F$  – тангенциальная (касательная) сила, вызывающая сдвиг слоев жидкости (газа) друг относительно друга;

- $S$  – площадь слоя, по которому происходит сдвиг;

- $(v_2 - v_1) / (z_2 - z_1)$  – градиент скорости течения (быстрота изменения от слоя к слою);

- $\eta$  – коэффициент пропорциональности, который называется коэффициентом динамической вязкости, или просто вязкостью.

Таким образом, вязкость численно равна тангенциальной силе, приходящейся на единицу площади, необходимой для поддержания разности скоростей, равной единице. Отсюда следует, что размерность вязкости равна  $\eta = [L^2 T^{-3}]$ , а это совсем не та размерность, которая должна была бы связывать давление и поток жидкости в качестве «сопротивления».

Уравнение поведения замкнутой гидродинамической системы, по аналогии с электротехникой, может иметь вид  $q = X^{-1} p$ . Здесь  $X^{-1}$  – коэффициент пропорциональности, связывающий поток жидкости и давление, т.е. играющий роль «проводимости». Это величина, обратная метрическому коэффициенту в уравнении разомкнутой гидродинамической системы.

$$[X^{-1}] = [q] / [p] = [L^3 T^{-1}] / [L^2 T^{-4}] = [L^1 T^3].$$

Величина, обратная вязкости, которая могла бы играть здесь роль коэффициента пропорциональности, называется текучесть  $\phi = 1/\eta$ , она имеет размерность  $\phi = [L^{-2} T^3]$ , а это совсем не та размерность, которая должна связывать поток жидкости и давление.

Отсюда следует, что уравнение описания ламинарного течения, где имеется прямая пропорциональная зависимость между давлением и потоком жидкости, должно иметь другую форму, и удовлетворять некоторым ограничениям. Эти ограничения показывают, что не всякую задачу течения жидкости можно представить прямой связью давления и потока жидкости, а только достаточно простые задачи, которые вместе с тем могут представлять теоретический и практический интерес. Прямая пропорциональность между давлением и потоком жидкости есть в законе Пуазейля, который справедлив для нормальных вязких жидкостей, протекающих через капилляр (тонкую цилиндрическую трубку, в которой течение ламинарное).

$$q = k d^4 (p - p_0) / l = \pi/128 * (d^4 / \eta) * (p - p_0) / l,$$

где

- $d$  – диаметр трубки, размерность  $[d] = L^1$ ;

- $l$  – длина трубки, размерность  $[l] = L^1$ ;

- $p$  – давление, размерность  $[p] = [L^2 T^{-4}]$ ;
- $\eta$  – коэффициент вязкости, размерность  $[\eta] = [L^2 T^{-3}]$ .

Если подставим все размерности в уравнение закона Пуазейля, то получим, что уравнение полностью удовлетворяется по балансу размерностей, а размерность коэффициента  $X^{-1}$ , связывающего поток жидкости и давление, включает в себя не только вязкость, но и объем.

$$[X^{-1}] = [q] / [p] = [d^4 / (\eta l)] = [L^4] / ([L^2 T^{-3}] [L^1]) = [L^3] / [L^2 T^{-3}] = [L^1 T^3].$$

Этот коэффициент можно рассматривать как новую физическую величину, которая выражает «объемную текучесть», т.е. совокупную текучесть всего объема трубки, и удовлетворяет всем условиям связи потока жидкости с продольными и поперечными величинами. Записав закон Пуазейля в обратном порядке, получим аналогичную «объемную вязкость»  $X$ , размерность которой равна

$$[X] = [p] / [q] = [L^{-1} T^{-3}].$$

Такое описание, в терминах ЛТ-таблицы, воздействий и откликов, продольных и поперечных величин в гидродинамике позволяет построить сетевую модель для систем, реализующих процесс передачи потоков жидкости, например нефти, и нефтепродуктов. Одна из предметных областей, в которой жидкость движется через капилляры, известна – это движение нефти в месторождениях через пористую породу к области забора добывающей скважины (или движение жидкости в породе от нагнетательной скважины). В ЛТ-таблице можно выделить четверку клеток-величин, определяющих потоки энергии в данной предметной области, которые образуют две тройки «воздействие – сопротивление – отклик» для замкнутых систем и для разомкнутых систем:

Воздействие-давление  $[L^2 T^{-4}]$ , отклик-поток  $[L^3 T^{-1}]$ , мера инерции (метрика) – «объемная вязкость»  $[L^{-1} T^{-3}]$  – для открытых систем

Отклик-давление  $[L^2 T^{-4}]$ , воздействие-поток  $[L^3 T^{-1}]$ , мера инерции (метрика) – «объемная текучесть»  $[L^1 T^3]$  – для замкнутых систем.

Рассмотренные примеры показывают реализацию основных принципов сетевого моделирования. Большинство сложных систем соединяет в единой конструкции несколько сетей преобразования и передачи потоков энергии разного вида. Потоки электромагнитной и механической энергии соединены в конструкции электрических машин, которые называют электромеханическими преобразователями. Потоки химической, тепловой и механической энергии связаны в конструкции различных систем стрелкового оружия.

Каждой предметной области в ЛТ-таблице соответствует «пятерка» клеток-величин. Две из них определяют воздействия и отклики, которые меняются местами в замкнутых и открытых системах. Две другие представляют *отношения* между воздействиями и откликами; продольными и поперечными величинами, которые являются обратными для замкнутых и открытых систем.

Пятая величина – мощность, *произведение* продольных и поперечных величин, которая характеризует потоки энергии через систему в данной предметной области. Можно классифицировать все предметные области по «структуре» их представления в ЛТ-таблице. Более того, для многомерных процессов возникают свои конфигурации величин, которые взаимодействуют между собой, а также с одномерными процессами. Их также надо включить в классификацию. Такая таблица с конфигурацией отношений между величинами воздействий – сопротивлений – откликов в замкнутых и открытых системах для одномерных и многомерных процессов может применяться не только для классификации известных систем, но и для предсказания, прогнозирования новых видов систем, которые еще неизвестны в настоящее время.

Вместе с тем для процессов всех систем, а также их подсистем характерны понятия «воздействие – сопротивление – отклик», которые соответствуют физически измеримым продольным и поперечным величинам, в зависимости от замкнутого или открытого характера системы (подсистемы). Это позволяет моделировать системы любой структурной сложности измеримыми величинами с помощью представления потоков энергии, протекающих через сетевые конструкции. Каждой подсистеме с потоком энергии одного вида соответствует своя сетевая конструкция. Эти сетевые конструкции, представленные соответствующими сетевыми моделями, структурно соединены между собой и обмениваются потоками энергии.

### **1.3 Принципы двойственности для моделирования замкнутых и открытых систем**

В этой связи рассмотрим основные понятия и величины, которые возникают в системе при прохождении через нее потоков энергии в результате внешнего или внутреннего воздействия.

#### **Принцип открытых и замкнутых систем**

Принцип продольных и поперечных величин, воздействий и откликов.

#### **Продольные и поперечные величины с их отличием по способу измерения.**

Понятия, характеризующие процессы систем (ЛТ-измерители), и понятия структуры систем связывает совокупность зависимостей, таких как:

- закрытость (внутренние воздействия) и открытость (внешние воздействия) системы;
- замкнутые и разомкнутые пути в структуре;
- характеристики потока энергии по отношению к способу измерения;
- ковариантность и контравариантность.

Пусть на невозбужденную систему оказано воздействие, в ней возникли процессы в виде потоков энергии, проходящих по элементам, и преобразуемых материей этих элементов. Воздействия могут быть внешними, т.е. со стороны источников энергии, расположенных вне системы. При этом преобразование потоков энергии происходит в разомкнутых путях, которые

являются переменными, определяющими базис системы координат. Начало и конец разомкнутого пути могут играть роль входа и выхода для взаимодействия со средой вне системы. Таким образом, тогда происходит взаимодействие системы с внешней средой, это **открытая система**.

Воздействия могут быть внутренними, т.е. со стороны источников энергии, расположенных внутри системы, в ее элементах. Тогда преобразования потоков энергии происходят в замкнутых путях, которые являются переменными, внутри системы. При этом не происходит взаимодействия системы с внешней средой, это **закрытая система**.

В 30-х годах Файрстоун писал, что величины, которые характеризуют величину потока энергии, делятся на две группы по отношению к способу их измерения. Это продольные величины (*through variables* – сквозной, от начала до конца) и поперечные величины (*across variables* – через, в поперечном направлении, на концах – о потенциалах). Одни измеряются в одной точке и называются *продольные* величины; это сила, ток, поток жидкости, поток тепла, поток массы. Другие – как разность измерений в двух пространственно различных точках и называются *поперечные* величины: скорость, напряжение, давление, температура и концентрация (химический потенциал).

Например, в электрической цепи ток измеряется в одной точке (амперметром), а напряжение – как разность потенциалов в двух точках. В механических системах сила измеряется в точке приложения, а скорость – как разность двух положений точки за единицу времени. В гидравлических системах: давление – в одной точке, а поток жидкости – как разность значений в двух точках. Физические размерности продольных и поперечных величин различны. При моделировании необходимо это учесть.

Введенные термины отражают суть этих двух типов величин по отношению к измерению. Измерение в одной точке характеризует одномерную линию движения, а измерение в двух точках соответствует двум поверхностям «поперек» к данной линии движения. В совокупности две такие величины характеризуют объемную величину в трехмерном пространстве – в данном случае поток энергии.

**Произведение каждой пары продольной и поперечной переменных имеет физическую размерность мощности**, т.е. энергии в единицу времени, или потока энергии [154].

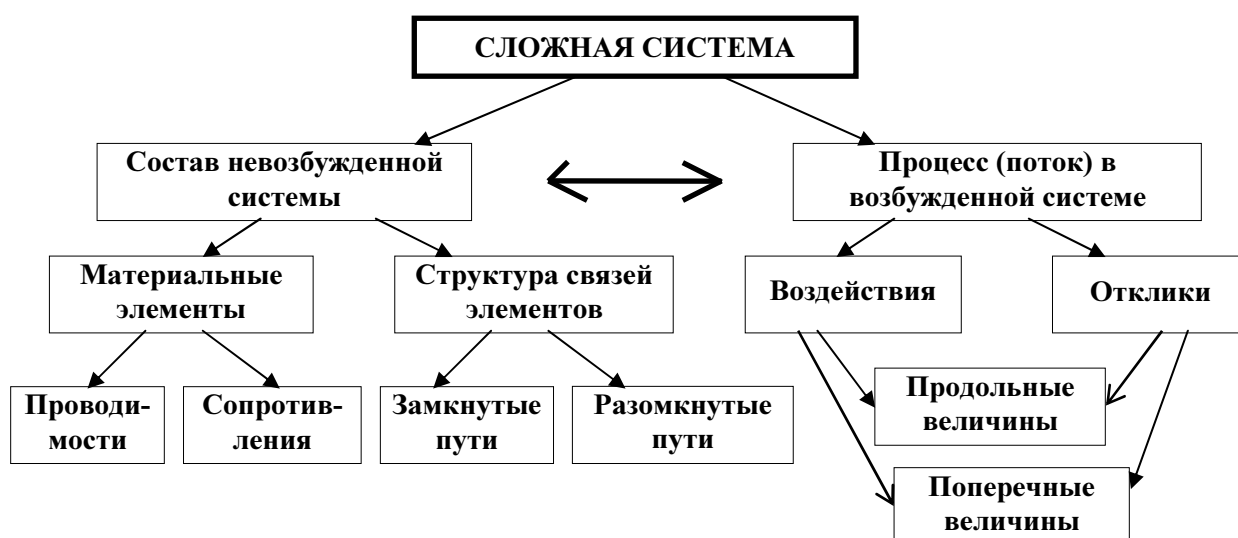
Материя элементов имеет свойства сопротивления (проводимости); структура определяет замкнутые и разомкнутые пути. Поток определяют измеримые в элементах воздействия и отклики, их роль играют продольные или поперечные величины (измеряемые в одной точке или как разность значений в двух точках), в зависимости от типа структуры. Принципы и виды двойственности представлены на рисунке 1.1 для системы, в которой один процесс протекает в структуре из одномерных элементов.

Выше отмечалось, что величины воздействия и отклика по способу их измерения делятся на два типа:

- величины, которые измеряют в одной точке (например, электрический ток), – продольные величины;
- величины, которые измеряют как разность значений в двух пространственно различных точках, (например, электрическое напряжение измеряется как разность значений потенциала между эквипотенциальными поверхностями); – поперечные величины.

Воздействие и отклик, составляющие вектор потока энергии, всегда представлены парой: продольной величиной и поперечной величиной.

Физико-геометрический смысл таких двойственных пар определяется природой потока энергии, как объема, движущегося в определенном направлении. Продольная величина измеряет составляющую потока в направлении движения – например, поток жидкости или электрический ток. Поперечная величина измеряет составляющую потока по сечению, перпендикулярному (ортогональному, в криволинейном случае) направлению движения. Такая парность характеристик потока (обычно речь идет о потоке энергии) определяется наличием трех измерений наблюдаемого пространства. Поперечная величина определяется как разность значений на плоскостях (поверхностях), перпендикулярных (ортогональных) направлению движения потока, и отстоящих друг от друга на единицу расстояния. Таким образом, поперечная величина как бы соответствует двум измерениям. Геометрический смысл состоит в том, что одномерное измерение продольной величины вдоль линии, умноженное на двумерное измерение поперечной величины соответствует объемному (трехмерному) течению потока, в данном случае – потока энергии.



**Рисунок 1. Отношения между характеристиками невозбужденной и возбужденной системы**

Физические величины воздействий и откликов, характеризующие потоки энергии, по типу измерения (продольные и поперечные) для открытых и закрытых систем меняются местами. Базисом для процессов в открытой системе являются разомкнутые пути. Базисом для процессов в закрытой системе являются замкнутые пути. Отношения между типами воздействий и откликов для открытых и замкнутых систем представлены в таблице 2.

**Таблица 2. Характер воздействий и откликов открытых и замкнутых систем**

	Воздействие	Отклик
Замкнутая система, базис определяют замкнутые пути	Поперечная величина	Продольная величина
Открытая система, базис определяют разомкнутые пути	Продольная величина	Поперечная величина

Например, для электрической цепи. Источники напряжения (поперечная величина) расположены в ветвях самой цепи, являются внутренними воздействиями. Отклики, токи (продольная величина) возникают в контурах, т.е. в замкнутых путях. Этому соответствует контурный метод расчета. Проводим расчет контурных токов (в независимых, базисных контурах), по ним – токи в ветвях и падения напряжения на ветвях. Токи и напряжения на ветвях в совокупности и являются решением задачи, описывают процесс – поток электрической энергии в цепи.

Источники тока (продольная величина) являются внешними воздействиями, они расположены вне цепи и действуют через узлы входа и выхода. Отклики, напряжения (поперечная величина) возникают на парах узлов, т.е. в разомкнутых путях. Этому виду воздействия соответствует узловый метод расчета. Независимые, базисные пары узлов соответствуют разомкнутым (открытым) путям базиса в данном случае. Проводим расчет напряжений между узлами (начало и конец разомкнутого пути), по ним – падения напряжений на ветвях и токи в ветвях. Напряжения и токи на ветвях в совокупности и являются решением задачи, описывают процесс – поток электрической энергии в цепи.

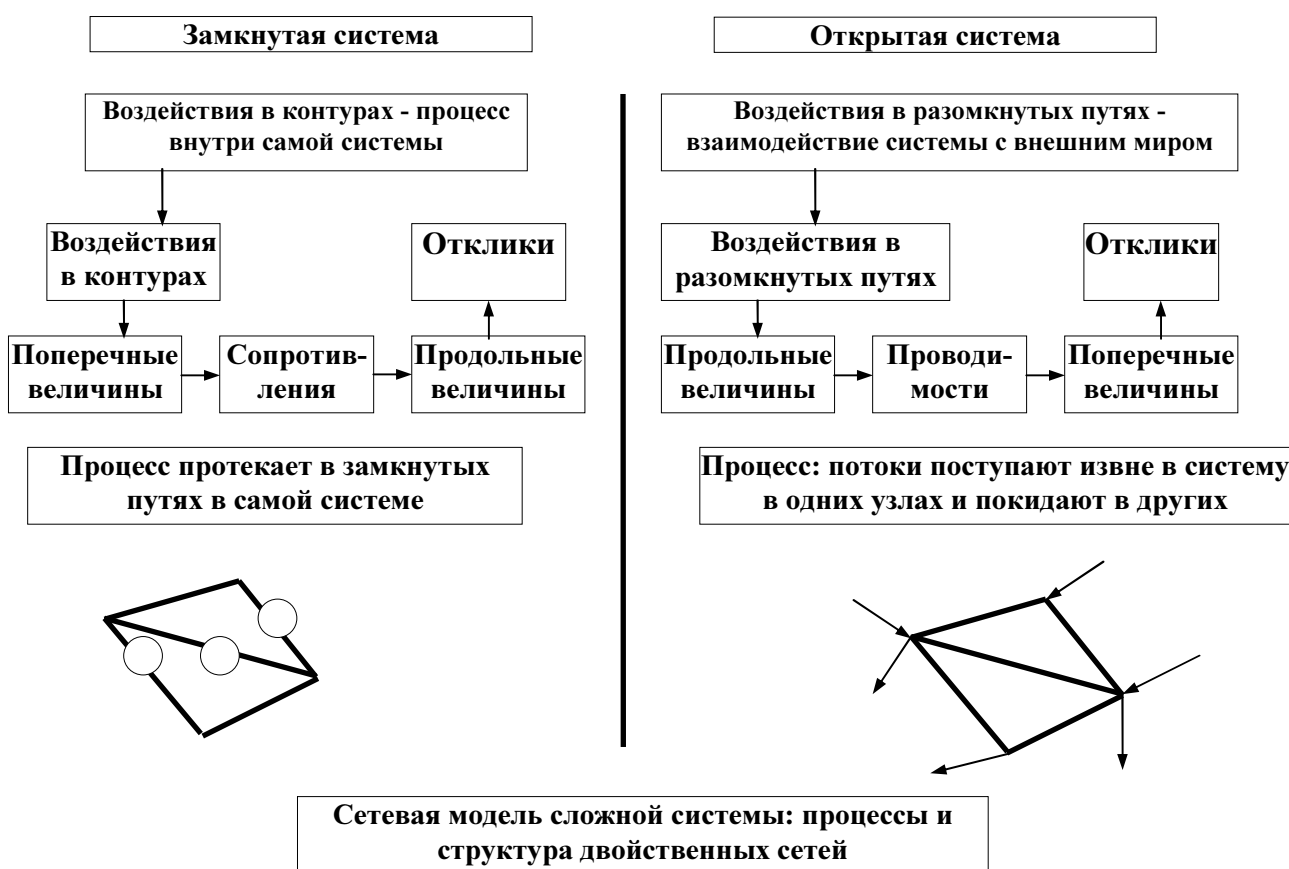
Продольные величины играют роль контравариантных компонент вектора, а поперечные величины – роль контравариантных компонент. Мощность представляет собой, таким образом, **квадрат величины вектора**, т.е. вектора потока энергии. Продольные и поперечные величины в описании процессов могут играть роль, как воздействий, так и откликов, но содержание этой роли зависит от структуры связей элементов системы, по которой распространяются и преобразуются потоки энергии. Произведение продольной и поперечной величин по физической размерности равно мощности (характеризует поток энергии, энергия в единицу времени). Геометрическая размерность произведения продольной и поперечной величин соответствует объему пространства.

Продольные и поперечные величины в этом отношении представляют компоненты вектора потока энергии в системах координат прямого базиса (вдоль линий координат) и взаимного базиса

(на векторах, которые касательные к гиперплоскостям, которые ортогональны к линиям координат). Например, электрическое напряжение определяют как разность потенциалов между эквипотенциальными поверхностями, ортогональными проводнику с током.

В каждой предметной области произведение соответствующих пар продольных и поперечных величин имеет физическую размерность мощности (потока энергии). В терминах LT-таблицы это  $[L^5 T^{-5}]$ . Например, электрические ток и напряжение; в механике сила в точке и скорость (как разность положения тела в двух точках в единицу времени); в гидродинамике поток жидкости (объем в единицу времени) и давление; в термодинамике поток тепла и температура; поток массы и концентрация (химический потенциал) и т.д. Распределение размерностей в каждой паре различное, но произведение имеет размерность  $[L^5 T^{-5}]$ . Например, ток имеет размерность  $[L^3 T^{-3}]$ , а напряжение –  $[L^2 T^{-2}]$ ; давление –  $[L^4 T^{-2}]$ , а поток жидкости –  $[L^1 T^{-3}]$ , и т.д. Образно говоря, если мир сложен из одинаковых кирпичей потока энергии, то в разных предметных областях эти кирпичи сложены из разных блоков. На рисунке 2 представлены двойственные отношения между продольными и поперечными величинами для замкнутых и открытых систем.

**Процесс протекает в замкнутых путях при внутреннем воздействии или в разомкнутых путях при внешнем воздействии**



**Рисунок 2. Двойственность замкнутых и открытых сложных систем**



Продольные величины играют роль контравариантных компонент вектора, а поперечные величины – роль ковариантных компонент. Мощность представляет собой, таким образом, **квадрат величины вектора**, т.е. вектора потока энергии. Продольные и поперечные величины в описании процессов могут быть как воздействиями, так и откликами, в зависимости от структуры связей элементов системы.

#### 1.4 Тензорные принципы преобразования измеримых величин при изменении структуры

Суть тензорного метода состоит в признании инвариантности объекта в пространстве (вектора, многомерного объема в геометрии; измеряемой величины в физике, технике или экономике). Реальный объект, измеряемый с помощью введенной меры, существует в пространстве независимо от заданных наблюдателем субъективных систем координат, в которых объект представлен своими компонентами (измерен), и вообще независимо от измерений. Если компоненты объекта при изменении системы координат преобразуются по линейным законам, то это является признаком измеримости объекта и такой объект называется тензором.

Если тензор имеет ненулевые компоненты в одной системе координат, то он будет иметь ненулевые компоненты в любой системе координат. И, наоборот, если тензор имеет нулевые компоненты в одной системе координат, то он будет иметь нулевые компоненты в любой другой. Таким образом, реальный объект не исчезает при изменении координат, и не возникает из ничего.

При изменении системы координат, компоненты объекта могут меняться по двум законам:

- по такому же закону, как векторы базиса системы координат – ковариантные компоненты (обозначают нижними индексами);
- по закону, противоположному закону изменения векторов базиса системы координат – контравариантные компоненты (обозначают верхними индексами).

Пусть в  $n$ -мерном пространстве задан базис одной системы координат  $b_\alpha = (b_1, \dots, b_n)$  и базис другой системы координат  $k_\beta = (k_1, \dots, k_n)$ . Преобразование компонент одного базиса в другой осуществляется по формуле  $k_\beta = C^\alpha_\beta b_\alpha$ , где  $C^\alpha_\beta$  - матрица преобразования, в элементах строк которой находятся коэффициенты, показывающие, как выражается каждый вектор нового базиса через векторы старого базиса. Компоненты произвольного вектора преобразуются контравариантно по отношению к преобразованию векторов базиса, с помощью матрицы преобразования  $A_\alpha^\beta$ , ортогональной по отношению к матрице  $C^\alpha_\beta$ . Произведение ортогональных матриц дает единичную матрицу.

В общем виде **тензор** – это геометрический объект в пространстве  $n$  измерений, который в каждой точке задан  $(p + r)$  параметрами-функциями, имеющими  $n$  проекций-компонент по каждой оси координат:

$$T_{\beta_1, \dots, \beta_p}^{\mu_1, \dots, \mu_r} \quad (1.1)$$

При этом  $p$  компонент преобразуются как ковариантные, т.е. матрицей  $C_{\alpha}^{\beta}$ , а  $r$  – как контравариантные – обратной матрицей  $C^{\alpha}_{\beta}$ . Формула преобразования **тензора**  $T$ ,  $p$  раз ковариантного и  $r$  раз контравариантного, по определению, имеет вид:

$$T_{\beta_1 \dots \beta_p}^{\mu_1 \dots \mu_r} = C_{\nu_1}^{\mu_1} \dots C_{\nu_r}^{\mu_r} C_{\beta_1}^{\sigma_1} \dots C_{\beta_p}^{\sigma_p} T_{\sigma_1 \dots \sigma_p}^{\nu_1 \dots \nu_r} \quad (1.2)$$

Таким образом, при переходе от одной системы координат к другой компоненты тензора преобразуются линейно и однородно, тип тензора определяется законом преобразования его компонент, а общее число индексов называется рангом тензора.

Базис системы координат может быть «прямой», т.е. по единичным векторам, касательным к линиям координат. При изменении системы координат векторы прямого базиса преобразуются ковариантно; обозначаются, например,  $b_{\alpha}$ . Базис системы координат может быть «взаимный», т.е. по координатным гиперплоскостям, ортогональным к линиям координат, и определяться касательными векторами к данным гиперплоскостям. Векторы взаимного базиса преобразуются противоположно векторам прямого базиса, т.е. контравариантно; обозначаются, например,  $b^{\alpha}$ .

Прямой и взаимный базисы с точки зрения математики равноправны, произвольный вектор можно разложить по векторам любого из них. Значения компонент вектора (проекций) будут при этом различны. Любой вектор имеет компоненты *четырёх* типов, относящихся к прямому и взаимному базисам. Это контравариантные и ковариантные компоненты вектора в прямом базисе, а также ковариантные и контравариантные компоненты во взаимном базисе.

Таким образом, геометрический объект можно представить (измерить) в различных системах координат контравариантными и ковариантными компонентами в прямом и взаимном базисах. Значения компонент для разных систем координат меняются, но объект остается прежний (пока с ним самим не происходит изменений). В геометрии такой подход называется пассивной точкой зрения на преобразование координат; на этом построен тензорный анализ.

Линии координат имеют единичную размерность, ортогональные им гиперплоскости в  $n$ -мерном пространстве имеют размерность  $(n - 1)$ . Таким образом, прямой и взаимный базисы дополняют друг друга до полного пространства. Вообще говоря, можно представить себе в многомерном пространстве другие пары взаимных координат: 2-мерные элементы (поверхности) и  $(n - 2)$ -мерные (гиперплоскости), 3-мерные элементы (объемы) и  $(n - 3)$ -мерные, и т.д. Совокупная

размерность (геометрическая) каждой пары составляет полную размерность рассматриваемого  $n$ -мерного пространства.

**Простейшая система и эталонная система в сетевом моделировании.** В пространстве-структуре возникает понятие простейшей системы и эталонной системы. Эти понятия играют важную роль при построении математических моделей систем (в том числе, экономических систем), анализе поведения систем при изменении структуры, а также при расчете целого (большой системы) по частям, с использованием параллельных вычислений. Свойства тензоров проявляются здесь в том, что расчет системы, включая вывод уравнений поведения, производится только для одной, простейшей структуры. Например, для отдельных, свободных элементов. Расчет, решение для любой другой структуры (и последующий анализ ее поведения) производится как преобразование координат, на основе полученного решения для простейшей системы.

Отсюда возникает необходимость для исследуемой системы, для которой метод решения еще не разработан, построить эквивалентную модель с помощью другой системы, для которой метод решения уже разработан.

**Физическое пространство и математическое пространство.** Физическое пространство, в котором существуют реальные системы, рассматривается как пространство потоков энергии. Все величины, составляющие поток энергии, то есть, воздействия и отклики, а также характеристики «инерционности» материальной среды, представляют собой его компоненты. Эти характеристики представлены как ковариантные и контравариантные компоненты в системах координат замкнутых и разомкнутых путей (прямой и взаимный базисы) пространства-структуры системы.

Например, в системе (сети) хозяйствующих субъектов воздействиями являются совокупность финансовых инструментов (капитализация, инвестиции, инструменты рынков заемного капитала, включая фондовые рынки). Откликами являются потоки продуктов, а также их изменения (по объему выпуска, направлению потоку и номенклатуре) в соответствии с приложенными финансовыми воздействиями. Сопротивление «материальной среды» (системы производства) проявляются в пропорциях между величиной воздействия и величиной отклика, а также в задержках (лагах) между воздействием и откликом (например, выделением финансирования и ростом производства).

Такая трактовка физического пространства соответствует математическому определению пространства, как множества однородных объектов (точек). Отличие состоит в том, что векторы, составляющие такое пространство (потоки энергии), их компоненты в системах координат (воздействия и отклики) имеют разные **физические размерности** и могут существовать в элементах разной **геометрической размерности**.

Однако, метрические «элементы», т.е. материальные характеристики природного вещества, которое составляет рассматриваемые системы, где протекают процессы в виде потоков энергии, в такую трактовку не вписываются. Более того, материя, составляющая элементы

сложных систем, существует и в отсутствии возбуждения, вызванного потоками энергии. Свойства элементов определяют поведение потоков энергии, когда они попадают в систему. Крон назвал невозбужденную сеть «мертвая сеть», а возбужденную – «живая сеть».

Например, система производства, при отсутствии энергетических ресурсов, финансовых ресурсов, сырья, рабочей силы ничего не производит, потоки продуктов в ней не протекают, капитал «омертвлен» и прибыли не приносит.

Таким образом, для исследования поведения процессов в системах с переменной структурой рассматривается двойная конструкция пространства. Во-первых, сеть (возможно, многомерная), состоящая из соединенных элементов, обладающих метрическими характеристиками (или без них), свойствами базисов замкнутых и разомкнутых путей, двойственной сетью и инвариантом двойственных сетей. Во-вторых, наложенные на эту «мертвую» сеть потоки энергии, которые ее возбуждают, «оживляют»; их компоненты распределяются по элементам, в соответствии с их метрическими параметрами и структурой.

Возможность измерения в пространстве вводится через понятие метрики, которое обобщает понятие масштаба измерения. Для этого необходимо задать единичный масштаб по каждой оси координат, т.е. *величину* некоторых векторов принимают за единицу измерения. Величина компонент других объектов измеряется по отношению к заданным единичным векторам.

Из понятий линейной независимости векторов, базисов, ковариантных и контравариантных законов преобразования не следует понятие *расстояние между двумя точками* векторного пространства. То есть, если заданы ковариантные или контравариантные источники воздействия, то материальные свойства системы определяют отклики.

Например, недостаточно профинансировать поставки на предприятие сырья, комплектующих изделий, рабочей силы и т.д. Необходимо, чтобы всему этому соответствовали машины и оборудование, технологии производства, которыми должно располагать предприятие для производства продуктов надлежащей конкурентоспособности. Последнее важно потому, что если производимые продукты не могут конкурировать с продуктами других участников рынка, то замыкания процесса производства на спрос и потребление не произойдет, предприятие, по сути, останется «мертвым».

Это отмечал И. Кант, рассуждая о различии между синтетическими и аналитическими суждениями. «Что прямая линия есть кратчайшая между двумя точками, это – синтетическое понятие, так как мое понятие прямого не содержит ничего о величине, а содержит только качество. Понятие кратчайшего, следовательно, целиком прибавляется, и никаким расчленением не может быть извлечено из понятия прямой линии. Здесь, следовательно, необходимо прибегнуть к помощи созерцания, посредством которого только и возможен синтез» [41].

Следующий шаг относится к построению типа пространства и тех инвариантов, которым соответствует группа преобразований. Понятие группы играет ключевую роль. Группа объединяет множество объектов, с которыми можно производит одно действие, одну операцию. Преобразования координат образуют группу, и это гарантирует, что при построении математической модели системы мы не выйдем за пределы пространства и ничего не потеряем, оставаясь в рамках таких преобразований.

**Метрика как мера материальных характеристик элементов систем.** В геометрии метрика вводится через понятия скалярного произведения и двойственного пространства. Вейль отмечает, что *двойственное пространство* синтезируется с ранее введенными понятиями, а не выводится из них аналитически. Это необходимо для введения понятия *абсолютной величины вектора* с помощью квадрата абсолютной величины вектора  $\mathbf{r}$ , который есть действительное число  $r^2$  [25]. В случае евклидовой геометрии  $r^2$  является суммой квадратов компонент вектора, а в общем случае – это положительно определенная эрмитова форма от компонент вектора  $\mathbf{r}$ .

Выбранная мера вводится через метрический (фундаментальный) тензор. Он определяется как произведение локальных векторов прямого базиса, дважды контравариантный тензор:

$$g^{\alpha\beta} = \mathbf{b}^\alpha \cdot \mathbf{b}^\beta, \quad (1.3)$$

или как произведение векторов взаимного базиса, дважды ковариантный тензор

$$g_{\alpha\beta} = \mathbf{b}_\alpha \cdot \mathbf{b}_\beta = (g^{\alpha\beta})^{-1}.$$

При изменении системы координат метрический тензор преобразуется двукратным умножением на матрицу преобразования. Наиболее простой метрический тензор представлен единичной матрицей. Ему соответствует декартово пространство с прямоугольными координатами, в котором ковариантные и контравариантные компоненты не различаются.

Метрический тензор преобразует ковариантные компоненты в контравариантные компоненты, как векторов базиса  $\mathbf{b}_\beta$ , так и произвольно заданных векторов  $\mathbf{r} = r^\alpha \mathbf{b}_\alpha$ , и наоборот. В тензорном анализе данная операция называется подниманием и опусканием индексов.

$$\mathbf{b}^\beta = g^{\alpha\beta} \cdot \mathbf{b}_\alpha, \mathbf{r}^\beta = g^{\alpha\beta} \cdot r_\alpha, \text{ или } \mathbf{b}_\alpha = g_{\alpha\beta} \cdot \mathbf{b}^\beta, r_\alpha = g_{\alpha\beta} \cdot r^\beta \quad (1.4)$$

По физической сути, преобразование ковариантных компонент произвольного вектора в контравариантные компоненты есть общее представление уравнений описания процессов. Процессы рассматриваются как отклик системы на приложенное воздействие, преодолевающее сопротивление материи элементов. Характеристики материи элементов представляет метрический тензор. Если воздействием являются ковариантные компоненты вектора потока энергии, то откликом являются контравариантные компоненты. Наоборот, если воздействием являются контравариантные компоненты, то откликом – ковариантные компоненты.

Важной характеристикой произвольного вектора, который может представлять поток энергии в системе, является его абсолютная величина. Квадрат величины вектора равен сумме произведений его ковариантных и контравариантных компонент по осям координат.

$$\mathbf{r}^2 = \sum r^\alpha \cdot r_\beta \quad (1.5)$$

Ковариантные и контравариантные компоненты имеют обратные законы преобразования, поэтому квадрат величины вектора является **инвариантом** преобразования координат.

В электрической цепи мощность равна сумме произведений тока и напряжения по всем ветвям (квадрат величины вектора потока энергии), а сопротивление (импеданс) как метрический тензор связывает в уравнении закона Ома напряжение и ток, когда они играют роль воздействия или отклика. При изменении структуры ветвей вектор тока преобразуется по контравариантному закону, а вектор напряжения преобразуется по ковариантному закону. Первым это заметил Вейль в 1923 г. [161], а систематически применил в тензорном анализе сетей Крон в 1939 г. [56]. В дальнейшем Крон применял тензорный метод для моделирования физических и технических систем [141, 142, 143, 144, 145, 146], а также для разработки метода расчета сложных систем по частям (диакоптика) [55].

Поскольку квадрат величины вектора является инвариантом относительно преобразования координат, то предполагалось, что мощность в электрической цепи является инвариантом при изменении соединения ветвей. В реальности мощность меняется. Например, при соединении двух ветвей с источниками навстречу друг другу мощность уменьшается пропорционально разности мощности двух источников, а при соединении друг за другом, мощность, соответственно, увеличивается. На инварианте мощности основан вывод формул тензорного анализа сетей Крона. Возникло противоречие – метод расчета, основанный на инварианте мощности, давал правильные, проверяемые результаты, а сам инвариант не выполняется. Это стало предметом острых научных дискуссий на протяжении 30-70-тых годов прошлого столетия.

Данное противоречие было разрешено в 1981 г., а результаты опубликованы в 1985 г. в книге А.Е. Петрова. Оказалось, что рассеиваемая мощность в электрической цепи постоянна при изменении структуры связей, но только для **двух** цепей, структура которых является двойственной по отношению друг к другу. Это является основой разработанного в настоящее время тензорного метода двойственных сетей [102, 103, 104,105].

### **Тензорная методология в теории систем**

В теории систем применение тензорного метода имеет ряд особенностей. Понятие тензора рассматривается более широко в теоретическом, методологическом, философском смысле. Под тензором следует понимать не просто геометрический объект, а реально существующую величину, которая дана нам в ощущениях через измерение. Тензор как величина однозначно

определяется своими компонентами в системе координат в пространстве, где производится измерение.

Имеется существенное различие тензорного метода в теории систем и физике по отношению к преобразованию пространства. В физике размерность пространства постоянна при изменении координат. В теории систем при изменении структуры меняется размерность подпространств замкнутых и разомкнутых путей. Замыканию разомкнутого пути соответствует размыкание замкнутого пути. При соединении и разъединении меняется число независимых замкнутых путей, и, естественно, разомкнутых путей. Меняется размерность подпространств: при соединении размерность подпространства замкнутых путей растет, для разомкнутых путей она уменьшается, а при разъединении наоборот. Матрицы преобразования базисов путей оказываются прямоугольными, они не имеют обратных матриц, т.е. не образуют группу в ее классическом понимании. Процедура соединения или разъединения становится вырожденной, если преобразование производится от меньшей размерности к большей размерности.

Это делает неопределенным расчет изменения процессов при изменении структуры. Изменение размерности подпространств в сети является причиной изменения мощности.

Решением проблемы является двойственность. Найден инвариант преобразования структуры **двух двойственных сетей**, в которых разомкнутому пути в одной сети соответствует замкнутый путь в другой сети, и наоборот. Этот инвариант представляется как сумма метрических тензоров двух двойственных сетей, образующих единое пространство. Данный инвариант связывает матрицы преобразования  $C$  данной сети и матрицы преобразования  $A$  двойственной сети:

$$C (C_t C)^{-1} C_t + A (A_t A)^{-1} A_t = I \quad (1.6)$$

Существование нового инварианта позволило построить единый алгоритм для расчета изменения параметров процессов при любых изменениях структуры сетей [183]. Эти результаты обеспечивают возможность исследования отношений процессов и структуры для многомерных сетей, построения соответствующих алгоритмов. Постоянство мощности в сумме двух двойственных электрических цепей при изменении структуры является проявлением **закона сохранения потока энергии**.

Без тензорного метода с инвариантом двойственных сетей невозможно построение моделей, которые одновременно описывают структуру и процессы в экономических, социальных системах, с целью управления динамикой их изменения.

Данный закон является развитием теоремы Нётер. Инвариантность функций Лагранжа различных физических полей относительно параллельных переносов и преобразований Лоренца (следствие однородности и изотропности пространства-времени Минковского) приводит по

теореме Нётер к тензору энергии-импульса и тензору момента количества движения поля и далее к законам сохранения энергии, импульса и момента количества движения [83].

Закон сохранения потока энергии связан со структурами, которые возникают в пространстве, и эти структуры не являются ни однородными, ни изотропными. Появляется двойственность, т.е. взаимное дополнение двух структур, образующих целое. Двойственность возникает из понятия ориентации. Поток может распространяться только в одном направлении в заданной сети. Он дополняется противоположно ориентированным потоком в двойственной сети.

Постоянство потока энергии, мощности в двойственных сетях наглядно представляет диаграмма в виде красно-синего мячика, до половины погруженного в «жидкость». Синяя часть – мощность в замкнутых путях, красная – в разомкнутых путях. При изменении структуры мячик «вращается» и над поверхностью меняются площади красного и синего цвета, но их сумма всегда постоянна. Нижняя половина, под «поверхностью» представляет сеть с двойственной структурой, где каждому замкнутому пути соответствует разомкнутый, и наоборот.

Сети разной размерности могут применяться для построения эквивалентных моделей тех предметных областей, которые им соответствуют. Это обеспечивает возможность исследовать на моделях свойства процессов и структуры систем, закономерности их преобразования.



## **Раздел 2. Разработка критериев и универсальных ЛТ-измерителей для создания тензорной модели информационных технологий**

### **2.1 Критерии измерения и оценки, сетевые модели процессов и структуры сложных систем**

**Критерии измерения и оценки.** Критерием оценки, сравнения результатов применения математических моделей, выбора структуры и управляющих параметров, является измеримая величина, определяющая эффективность поведения системы. Например, для хозяйствующих субъектов критерием эффективности является норма прибыли на вложенные средства, или изменение доли на рынке производимой и реализуемой продукции. Для социально-экономической системы критерием эффективности является поток энергии в год на каждого человека, динамика его изменения, а также его распределение по основным социальным группам. Критериями также являются: динамика изменение доли системы в мире (по ВВП и ВВП на душу населения в денежных и энергетических единицах), изменение численности и продолжительности жизни населения, другие известные показатели. Возникает вопрос о необходимости и достаточности количества критериев для решения поставленной задачи оценки состояния и прогноза динамики развития системы, расчета необходимых воздействий для управления устойчивым развитием.

Для расчета и оценки показателей различных критериев, а также общей оценки состояния системы и динамики ее развития, необходимо создать структурную схему, на которой разместить все потоки, протекающие в системе, характеристики (измеримые величины) этих потоков, места их взаимодействия в структуре (элементы, границы элементов). Такая схема должна стать результатом проведения системного обследования, ее можно применять для оценки тенденций поведения системы, прогноза ее развития. В такой схеме, на данном этапе моделирования, величины, которые характеризуют потоки, не обязательно связаны количественными уравнениями, точно определяющими отношения между измеримыми показателями.

Вместе с тем для точного расчета состояния и поведения системы (с учетом сделанных допущений), на основе структурной модели необходимо создать сетевую тензорную модель. В сетевой модели тензорные уравнения поведения между измеримыми ЛТ-величинами, должны быть связаны с матрицами описания структуры системы, матрицами преобразования путей при изменении структуры. Матрицы преобразования путей в переменной структуре и обеспечивают тензорный характер описания модели.

#### **Сетевые модели процессов и структуры сложных систем**

В качестве математической модели исследуемой системы рассматривается сеть, состоящая из элементов, которые соединены между собой. Элементы через соединения обмениваются потоками энергии через взаимные воздействия и отклики. Элементами сетевой

модели сложной системы могут быть не только одномерные отрезки, каналы распространения потоков энергии, но и двумерные, трехмерные, многомерные элементы, которые должны отображать процессы в обществе и экономике, в зависимости от их сложности. Сами элементы образуют материальное содержание системы, а их соединения – структуру связей.

Метод расчета изменения процессов при изменении структуры математической модели предназначен для исследования и расчета всех систем данного класса. Для этого описание каждой системы класса необходимо привести к виду описания эталонной системы, т.е. выразить математической моделью, которая описывает все особенности ее структуры и протекающих в ней процессов. Исследование поведения конкретной системы производится как расчет и анализ вариантов откликов в математической модели для различных видов структуры и значений воздействий, характеристик элементов.

Результаты проведенных на модели исследований интерпретируются на самой реальной системе для определения изменения ее состояния и прогнозирования поведения при различных условиях. Анализ результатов является основой для принятия решений при проектировании и управлении реальной сложной системой.

Такой методологический подход, когда системы одного класса рассматриваются как «проекции», конкретизации обобщенной системы, а среди всех этих систем выбирается одна в качестве эталонной для моделирования остальных систем, составляет суть применения тензорного метода в теории систем.

Виды сетевых моделей разных предметных областей представлены на рисунке 3.



Рисунок 3. Виды сетевых моделей, сферы их приложений

В настоящее время понятия структуры, сетей и сетевых моделей; потоков в сетях во все большей степени проникают в экономику и социологию. Применение таких понятий, как **сетевое государство** и **сетевое общество** в политических, социологических, экономических исследованиях стало отражением возникновения и усиления роли данных понятий в практике новой реальности.

## 2.2 Тензорный метод двойственных сетей

Экономические и технические системы постоянно усложняются, растет количество элементов, количество связей между ними. Совокупность связей образует структуру системы. Увеличение количества связей повышает влияние структуры на поведение системы и требует совместного анализа процессов и структуры сложных систем. Это требует создания соответствующих методов и средств их описания, исследования, расчета, анализа и управления.

Сетевые модели сложных систем, в частности, экономических и социальных систем, представляют одновременно процессы и структуру. В основе моделирования экономических систем лежат измеряемые величины хозяйственных процессов, которые определяют содержание физической экономики. Тензорный метод двойственных сетей обеспечивает расчет изменения процессов при изменении структуры. Он основан на новом инварианте структуры двойственных сетей, который в математической форме представляет закон сохранения потока энергии.

Закон развития человечества, который открыл П.Г. Кузнецов, состоит в том, что не убывают темпы роста мощности (потока энергии) в год на каждого члена общества. Для управления устойчивым развитием системы Природа – Общество – Человек необходим расчет изменений процессов при изменении структуры связей, сравнения результатов расчета различных вариантов проведения структурной политики развития производства. Это касается также оценки состояния и вариантов проведения структурной политики распределения произведенного общественного продукта между основными социальными группами.

Представление процессов измеримыми величинами повышает прозрачность сведений о состоянии и динамике развития экономической системы для всех социальных групп в нашей стране, а в международных отношениях – для всех стран. Это открывает перспективы развития, позволяет оценить меру ответственности каждого участника мирового хозяйства и тем самым снизить напряжение гецивилизационных конфликтов.

В экономике известна двойственность потоков продуктов (товаров и услуг) и денежных средств (платежей, кредитов и долговых инструментов). Потоки продуктов и денежных средств перемещаются между хозяйствующими субъектами (элементами сети) навстречу друг другу, но структура этих сетей отличается друг от друга. Эта структура различна и обладает двойственностью. Двойственные сети позволяют рассматривать экономику, хозяйственный процесс, как сетевую модель «живой» электромагнитной системы. Живые (биологические и социальные) системы, в отличие от технических систем, не только рассеивают потоки энергии, но и накапливают энергию, обеспечивая расширенное воспроизводство и развитие.

### 2.3 Технология создания тензорных моделей для исследования сложных систем

Рассмотрим последовательность основных этапов применения тензорного метода для исследования систем, которые существуют в различных предметных областях.

Возможность применения тензорного подхода в качестве общего метода моделирования физических, технических и экономических систем обеспечивают аналогии, которые обнаруживаются при сравнении уравнений поведения сложных систем разных предметных областей. Именно аналогии позволяют исследовать различные по своей природе системы единым методом. В качестве математического аппарата будем применять двойственные сети, обладающие тензорными свойствами, которые связывают описание процессов и структуры.

Основная проблема моделирования технических, физических, экономических систем сетями состоит в том, что не существует общего метода установления аналогий одновременно как структуры, так и уравнений поведения. Двойственные сети дают путь к решению этой проблемы благодаря соединению процессов и структуры в едином описании. Вместе с тем сам процесс установления аналогий между какой-либо системой и сетевой моделью требует определенного творческого воображения и не может быть полностью автоматизирован.

Технология применения тензорного метода для моделирования, расчета, анализа, прогнозирования и управления сложными системами основана на применении в качестве эталона сетевых моделей, представляющих процессы и структуру систем. Данная технология включает в себя следующие основные этапы:

1. Тензорная форма уравнений поведения системы. Необходимо записать и использовать все отношения для структуры потоков всех величин, т.е. воздействий, откликов и сопротивлений среды элементов. Это необходимо для того, чтобы величины приобрели тензорную формулу преобразования при изменении координат, которые определяют базисные пути в структуре.

2. Аналогии системы и сети, построение сетевой модели. Возможности модели по созданию нового знания о системе. Аналогии системы и сети, построение сетевой модели – этап творчества и искусства сопоставления.

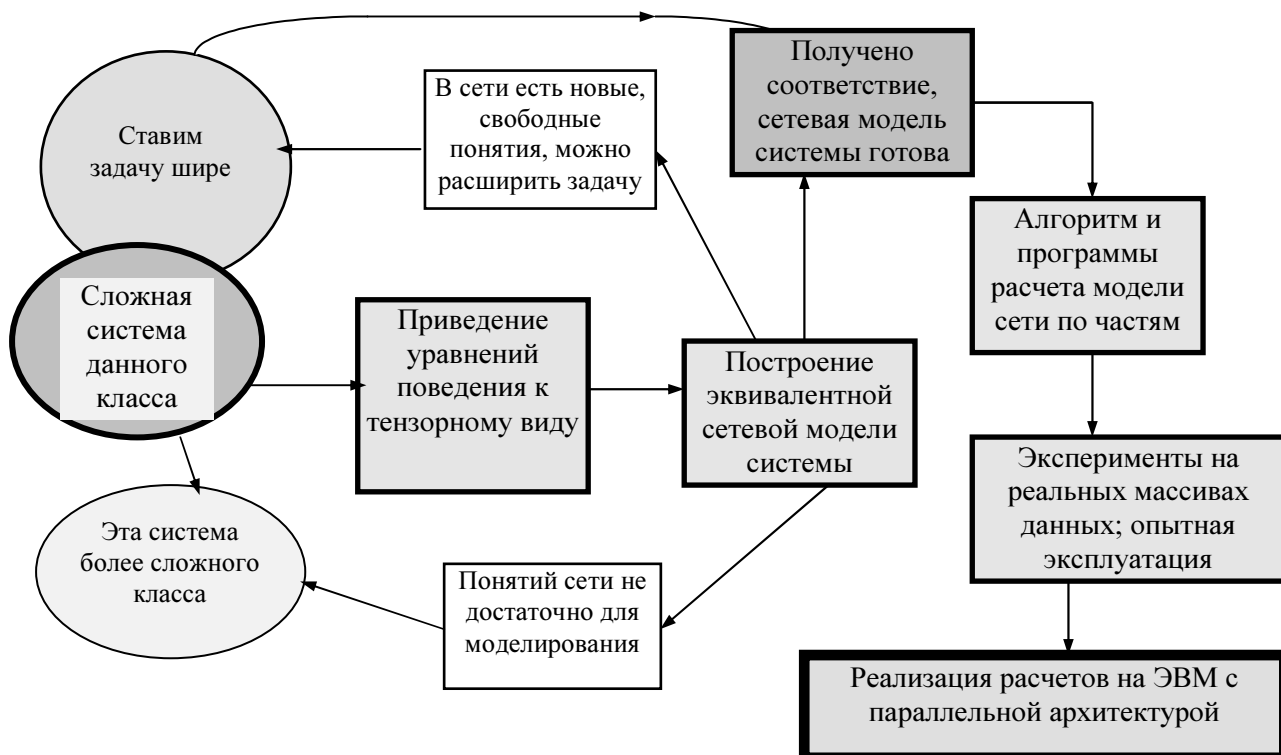
3. Расчет сетевой модели единым методом для всех систем данного класса. Расчет вариантов при изменении воздействия и структуры. Расчет по частям с декомпозицией на подсистемы, при расчете и анализе двойственных сетей обеспечивают инвариантность преобразований.

4. Интерпретация результатов расчета и анализа сетевой модели на исследуемой системе, расчеты вариантов развития, поведения системы при изменениях воздействий и структуры. Применение сетевой модели для расширения знаний об исследуемой системе за счет соединения понятий процессов и структуры.

Для практических приложений технология детализируется на следующие этапы:

- Установление и анализ аналогий между предметной областью и сетью, включая анализ необходимой для моделирования размерности элементов сети.
- Определение источников информации и формирование баз данных, которые способны описать поведение исследуемой системы в терминах измеримых величин.
- Приведение уравнений поведения исследуемой системы к тензорному виду по отношению к изменению ее структуры.
- Построение сетевой модели, т.е. установление соответствия между величинами и структурой исследуемой системы и параметрами и структурой сети.
- Расчет сетевой модели и анализ полученных результатов для различных вариантов изменения воздействий и вариантов структуры связей.
- Применение полученных результатов к исследуемой системе для анализа ее состояния, прогнозирования поведения, выработки управляющих воздействий,
- Формирование критериев, которые должна обеспечивать система и применение сетевой модели для синтеза вариантов структуры, обеспечивающих выполнение этих критериев.

Общая схема представлена на рисунке 4.



**Рисунок 4. Технология расчета сложных систем тензорным методом**

При расчете по частям сетевая модель системы разделяется на подсети. Уравнения для подсетей получаются с помощью тензорных преобразований. Алгоритмы диакоптики

обеспечивают расчет по частям без итераций. Это снижает объемы, время и стоимость вычислений. Можно одновременно применять и другие методы параллельных расчетов. Применение новых алгоритмов сократит разрыв между ростом сложности задач и производительности вычислительной техники.

Диакоптика применялась при расчетах ядерных реакторов, строительных конструкций, для проектирования электроэнергетических систем США, а также задач из области физики. Сетевая модель межотраслевого баланса применялась для расчета по частям валовых выпусков отраслей, потоков поставок и ресурсов, который обеспечивают заданный спрос. Было показано, что время расчета при размерности более двухсот отраслей сокращается в несколько раз, что обеспечивает оптимизацию плановых расчетов в условиях, когда количество отраслей (технологических процессов) достигает сотен и тысяч [182, 183, 184].

В данных работах показано, что параллельные вычисления на сетях обеспечивает инвариант изменений структуры двойственных сетей. При разделении сети на подсети параметры взаимодействия подсетей сохраняются в двойственной сети связей и поэтому восстанавливаются при соединении решений подсетей в целое. Это исключает итерации при расчете по частям и повышает эффективность. Схема основных этапов параллельного расчета по частям сетей (сетевых моделей сложных систем) тензорным методом представлена рисунке 5.



Рисунок 5. Схема алгоритма расчета сетей по частям тензорным методом

Расчет сети по частям состоит из следующих этапов:

1. разделение сети на  $s$  произвольных подсистем; ветви, связывающие подсистемы, образуют отдельную  $(s+1)$  - сеть;
2. расчет всех подсетей  $1, \dots, s$  и  $(s+1)$  на параллельных процессорах;
3. формирование из решений подсистем воздействия на сеть  $(s+2)$ , которая двойственна к  $(s+1)$ -ой сети и ее расчет; это двойственное решение изменяет решения отдельных подсистем в те значения, которые они должны иметь в соединенной системе;
4. Расчет изменения решений подсистем также производится параллельно.

При решении систем линейных уравнений объем вычислений растет пропорционально кубической степени числа переменных. При использовании указанного алгоритма объем вычислений растет линейно относительно роста числа переменных. При изменении структуры системы заново надо рассчитать только сеть связей.

Для повышения производительности параллельных вычислительных систем целесообразно совместно использовать различные методы декомпозиции. На уровне сетевой модели – разделение на подсистемы, их параллельный расчет. На уровне расчета подсистем – использование блочных методов. На уровне расчета арифметических выражений – применение векторных процессоров.

#### **2.4 Создание информационной технологии управления на основе тензорных моделей**

Информационная технология включает в себя:

- создание математической (сетевой) модели процессов и структуры системы;
- выбор совокупности показателей на основе базы целей и базы знаний;
- создание, поддержание, обновление базы данных выбранных показателей;
- создание метода расчета показателей, отношений между ними;
- применение результатов расчета для оценки, управления, прогнозирования;
- повторение расчета с необходимой периодичностью;
- корректировка модели, показателей, метода расчета и применения результатов расчета по мере изменения реальной ситуации.

Основными компонентами для создания и применения информационных технологий являются база целей, база знаний и базы данных.

База целей представляет собой совокупность принципов и критериев моделирования системы, на основе которых осуществляется проектирование, управление, оценка функционирования и прогноз развития. Принципы и критерии необходимо задать с помощью измеримых величин, показателей, которые обеспечивают возможность количественной оценки;



универсальных ЛТ-измерителей. База целей содержит основные критерии поведения системы, а также принципы оценки, которые обеспечивают сравнение результатов применения управляющих воздействий. Например, для хозяйствующего субъекта критериями эффективности являются: норма прибыли, изменение своей доли на рынке производимой продукции в сторону возрастания, динамика капитализации.

База знаний представляет собой математическую модель исследуемой системы, в которой сетевые модели представляют процессы и структуру, что позволяет создать всю совокупность необходимых и достаточных показателей (измеримых величин) для описания состояния системы. Совокупность таких показателей является основой создания структуры базы данных, которая обеспечивает информационное наполнение модели. Одним из важнейших принципов создания таких моделей является полнота описания исследуемой, управляемой системы; под этим понимается описание не только процессов, происходящих в разных частях, элементах системы, но также структура связей элементов. От изменения структуры существенным образом зависит поведение всей системы, а также само ее существование как единого целого.

Информация о состоянии управляемых объектов (например, хозяйствующих субъектов), организованная в базы данных, обновляемых, поддерживаемых; является хранилищем сведений о состоянии системы в прошедший период времени, ее текущем состоянии, а также варианты прогнозов ее будущих состояний.

### **Принципы создания тензорной модели информационной технологии**

Категориальные принципы тензорных обобщений моделирования и исследования сложных систем включают в себя 4 уровня.

- Обобщенная система – образ-тензор всех систем, состоит из элементов произвольной размерности, в них протекают произвольные процессы. Это обобщенная математическая модель, категория системы.
- Обобщенная система данного класса систем – состоит из элементов заданной размерности; протекает процесс (или процессы) заданного типа, вида. Это «проекция» обобщенной системы в конкретную предметную область.
- Обобщенная тензорная модель данной, исследуемой, системы – состоит из элементов данной математической модели системы с переменной структурой; протекает процесс заданного типа, описание которого осуществляется с помощью универсальных ЛТ-измерителей. Это «проекция» модели класса систем в систему с определенным количеством элементов. Могут меняться структура и источники воздействия.
- Конкретная тензорная модель данной системы – состоит из элементов с заданными соединениями, т.е. структурой. Это «проекция» модели системы-объекта в систему координат, заданную определенной структурой.

Модель тензорная, если закономерности преобразования величин процессов (параметров, показателей) имеют линейный характер.

**Информационная технология.** Процесс от сбора информации о состоянии системы-объекта до создания управляющих воздействий, с помощью тензорной модели, с целью изменения состояния и динамики развития объекта, траектории его движения.

**Тензорная модель информационной технологии.** Это модель, основанная на измеримых величинах, которые составляют математическую сетевую модель исследуемой сложной технической или социально-экономической системы. Измеримые величины должны иметь характер тензоров, что обеспечивает линейное преобразование их значений при изменении системы координат (формы представления) с помощью матриц преобразования (показывают, как изменилась структура системы). Это необходимо для создания сетевой модели комплексного представления процессов и структуры исследуемой системы.

### **Раздел 3. Основы тензорных моделей и их применение в экономике**

**Структура и сети.** Структура соединения элементов играет определяющую роль при формировании физической сути процессов, которые происходят в технических и экономических системах. Структура играет важнейшую роль в информационных, социальных и биологических системах. Все физические явления порождены возникновением новых связей между элементами, структура которых становится все сложнее и образует системы новых уровней сложности.

Поток энергии распространяется по выделенным направлениям. Каналы, по которым может проходить поток энергии, и на протяжении которых материя обладает одинаковым сопротивлением, принято рассматривать как отдельные элементы. Соединенные элементы составляют систему, играя роль отдельных измерений в пространстве структуры.

Если элементы – одномерные линии, соединенные концами между собой, то их совокупность представляет собой сеть. От графа сеть отличается тем, что при соединении ветвей может меняться число узлов-вершин. Разные соединения рассматриваются как проекции одной и той же сети в разные системы координат – структуры сети.

Потоки энергии распространяются по ветвям сети, от одной ветви к другой. Ветви составляют пути (координаты). Совокупность путей образует пространство путей в сети. Линейно независимые наборы путей образуют базисы, как в обычном пространстве.

Замкнутые и разомкнутые пути образуют в сети ортогональные подпространства. При изменении структуры, соединений ветвей, замкнутые пути превращаются в разомкнутые (открытые), и наоборот. При этом меняется размерность их подпространств. Разделение пространства сети на подпространства замкнутых и разомкнутых путей, размерность которых меняется при соединении и разъединении, делает матрицы преобразования путей прямоугольными; они не имеют обратных и не образуют такую группу, как в геометрии.

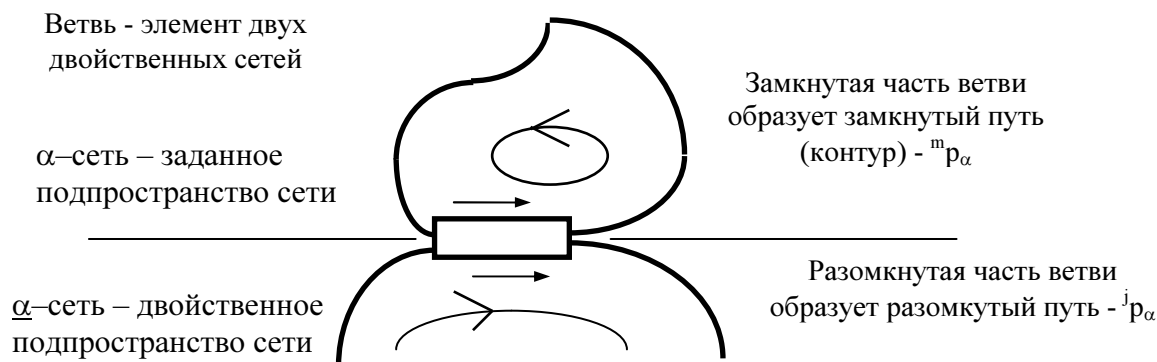
Метод двойственных сетей с новым инвариантом обеспечивает моделирование, расчет, исследование сложных систем. Инвариант двойственности изменения структуры обеспечивает групповые свойства преобразований при соединении и разъединении элементов структуры. Инвариантность, или постоянство мощности при изменении соединений элементов (структуры) систем возможно только в совокупности сетей (систем) с двойственной структурой.

#### **3.1 Методологические и математические основы метода двойственных сетей**

**Сеть** – совокупность  $n$  одномерных ориентированных отрезков (ветвей), соединенных узлами на концах ветвей в различные схемы. **Структура** – схема связи ветвей в сети. Преобразование структуры – изменение соединения ветвей, включая изменение числа узлов.

**Путь** – набор ветвей, порядок их прохождения определяет ориентацию пути. Замкнутый путь заканчивается в узле начала; разомкнутый путь – заканчивается не в узле начала. Замкнутые и разомкнутые пути образуют базисы в пространстве путей в сети.

Любая ветвь имеет две части – замкнутую и разомкнутую, которые являются двойственными по отношению друг к другу. Отношения между ними показаны на рисунке 6.



**Рис. 6. Двойственность в одной ветви**

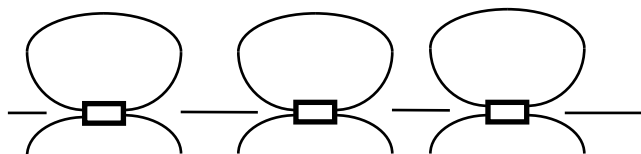
Топологические соотношения между двумя двойственными частями (замкнутой и разомкнутой) в одной ветви имеют следующий вид.

	Замкнутая часть	Разомкнутая часть	Сумма
Ветви	$n_\alpha = 1$	$\underline{n}_\alpha = 1$	$\underline{n}_{\alpha 0} = 2$
Узлы	$J_\alpha = 1$	$\underline{J}_\alpha = 2$	$J_{\alpha 0} = 3$
Подсети	$s_\alpha = 1$	$\underline{s}_\alpha = 1$	$s_{\alpha 0} = 2$
Разомкнутые пути	$j_\alpha = J_\alpha - s_\alpha = 0$	$\underline{j}_\alpha = \underline{J}_\alpha - \underline{s}_\alpha = 1$	$j_{\alpha 0} = j_\alpha + \underline{j}_\alpha = 1$
Замкнутые пути (контур)	$m_\alpha = n_\alpha - j_\alpha = 1$	$\underline{m}_\alpha = \underline{n}_\alpha - \underline{j}_\alpha = 0$	$m_{\alpha 0} = 1$

На рисунке 7 представлена процедура соединения трех свободных ветвей в связанную сеть. Когда в заданной сети свободные ветви замкнуты, то в двойственной сети они разомкнуты. При наложении связей в заданной сети часть замкнутых путей размыкается. Соответственно, в двойственной сети такое же количество разомкнутых путей размыкается.

### Свободные ветви

Данное пространство – три контура



$$n_{\alpha}^1 = 3, J_{\alpha}^1 = 3, s_{\alpha}^1 = 3, j_{\alpha}^1 = 0, m_{\alpha}^1 = 3$$

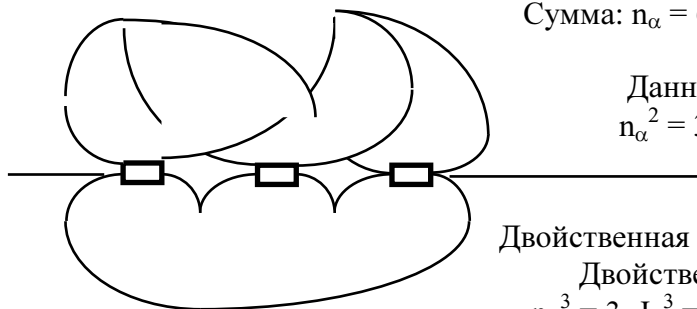
Заданная сеть

Двойственная\_сеть

Двойственное пространство – три разомкнутых пути  $\underline{n}_{\alpha}^1 = 3, \underline{J}_{\alpha}^1 = 6, \underline{s}_{\alpha}^1 = 3, \underline{j}_{\alpha}^1 = 3, \underline{m}_{\alpha}^1 = 0$

### Связанные ветви

Сумма:  $n_{\alpha} = 6, J_{\alpha 0} = 5, s_{\alpha 0} = 2, j_{\alpha} = 3, m_{\alpha} = 3$



Данное подпространство – два контура

$$n_{\alpha}^2 = 3, J_{\alpha}^2 = 2, s_{\alpha}^2 = 1, j_{\alpha}^2 = 1, m_{\alpha}^2 = 2$$

Двойственная сеть

Двойственное подпространство – один контур

$$\underline{n}_{\alpha}^3 = 3, \underline{J}_{\alpha}^3 = 3, \underline{s}_{\alpha}^3 = 1, \underline{j}_{\alpha}^3 = 2, \underline{m}_{\alpha}^3 = 1$$

**Рисунок 7. Соединение свободных ветвей в сеть**

Сети двойственные, если каждому замкнутому пути (контур) в одной сети соответствует разомкнутый путь в другой сети. При разъединении узла в одной сети происходит слияние узлов в двойственной сети. При соединении свободных замкнутых ветвей в сеть часть контуров размыкается, в двойственной сети соединяются разомкнутые свободные ветви и столько же разомкнутых путей замыкается. Меняется количество замкнутых и разомкнутых путей в каждой сети, в двух двойственных сетях сумма замкнутых и разомкнутых путей прежняя.

	Свободные ветви, т.е. не имеют соединений друг с другом	Изменения структуры	Соединенные ветви, т.е. на сеть и двойственную сеть наложены связи
Сеть	Все пути замкнутые	Замкнутые пути размыкаются, появляются разомкнутые пути	Сумма замкнутых и разомкнутых путей равна количеству ветвей
Двойственная сеть	Все пути разомкнутые	Разомкнутые пути замыкаются, появляются замкнутые пути	Сумма замкнутых и разомкнутых путей равна количеству ветвей
Полная сеть: две двойственных сети	Сумма замкнутых и разомкнутых путей в двух сетях равна числу элементов в двух сетях, т.е. двойному количеству ветвей	Количество замыкаемых путей в сети равно количеству размыкаемых путей в двойственной сети, и наоборот	Сумма замкнутых путей в двух сетях и сумма разомкнутых путей в двух сетях постоянные и равны количеству ветвей

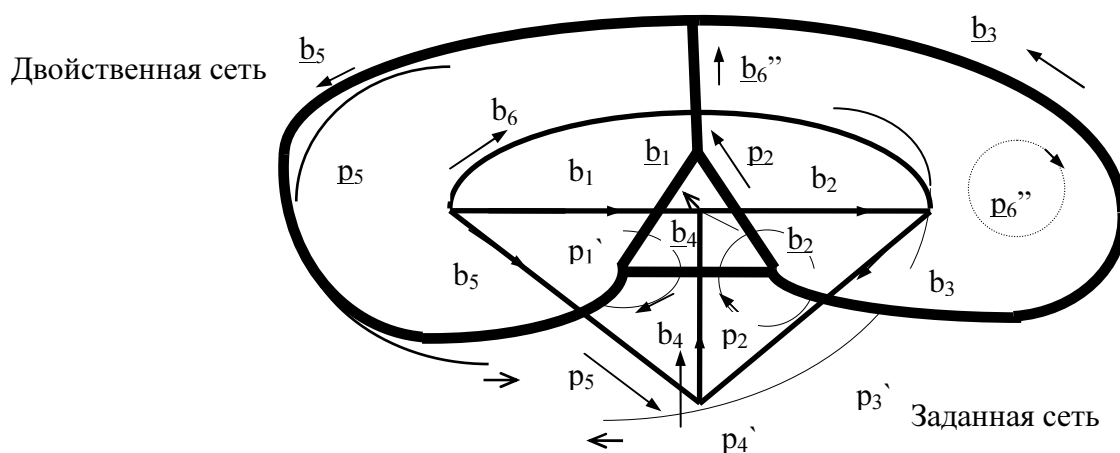
В сети двойственными являются замкнутые и разомкнутые пути, воздействия и отклики, сеть и двойственная к ней сеть. Две сети с двойственной структурой обеспечивают постоянство размерностей дополняющих друг друга подпространств замкнутых и разомкнутых путей. Например, для простейшего изменения структуры – при соединении двух ветвей в сети – два узла сливаются (уменьшается число узлов). В результате возникает один новый независимый замкнутый путь, увеличивается размерность подпространства замкнутых путей. При этом исчезает один независимый разомкнутый путь, уменьшается размерность подпространства разомкнутых путей. Общая размерность пространства путей сети не меняется, она постоянна и равна количеству элементов – ветвей.

Таким образом, в совокупности двойственных сетей при изменении структуры общая размерность подпространств замкнутых путей постоянная; общая размерность подпространств разомкнутых путей постоянная.

### Соответствие преобразований структуры двойственных сетей

	Данная сеть	Двойственная сеть
Тип соединения ветвей	параллельное	последовательное
Ориентация ветвей	встречная	согласованная
Преобразование структуры	Слияние узлов	Разделение узлов
– изменение соединений	$J' = J - 1$	$\underline{J}' = \underline{J} + 1$
• изменение контуров	возникает контур $m' = m + 1$	исчезает контур $\underline{m}' = \underline{m} - 1$
• изменение разомкнутых путей	исчезает разомкнутый путь $j = j' + 1$	возникает разомкнутый путь $\underline{j} = \underline{j}' - 1$

Если в одной сети происходит разъединение узла, связывающего ветви и контур размыкается, то в двойственной сети происходит слияние узлов тех же ветвей, а соответствующий разомкнутый путь замыкается. Пример двух двойственных сетей представлен на рисунке 8.



В данной сети 6 ветвей:  $n = 6, J = 4, s = 1, j = 3, m = 3$

В двойственной сети 6 ветвей:  $\underline{n} = 6, \underline{J} = 4, \underline{s} = 1, \underline{j} = 3, \underline{m} = 3$

Рисунок 8. Пример двух двойственных сетей

Каждый базис путей в связанной сети выражается через ветви:

$$\begin{array}{rcccccc}
 p_1' & = & b_1 & & -b_4 & -b_5 & & p_{1'} & = & \underline{b_1} \\
 p_2' & = & & b_2 & b_3 & b_4 & & p_{2'} & = & \underline{b_2} \\
 p_3' & = & & & b_3 & & -b_5 & b_6 & p_{3'} & = & \underline{-b_2} & \underline{b_3} \\
 p_4' & = & & & & b_4 & & & p_{4'} & = & \underline{b_1} & \underline{-b_2} & \underline{b_4} \\
 p_5' & = & & & & & b_5 & & p_{5'} & = & \underline{b_1} & \underline{-b_2} & \underline{b_3} & \underline{b_5} \\
 p_6' & = & & & & & & b_6 & p_{6'} & = & & \underline{b_2} & \underline{-b_3} & \underline{b_6}
 \end{array}$$

Базис в данной сети

Базис в двойственной сети

Замкнутые и разомкнутые пути образуют векторное пространство.

При изменении структуры двойственных сетей последовательное и параллельное соединения ветвей взаимно двойственны.

**При двойственном преобразовании:**

- контурам соответствуют разомкнутые пути,
- разомкнутым путям соответствуют контуры

При уменьшении числа узлов в сети появляются новые контуры. Элементы матриц преобразования  $C_{\alpha'1}^\alpha$  и  $C_{\alpha'2}^\alpha$  прежние, но строк  $m$ -путей  $m \cdot p^2$  будет на  $\Delta m$  больше, а строк  $j$ -путей  $j \cdot p^2$ , на  $\Delta m = \Delta j$  меньше. Новые строки контуров составят подматрицу изменений структуры сети,  $\Delta C_{\Delta m}^\alpha = \Delta C$ . Матрица  $C_{\alpha'2}^\alpha$  новой сети, выражаемая через подматрицы  $C_{\alpha'1}^\alpha$ , и  $\Delta C$  старой сети имеет вид:

$$C_{\alpha'1}^\alpha = \begin{array}{c} \begin{array}{c} m_1 \\ j_1 \end{array} \begin{array}{c} n \\ \hline \begin{array}{c} {}^m C_{\alpha'1}^\alpha \\ {}^j C_{\alpha'1}^\alpha \end{array} \end{array} = \begin{array}{c} \begin{array}{c} m_1 \\ j_1 \end{array} \begin{array}{c} n \\ \hline \begin{array}{c} {}^m C_1 \\ {}^j C_1 \end{array} \end{array} ; \quad C_{\alpha'2}^\alpha = \begin{array}{c} \begin{array}{c} m_1 \\ \Delta m \\ j_2 \end{array} \begin{array}{c} n \\ \hline \begin{array}{c} {}^m C_{\alpha'1}^\alpha \\ \Delta C_{\alpha'2}^\alpha \\ {}^j C_{\alpha'2}^\alpha \end{array} \end{array} \begin{array}{c} m_2 \\ j_1 \\ j_1 \end{array} = \begin{array}{c} \begin{array}{c} {}^m C_1 \\ \Delta C \\ {}^j C_2 \end{array}
 \end{array}$$

Здесь двойная черта разделяет в матрице  $C_{\alpha'2}^\alpha$  подматрицы  ${}^m C_2$  и  ${}^j C_2$ . В двойственной сети замыканиям соответствуют размыкания,  $\Delta j = \Delta m$ , матрица новой сети  $\underline{C}_{\alpha'2}^\alpha = A^{\alpha'2}_\alpha$  выражается через подматрицы старой сети  $\underline{C}_{\alpha'1}^\alpha = A^{\alpha'1}_\alpha$ , и матрицу изменений путей  $\underline{\Delta C} = \Delta A$ :

$$\underline{C}_{\alpha'1}^\alpha = A^{\alpha'1}_\alpha = \begin{array}{c} \begin{array}{c} j_1 \\ m_1 \end{array} \begin{array}{c} n \\ \hline \begin{array}{c} {}^j C_{\alpha'1}^\alpha \\ {}^m C_{\alpha'1}^\alpha \end{array} \end{array} ; \quad \underline{C}_{\alpha'2}^\alpha = A^{\alpha'2}_\alpha = \begin{array}{c} \begin{array}{c} j_1 \\ \Delta m \\ m_2 \end{array} \begin{array}{c} n \\ \hline \begin{array}{c} {}^j C_{\alpha'1}^\alpha \\ \Delta C_{\alpha'2}^\alpha \\ {}^m C_{\alpha'2}^\alpha \end{array} \end{array} \begin{array}{c} j_2 \\ j_2 \\ m_1 \end{array} = \begin{array}{c} \begin{array}{c} {}^j C_1 \\ \Delta C \\ {}^m C_2 \end{array}
 \end{array}$$

Двойная черта отделяет  ${}^m C_2$  от  ${}^j C_2$ , между сетями сохраняется двойственность. На рисунке 9 показан пример изменения путей при изменении структуры сети.

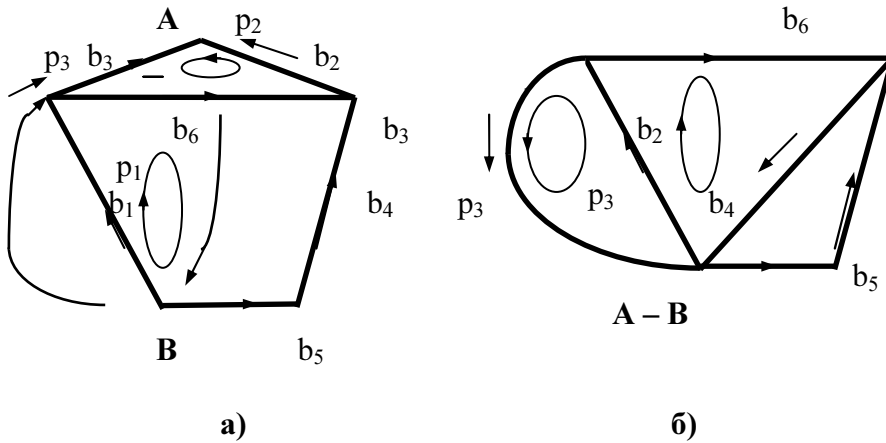


Рисунок 9. Изменение соединений ветвей с замыканием узлов А и В в один узел

Матрицы преобразования для каждой из сетей имеют вид:

$$C^1 = \begin{array}{c|cccccc|c} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & \\ \hline 1' & 1 & & & -1 & -1 & 1 & m \\ 2' & & 1 & -1 & & & 1 & m \\ \hline 3' & 1 & & 1 & & & & j \\ 4' & & & & 1 & & & j \\ 5' & & & & & 1 & & j \\ 6' & & & & & & 1 & j \end{array}$$

$$C^2 = \begin{array}{c|cccccc|c} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & \\ \hline 1' & 1 & & & -1 & -1 & 1 & m \\ 2' & & 1 & -1 & & & 1 & m \\ \hline 3' & 1 & & 1 & & & & m \\ 4' & & & & 1 & & & j \\ 5' & & & & & 1 & & j \\ 6' & & & & & & 1 & j \end{array}$$

### 3.2 Алгоритмы расчета процессов при изменении структуры тензорных моделей

Задача расчета сети при изменении структуры состоит в получении матрицы решения для сети с новой структурой  $Y^{2+}_c$  (уменьшение числа узлов) или  $Y^{2-}_c$  (увеличение числа узлов) по матрице решения сети со старой структурой  $Y^1_c$ , и матрицы изменения путей  $\Delta C$ .

Матрица решения для новой сети имеет вид:

$$Y^{2+}_c = {}^m C_{2t} ({}^m C_2 Z {}^m C_{2t})^{-1} {}^m C_2 \quad (1.7)$$

Подставим выражение для матрицы  ${}^m C_2$  через матрицу  ${}^m C_1$  и матрицу  $\Delta C$ :

$$Y^{2+}_c = \begin{array}{c|c} {}^m C_{1t} & \Delta C_t \\ \hline \end{array} \left( \Delta m \begin{array}{c|c} {}^m C_1 & \\ \hline \Delta C & \end{array} \begin{array}{c} n \\ n \end{array} Z \begin{array}{c} n \\ n \end{array} \begin{array}{c|c} {}^m C_{1t} & \Delta C_t \\ \hline \end{array} \right)^{-1} \Delta m \begin{array}{c|c} {}^m C_1 & \\ \hline \Delta C & \end{array}$$

Произведение в скобках дает матрицу метрики новой, связанной сети  ${}^m Z_2'$ :

$${}^m Z_2' = \begin{array}{c|c} m_1 & \Delta m \\ \hline {}^m C_1 Z {}^m C_{1t} & {}^m C_1 Z_t \Delta C_t \\ \hline \Delta m & \Delta C Z {}^m C_{1t} \\ \hline & \Delta C Z_t \Delta C_t \\ \hline & m_2 \end{array} m_2$$



Обращение этой матрицы в символьном виде и подстановка блоков матриц преобразования приводят к решению задачи – матрица решений новой сети  $Y_c^{2+}$  выражается как сумма матрицы решений старой сети  $Y_c^1$  и матрицы изменения решения  $\Delta Y_c$ :

$$Y_c^{2+} = Y_c^1 + \Delta Y_c = Y_c^1 + (I - Y_c^1 Z) \Delta C_t [\Delta C Z (I - Y_c^1 Z) \Delta C_t]^{-1} \Delta C (I - Z Y_c^1), \quad (1.8)$$

где  $\Delta C$  – матрица изменения путей.

Матрицы решений позволяют получить новые компоненты откликов в ветвях на внутренние источники воздействия:

$$m_{d_{c2}}^\alpha = Y_c^{2+} m_{d_\alpha}^0 = (Y_c^1 + \Delta Y_c) m_{d_\alpha}^0 = m_{d_{c1}}^\alpha + \Delta m_{d_{c1}}^\alpha. \quad (1.9)$$

При уменьшении числа узлов в одной сети растет число контуров; растет число переменных вектора  $m^d$ . В *двух* сетях число переменных постоянно, поэтому в двойственной сети число контуров уменьшается, как и число переменных для  $m^d$ .

Матрица решения  $Z_c^{2+}$  новой сети для вектора внешних источников воздействия  $j^d$ , заданного в разомкнутых путях, при введении соединений получается из соотношения двойственности  $Z_c^1 = Z - Z Y_c^1 Z$  в виде:

$$Z_c^{2+} = Z_c^1 - Z_c^1 \Delta C_t [\Delta C Z_c^1 \Delta C_t]^{-1} \Delta C Z_c^1 = Z_c^1 - Z \Delta Y_c Z = Z_c^1 - \Delta Z_c \quad (1.10)$$

Матрица  $Z_c^{2+}$  выражена через матрицу решения старой сети  $Z_c^1$  и матрицу изменения решения  $\Delta Z_c$ , которая включает матрицу изменения путей  $\Delta C$ .

Две представленные матрицы решения в общем виде описывают все виды расчета сети при изменении структуры, которые получаются как частные случаи:

- соединение сети из ветвей, или разделение сети на ветви
- изменение соединений ветвей в сети
- разделение сети на отдельные подсистемы и расчет по частям
- соединение сети из отдельных подсистем

**Формулы расчета сетей при изменении структуры.** Любые изменения структуры меняют метрические свойства сети в соответствии с инвариантом двойственных сетей.

Изменения структуры состоят в изменении числа узлов. При этом взаимно меняется число контуров и разомкнутых путей в двойственных сетях:

- Уменьшение числа узлов увеличивает число замкнутых путей (контуров), уменьшает число разомкнутых путей.
- Увеличение числа узлов увеличивает число разомкнутых путей, уменьшает число замкнутых путей (контуров)

Это приводит к двум основным формулам расчета сети:

$$\mathbf{Y}_c^{2+} = \mathbf{Y}_c^1 + \Delta \mathbf{Y}_c = \mathbf{Y}_c^1 + (\mathbf{I} - \mathbf{Y}_c^1 \mathbf{Z}) \Delta \mathbf{C}_t [\Delta \mathbf{C} \mathbf{Z} (\mathbf{I} - \mathbf{Y}_c^1 \mathbf{Z}) \Delta \mathbf{C}_t]^{-1} \Delta \mathbf{C} (\mathbf{I} - \mathbf{Z} \mathbf{Y}_c^1), \quad (1.11)$$

$$\mathbf{Z}_c^{2+} = \mathbf{Z}_c^1 - \Delta \mathbf{Z}_c = \mathbf{Z}_c^1 - \mathbf{Z}_c^1 \Delta \mathbf{C}_t [\Delta \mathbf{C} \mathbf{Z}_c^1 \Delta \mathbf{C}_t]^{-1} \Delta \mathbf{C} \mathbf{Z}_c^1 = \mathbf{Z}_c^1 - \mathbf{Z} \Delta \mathbf{Y}_c \mathbf{Z} \quad (1.12)$$

Трижды двойственные формулы расчета сетей при изменении структуры

- Двойственность замкнутых и разомкнутых путей
- Двойственность заданной сети и двойственной сети
- Двойственность изменения структуры:
  - разъединение (увеличение числа узлов  $\Delta J > 0$ ) и
  - соединение (уменьшение числа узлов  $\Delta J < 0$ )

Данная сеть Уменьшение числа узлов		Двойственная сеть Увеличение числа узлов	
Двойственность изменяемых путей: $\Delta m = \Delta j = \Delta \underline{m} = \Delta \underline{j}$			
m – контуры	$\mathbf{Y}_c^{2+} = \mathbf{Y}_c^1 + \Delta \mathbf{Y}_c$	разомкнутые пути	$\underline{\mathbf{Y}}_c^{2-} = \underline{\mathbf{Y}}_c^1 - \Delta \underline{\mathbf{Z}}_c$
j – разомкнутые пути	$\mathbf{Z}_c^{2+} = \mathbf{Z}_c^1 - \Delta \mathbf{Z}_c$	$\underline{m}$ – контуры	$\underline{\mathbf{Z}}_c^{2-} = \underline{\mathbf{Z}}_c^1 + \Delta \underline{\mathbf{Y}}_c$
Увеличение числа узлов		Уменьшение числа узлов	
m – контуры	$\mathbf{Y}_c^{2-} = \mathbf{Y}_c^1 - \Delta \underline{\mathbf{Z}}_c$	разомкнутые пути	$\underline{\mathbf{Y}}_c^{2+} = \underline{\mathbf{Y}}_c^1 + \Delta \underline{\mathbf{Y}}_c$
j – разомкнутые пути	$\mathbf{Z}_c^{2-} = \mathbf{Z}_c^1 + \Delta \underline{\mathbf{Y}}_c$	$\underline{m}$ – контуры	$\underline{\mathbf{Z}}_c^{2+} = \underline{\mathbf{Z}}_c^1 - \Delta \underline{\mathbf{Z}}_c$

Матрицы изменения решения:

$$\Delta \mathbf{Y}_c = (\mathbf{I} - \mathbf{Y}_c^1 \mathbf{Z}) \Delta \mathbf{C}_t [\Delta \mathbf{C} \mathbf{Z} (\mathbf{I} - \mathbf{Y}_c^1 \mathbf{Z}) \Delta \mathbf{C}_t]^{-1} \Delta \mathbf{C} (\mathbf{I} - \mathbf{Z} \mathbf{Y}_c^1), \quad (1.13)$$

$$\Delta \mathbf{Z}_c = \mathbf{Z}_c^1 \Delta \mathbf{C}_t [\Delta \mathbf{C} \mathbf{Z}_c^1 \Delta \mathbf{C}_t]^{-1} \Delta \mathbf{C} \mathbf{Z}_c^1, \quad (1.14)$$

где  $\Delta \mathbf{C}$  – матрица преобразования путей, которые меняются при изменении структуры сети.

Материальные характеристики ветвей можно представить как веса. Если ветвям сети приписаны веса (собственные и взаимные), выражаемые матрицей  $\mathbf{Z}$ , ( $\mathbf{Z} = \mathbf{Y}^{-1}$ ), то инвариантное соотношение двойственных сетей для замкнутых путей примет вид:

$${}^m C ({}^m C_t \mathbf{Z} {}^m C)^{-1} {}^m C_t + \mathbf{Y}^j \mathbf{A} ({}^j \mathbf{A}_t \mathbf{Y}^j \mathbf{A})^{-1} {}^j \mathbf{A}_t \mathbf{Y} = (\mathbf{Z})^{-1} = \mathbf{Y}. \quad (1.15)$$

Если на сеть наложен вектор (воздействие), то его компоненты принимают значения в базисе замкнутых (внутреннее воздействие) или разомкнутых (внешнее воздействие) путей. В данном случае инвариант – это постоянство длины вектора: часть вектора расположена в одной сети, часть в двойственной сети, но их сумма постоянна и не зависит от изменения соединений. Для вектора  ${}^m d$ , заданного в замкнутых путях, формула преобразования контравариантных компонент при изменении структуры, полученная на основе инварианта двойственных сетей, имеет вид:

$${}^m d_0^\alpha = {}^m d_c^\alpha + \underline{{}^m d}_c^\alpha = {}^m d^\alpha {}^m C_{\alpha'}^\alpha + {}^m d^\alpha {}^j A_{\alpha'}^{\alpha'} Y^{\alpha\beta} = ({}^m C_{\alpha'}^\alpha)_t {}^m d^\alpha + ({}^j A_{\alpha'}^{\alpha'})_t Y^{\alpha\beta} {}^m d^\beta, \quad (1.16)$$

где  ${}^m d_c^\alpha$  и  $\underline{{}^m d}_c^\alpha$  – компоненты вектора в двойственных сетях. Нельзя получить компоненты вектора  ${}^m d$ , для связанной сети по их значениям в свободных ветвях, поскольку в связанных ветвях они распадаются на совокупность компонент вектора в двойственных сетях и только в сумме дают компоненты полного вектора.

Для разомкнутых путей данные инвариантные соотношения имеют такой же вид, а преобразования такой же смысл, но при двойственной замене величин.

Таким образом, полученные на этой основе инварианта двойственных сетей методы расчета обеспечивают матрицам преобразования групповые свойства, которых они не имели для одной сети. Это позволило построить алгоритмы расчета процессов при изменении структуры сетей и сетевых моделей сложных технических, экономических систем единым методом. С точки зрения физики данный инвариант является проявлением закона сохранения потока энергии, измеряемого как мощность, энергия в единицу времени.

### 3.3 Инварианты и тензоры в экономике

Отличие экономических и технических систем с точки зрения физики и сетевого моделирования состоит в том, что экономические системы, как живые системы, не только рассеивают проходящие через них потоки энергии, но и накапливают их. Это выражается в экономической науке в понятии прибавочного продукта и является основой формирования налога на добавленную стоимость.

Примером применения технологии тензорного метода в экономике является построенная в 1977-1979 гг. сетевая модель в виде электрической цепи, для задачи межотраслевого баланса [182, глава 3]. За постановку и решение этой задачи Василий Леонтьев, как известно, получил премию имени Нобеля. В задаче межотраслевого баланса, известной также как модель «затраты-выпуск», отрасли производят продукцию под действием спроса (плана), кроме того, часть продукции поставляют отраслям – смежникам (в соответствии с коэффициентами прямых затрат).

Сами отрасли потребляют поставки других отраслей, а также ресурсы, энергию, труд, которые необходимы для производства продукции.

Для приведения уравнений данной задачи к тензорному виду использован баланс потоков на входе отраслей, который не используется в классической постановке задачи. Двойственность внешних и внутренних источников (тока и напряжения) позволила представить потоки продуктов объединением создаваемых этими источниками контравариантных компонент вектора потока энергии (токами).

Расчет задачи баланса производства по такой модели при декомпозиции сети на части, с применением параллельных вычислений обеспечивает многократное снижение объема вычислений. Именно для этих целей модель первоначально и разрабатывалась. Однако сетевая модель генерирует новые знания, не заложенные в постановку задачи. Это ковариантные компоненты вектора потока энергии (напряжения на ветвях сети). Данные компоненты представляют пропорции в распределении финансовых воздействий (например, оборотные средства), которые должны распределяться в системе производства для обеспечения заданного выпуска.

Таким образом, данная сетевая модель обеспечивает путь к решению задачи объединенного материально-финансового баланса, которая не решена и в настоящее время. Для современной экономической системы, с ее огромными рынками капитала, многократно превосходящими выпуск реального продукта, данная модель имеет ограниченное применение. Она нуждается в обобщении и расширении. Однако такой подход обеспечивает применение физической экономики для расчета вариантов развития производственно-финансовых систем в интересах управления устойчивым развитием общества.

### **3.4 Тензорная сетевая модель межотраслевого баланса**

Простейшим примером сетевой модели системы производства является модель в виде электрической цепи для задачи межотраслевого баланса потоков продуктов. Эта модель обеспечивает расчет производства продуктов и потребления ресурсов при заданном спросе (плане) при разных вариантах изменения хозяйственных связей, при разделении экономической системы на части (распад СССР) или соединении союзов, блоков.

Токи представляют потоки продуктов, а напряжения могут моделировать необходимые финансовые воздействия (оборотные средства). Это первая сетевая модель, когда живая (экономическая) система представлена неживой (технической) системой. Такое моделирование стало возможным за счет применения тензорных величин, соединения процессов и структуры в

двойственной сети. Ее применения для решения поставленной задачи является необходимым (но не достаточным) условием.

Решение данной задачи обеспечивается выполнением всех этапов технологии тензорного метода, которая рассмотрена в разделе 2.

Отрасли (производства, технологические цепочки) выпускают продукты в количестве, определяемом спросом рынка (заданным планом) и потребностями межотраслевых поставок. Отрасли потребляют ресурсы и продукцию друг друга. **Задача состоит в расчете объема производства (валового выпуска) каждой отрасли** и ресурсов, обеспечивающих спрос и поставки. Если ресурсы ограничены, то возникает задача максимизации общего выпуска, или обеспечения выпуска приоритетных отраслей («остаточный» принцип планирования) и т.д.

Математически эта задача имеет вид системы уравнений, описывающих баланс потоков продуктов. Система состоит из  $n$  отраслей, выпускающих продукты с валовым выпуском  $X^\alpha$  (где  $\alpha = 1, \dots, n$ ) в соответствии с планом  $y_\alpha$  и обеспечивающих поставки  $x_{\alpha\beta}$  при потреблении ресурсов, что записывается:

$$X_\alpha = \sum_{\alpha=1}^n x_{\alpha\beta} + y_\alpha. \quad (1.17)$$

Верхние и нижние индексы даны, исходя из тех ролей, которые эти величины далее играют в модели. Межотраслевые поставки задают коэффициенты прямых затрат  $a^{\alpha\beta}$ . Коэффициенты прямых затрат численно определяют как такое количество продукта отрасли  $\alpha$ , которое необходимо для производства одной единицы продукта отрасли  $\beta$ . Тогда значения потоков поставок продуктов между отраслями выражаются уравнениями:

$$x^{\alpha\beta} = a^{\alpha\beta} X_\beta. \quad (1.18)$$

Потребление ресурсов определяется коэффициентами  $b^{\alpha\beta}$ , численно равными количеству ресурса  $\gamma$  для производства одной единицы продукта отрасли  $\beta$ , что выражается уравнениями:

$$r^{\gamma\beta} = b^{\gamma\beta} X_\beta. \quad (1.19)$$

Подставляя (1.18) в (1.17) и преобразуя, получим систему уравнений

$$y^\alpha = (\delta^{\alpha\beta} - a^{\alpha\beta}) X_\beta \quad (1.20)$$

где  $(\delta^{\alpha\beta} - a^{\alpha\beta}) = (I - A)$  – так называемая экономическая матрица, обращение которой дает решение исходной задачи:

$$X_\alpha = (\delta^{\alpha\beta} - a^{\alpha\beta})^{-1} y^\beta \quad (1.21)$$

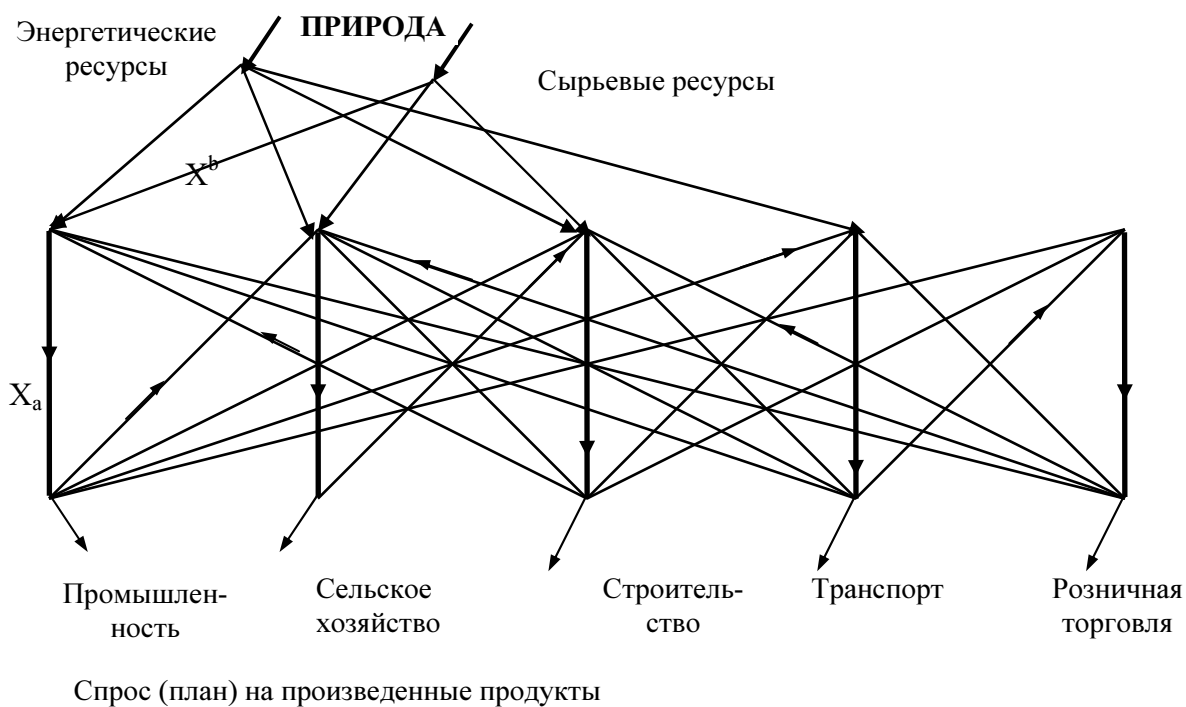
Обращение экономической матрицы выполняется вычислением суммы степенного ряда:

$$(I - A)^{-1} = I + A + A^2 + A^3 + \dots \quad (1.22)$$

поскольку коэффициенты в матрице  $a^{\alpha\beta}$  меньше, и даже много меньше единицы и норма матрицы  $(\delta^{\alpha\beta} - a^{\alpha\beta})$  меньше единицы. Ряд (1.22) сходится медленно. Вычисление суммы степенного ряда при размерности задачи, превышающей даже несколько тысяч показателей-переменных (это зависит от степени детализации, например в СССР – более 20 миллионов показателей) требует затрат времени, превышающих плановый период. Это затрудняет управление экономикой.

Для построения сетевой модели межотраслевого баланса, как и любой сетевой модели, необходимо найти все соотношения между потоками в системе. При этом уравнения системы приводятся к тензорному виду, т.е. при изменении координат (изменении связей элементов, структуры) все величины можно преобразовать линейно, как в формуле (1.2). Преобразования координат: изменение структуры хозяйственных связей, структуры спроса, источников ресурсов.

На рисунке 10 дан пример пяти отраслей (вертикальные линии), связанных поставками (наклонные линии), сверху поступают ресурсы, стрелки внизу показывают воздействие спроса (плана). Представлены 5 базовых отраслей экономики: промышленность, сельское хозяйство, строительство, транспорт, розничная торговля.



**Рисунок 10. Структура сети потоков продуктов в отраслях**

Жирные линии – это основные отрасли производства продуктов, потоки в них направлены вниз, от входов к выходам. Сверху к ним подходят ресурсы (энергетические и материальные). Тонкие линии от выходов одних отраслей к входам других – это направления межотраслевых поставок. Стрелки внизу показывают спрос на продукцию данных отраслей (план производства).

Сама структура потоков продуктов задана технологиями, или физикой процессов преобразования потоков энергии в экономике.

**Тензорная форма уравнений межотраслевого баланса.** Связь потоков продуктов в этой сети записана в (1.17) как закон сохранения потоков в узлах выхода отраслей. Это аналогично первому закону Кирхгофа в цепи. Формулы (1.18) и (1.19) аналогичны метрическим, где элементы метрической матрицы – это коэффициенты прямых затрат для поставок  $a^{\alpha\beta}$  и ресурсов  $b^{\alpha\beta}$ . Они аналогичны законам Ома в цепи. Других соотношений в этой задаче обычно не используют. Однако, как можно видеть на рисунке 1.11, существует связь между потоками в узлах входов отраслей, что можно записать в виде системы уравнений:

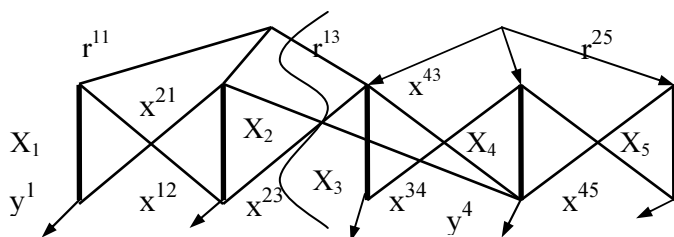
$$X^\alpha = \sum x^{\alpha\beta} + \sum r^{\gamma\beta} = \sum a^{\alpha\beta} X_\beta + \sum b^{\alpha\beta} X_\beta = (\sum a^{\alpha\beta} + \sum b^{\alpha\beta}) X_\beta. \quad (1.23)$$

Потребление ресурсов  $r^{\gamma\beta}$  и поставок  $x^{\alpha\beta}$  определяется, следовательно, величиной валового выпуска  $X_\alpha$ . В уравнении (1.23) слева и справа стоит численно один и тот же вектор  $X^\alpha = d^{\alpha\beta} X_\beta$ , поэтому можно записать:

$$\sum a^{\alpha\beta} + \sum b^{\alpha\beta} = 1. \quad (1.24)$$

Физически это означает: для выпуска единицы данного продукта необходимо обеспечить все поставки и ресурсы – условие очевидное, а потому обычно не используемое. Однако это условие обеспечивает полноту описания потоков в сети для приведения уравнений к тензорному виду.

Для расчета и анализа сетевой модели межотраслевого баланса общую структуру, представленную на рисунке 11, можно записать в виде, представленном на рисунке 1.12, где показаны обозначения основных величин потоков в данной сети: выпуски отраслей, потоки межотраслевые поставки и потоки ресурсов. Ресурсы здесь показаны двух типов. Например, это могут быть потоки энергии и потоки материалов. Реально ресурсов больше – например, должна рассматриваться также рабочая сила, возможно потоки инвестиций, новых технологий и т.д.



**Рисунок 11. Потoki в сетевой структуре межотраслевого баланса для 5 отраслей**

Пример матрицы  $I - A$  для данных отраслей может иметь вид следующий, где выделены подматрицы, соответствующие подсистемам, которые на рисунке 1.12 разделены кривой линией:

$$I - A =$$

	1	2	3	4	5
1	1-0,1	-0,15			
2	-0,2	1-0,2	0,06		
3			1-0,1	0,1	
4		0,24	0,08	1-0,3	0,17
5				0,12	1-0,1

Элементами экономической матрицы являются коэффициенты прямых затрат. Эти коэффициенты показывают, сколько продукции отрасли-поставщика необходимо для производства единицы продукции отрасли потребителя. Уравнения межотраслевого баланса приводит к тензорному виду новое, дополнительное соотношение – баланс потоков поставок и ресурсов на выходе отраслей; это соотношение не используется численными методами решения данной задачи.

#### **Аналогии величин задачи межотраслевого баланса и величин сети**

Все пути потоков продуктов – отрасли-производства, поставки между отраслями, поступления ресурсов – представлены ветвями сети.

Спрос на выходе отраслей  $y^\alpha$  – внешние источники, ему соответствует вектор внешнего воздействия, который в электрической сети представлен узловым током, выход которого на выходе отраслей, а вход – на входе ветвей ресурсов.

Коэффициенты прямых затрат поставок (включая потребление отраслями собственной продукции) и ресурсов  $a^{\alpha\beta}$  и  $b^{\gamma\beta}$  – в сети им соответствуют коэффициенты метрики, или проводимости.

Потоки валовых выпусков, поставок и ресурсов  $X^\alpha$ ,  $x^{\alpha\beta}$ ,  $r^{\gamma\beta}$  – отклики, которым в сети соответствуют комбинации откликов узловых токов и откликов контурных токов.

Соответствие между продуктами и сетью обеспечивают двойственные источники в замкнутых путях, для представления которых в сети вводятся источники напряжения (компоненты воздействия замкнутых путей). Структура сетевой модели такова, что эти контурные источники

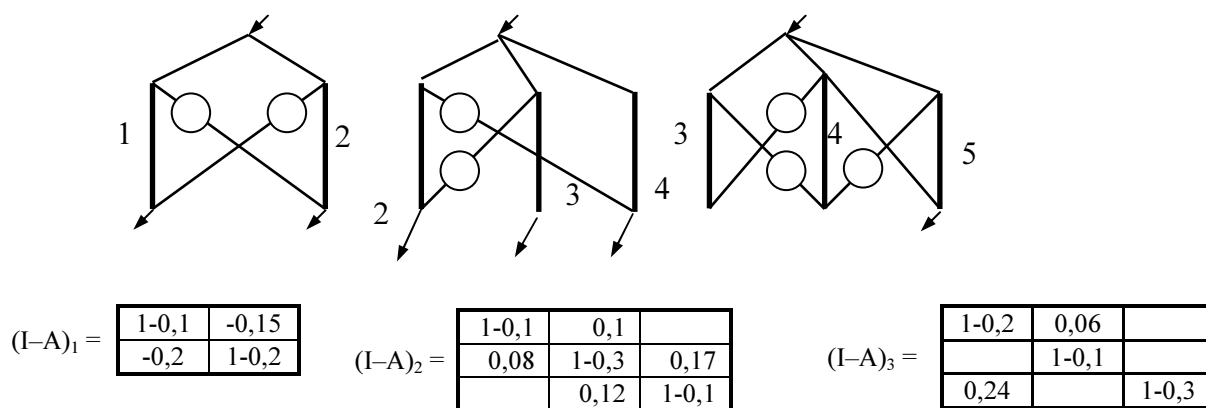


достаточно расположить в ветвях, которые представляют пути межотраслевых поставок. Величина контурных источников напряжения определяется итерационным процессом перехода от несвязанных отраслей к связанным отраслям, которые обмениваются своими продуктами в процессе производства. Именно включение двойственных величин в сети обеспечивает представление процессов в живой экономической системе с помощью комбинации двойственных величин в сети – неживой электрической цепи. Двойственные отклики замкнутых и разомкнутых путей в совокупности представляют сумму компонент – потоков продуктов:

$$X_p^\alpha = I_n^\alpha + \sum_{\mu=1}^{\mu=p} i_{n\mu}^\alpha = \sum_{\mu=0}^{\mu=p-1} (a_{\alpha\beta})^\mu y^\beta = y^\alpha + a_{\alpha\beta} y^\beta + (a_{\alpha\beta})^2 y^\beta + \dots + (a_{\alpha\beta})^{p-1} y^\beta, \quad (1.25)$$

$$x^{\alpha\beta}_p = I_m^\alpha + \sum_{\mu=1}^{\mu=p} i_{m\mu}^\alpha = (a_{\alpha\beta})^{p-1} y^\beta \quad (1.26)$$

Для расчета по частям сетевая модель делится на части, в соответствии с выделением матриц подсистем (см. рисунок 1.12) в экономической матрице  $(I - A)$ . Пример разделения на подсети в соответствии с кривой линией на рис. 1, и экономических матриц для подсистем представлен на рисунке 12. Матрица подсети соединений обозначена  $(I - A)_3$ .



**Рисунок 12. Разделение сетевой модели баланса на подсети, матрицы подсетей**

Вычислительные эксперименты с моделью межотраслевого баланса были выполнены в начале 80-тых годов на ЭВМ ЕС 1041. Было осуществлено около 600 расчетов для разных размерностей и вариантов разделения на подсистемы. Проводился анализ зависимости времени расчета от размерности системы и количества и размерности подсистем. Было показано, что время расчета сокращается в 2-4 раза для задач порядка 150-200 отраслей (технологических процессов). При экстраполяции на задачи в 1000-4000 отраслей (порядок задач Госплана) это давало сокращение времени расчета в 10—40 раз.



При расчете сетевой модели по частям время расчета сокращается пропорционально росту числа отраслей

**Рисунок 13. Пример изменения времени расчета межотраслевого баланса в зависимости от количества (размера) подсистем сетевой модели**

С точки зрения сетевой модели расчет потоков продуктов как компонент векторов контуров и разомкнутых путей (или параметров электрической цепи) состоит из следующих этапов:

1. Выбор размера подсетей (подсистем), при котором размерность сети пересечений (удаленных отраслей) минимальна. Матрица  $(I - A)$  – ее норма меньше единицы – обращается путем вычисления суммы ряда (5.6). Плохая сходимость этого ряда требует выполнения больших объемов вычислений и затрат времени, что не обеспечивает в режиме реального времени (или близкого к реальному) расчет плана, т.е. какие выпуски, поставки и ресурсы обеспечат спрос. Тем более, для расчета различных вариантов плана: при изменении структуры производств, вариантов поставки ресурсов, вариантов взаимодействия отраслей, и т.д.

2. Декомпозиция, разделение сети на подсети. Подсети могут быть произвольного размера. Подсети связаны между собой через компоненты двойственного вектора, значения которых рассчитываются в процессе вычислений. В терминах физики в модели двойственные компоненты представлены как источники ЭДС в каждой подсети, которые зависят от значений откликов на источники тока в других подсетях.

3. Расчет независимых подсетей, получение решений для вектора разомкнутых путей, заданные компоненты которого определяют спрос (план).

4. Расчет взаимных воздействий, которые вызваны компонентами двойственного вектора замкнутых путей, источниками напряжения. Эти показатели соответствуют финансовым потокам денежных средств.

5. Расчет сетей с источниками напряжения.

6. Расчет взаимных воздействий подсетей друг на друга и расчет подсетей с новыми полученными источниками напряжения.

7. Расчет новых воздействий в подсетях за счет увеличения значений источников напряжения.

8. Повторение этапов 5–7 до тех пор, пока разность между новыми приращениями и старыми не станет меньше наперед заданной точности вычислений.

Сетевой алгоритм расчета задачи баланса по частям также приводит к вычислению суммы ряда, аналогичного (5.6), но члены этого ряда состоят из матриц блочно-диагонального вида. Это значительно сокращает время расчета, причем выигрыш времени оказывается тем больше, чем больше размерность самой задачи (за счет того, что время расчета находится в кубической зависимости от размерности подсистем). Алгоритм состоит из следующих этапов:

1. Разделение сети на подсети. Выделяются и удаляются ветви поставок до тех пор, пока не окажется, что заданная сеть разделена на независимые подсети.

2. Расчет сетей с возможным использованием параллельных компьютеров.

3. Расчет взаимодействия сетей, вызванного наличием двойственных источников напряжения.

4. Расчет сетей с новыми источниками воздействия. Получение новых, дополнительных решений, также на параллельных компьютерах.

5. Получение новых дополнений и переход к этапу 3.

6. Повторение этапов 3–5 до достижения заданной точности расчета.

В ветвях сетевой модели есть как воздействия (источники тока и напряжения), так и отклики на эти воздействия (потоки энергии по каждой ветви, представленные соответственно напряжениями и токами). При построении сетевой модели и расчете межотраслевого баланса потоки продуктов представлены только комбинацией токов (откликов на источники двух видов). Напряжения (ковариантные компоненты вектора) не используются. В самой постановке задачи баланса нет таких величин, которым могли бы по физической сути соответствовать напряжения. Получается, что сетевая модель сама генерирует некие величины, которые предоставляют новую информацию, не заданную в исходной постановке задачи.

Вместе с тем в экономической науке известна двойственность потоков денежных средств и потоков продуктов (товаров и услуг). Логично предположить, что напряжения в сетевой модели, которые возникают при построении и расчете потоков продуктов, соответствуют пропорциям в распределении финансовых воздействий, потоков денежных средств, обеспечивающих процесс производства. Тогда получится, что сеть одномерных ветвей моделирует сеть токов, представляющих потоки продуктов, а двойственная  $(n - 1)$  мерная сеть эквипотенциальных поверхностей моделирует финансовые потоки. Речь здесь может идти только о пропорциях,

поскольку сама величина денежных потоков определяется с точностью до выбора валютного курса. Например, с точностью до определения (назначения) количества золота (или нефти, или электроэнергии), которым эквивалентен один рубль.

Дело в том, что потенциал в электротехнике играет точно такую же роль. Само значение потенциала в точке нельзя определить. Его можно определить только как разность значений между двумя точками («поперечная» величина). Эта разность и называется напряжением. В сети потенциал одного узла назначают равным нулю (как правило, его называют «заземление», потенциал земли, т.е. достаточно большой массы). Переходя от одной ветви к другой, получают потенциалы остальных узлов как разность между очередным узлом и заземлением. Это возможно сделать однозначно потому, что в связанной сети узлов на единицу больше, чем ветвей.

Таким образом, в сетевой модели межотраслевого баланса токи могут представлять продукты, а напряжения могут представлять пропорции в распределении денежных средств.

Итак, целесообразно рассматривать напряжения, которые играют роль воздействий, вызывающих токи, как аналоги, пропорции финансовых воздействий, потоков денежных средств в экономике, которые играют там как раз такую роль воздействий, мотиваций к действиям, как напряжения в электрической сети. При этом следует отметить, что существует, по крайней мере, три различных типа напряжений в сети. Это разность потенциалов на источнике напряжения; разность потенциалов на ветвях, вызванная источниками напряжения; разность потенциалов на каждой ветви, вызванная действием источников тока.

Каждый вид такой разности потенциалов можно сопоставить с разными видами финансов (денежных потоков), связанных с кредитованием производства, поставок (товарные кредиты), и с потоками денежных средств в наличной и безналичной форме, направленными на оплату товаров, услуг, и т.д. Эта сеть напряжений соответствует сети финансового сектора в экономической системе.

При моделировании экономической системы технической системой пришлось учитывать различие заложенных в них механизмов протекающих процессов. Оказалось, что двойственные сети обеспечивают адекватное сопоставление этих разнородных процессов.

Как известно, электромагнитное поле имеет магнитную и электрическую составляющие. Они составляют единое целое, но отличаются по структуре своих потоков. Силовые линии магнитного потока всегда замкнутые и не имеют начала и конца, поскольку магнитных зарядов не обнаружено. Электрическое поле начинается и заканчивается на электрических зарядах.

Эта физическая картина электромагнитного поля имеет аналогии в экономике. Потоки товаров и услуг начинаются и заканчиваются на окружающей среде. Поток солнечной энергии обеспечивает добычу энергетических и материальных ресурсов и на этой основе производство товаров и услуг. Пройдя цикл в системе (сети) производства и потребления, потоки продуктов

завершают свой путь в виде отходов, которые «потребляет» природная среда. В этом отношении материальные и энергетические потоки ведут себя аналогично потокам электрического поля. Потоки денежных средств в экономической системе играют роль воздействий и двигаются навстречу потокам продуктов (товаров и услуг). Потоки денежных средств являются замкнутыми в самой экономической системе; они не имеют выхода в природную среду, которая, как известно, производит энергетические и материальные ресурсы не за деньги. В этом отношении потоки денежных средств аналогичны магнитным потокам, которые всегда замкнуты.

Существует различие в результатах воздействия узлового тока, который порождает токи отклики в ветвях цепи, и спроса (плана), который порождает отклики в виде потоков выпусков отраслей, поставок в другие отрасли и ресурсов. Спрос вызывает выпуск продукта, значение которого больше значения самого спроса. Узловой ток вызывает токи отклика, значения которых не превышают его значений (в соответствии с теоремой Волавера о неусилении мощности при наложении на цепь связей). Это происходит потому, что электрическая цепь рассеивает происходящие через нее потоки энергии, но не накапливает. Рассеивание происходит, например, в виде потерь тепла на нагревание проводников тока.

Экономическая система накапливает потоки энергии, расходуемые на потребление, обеспечение спроса. Это выражается в том, что энергия, получаемая в распоряжение общества, человека, из природы, оказывается больше, чем энергия, затраченная на ее получение. Происходит такое усиление благодаря тому, что через человека, общество, любую биологическую систему проходят потоки энергии разных видов, в основе которых поток солнечной энергии. Задача жизни – забрать энергии из этого потока больше, чем затратить.

Таким образом, поток энергии, мощность, в системе производства возрастает. Механизм увеличения потока энергии при производстве продуктов в сетевой модели представлен двойственностью потоков в замкнутых путях и разомкнутых путях. Следовательно, двойственность позволяет связать представление живой системы (хозяйства, связанных отраслей) с помощью неживой системы (сети связанных ветвей с воздействиями и откликами). Более того, можно предположить, что двойственность сетей, замкнутых и разомкнутых путей в сетях, с инвариантом сохранения потока энергии (мощности), лежит в основе самого механизма функционирования живых систем.

С точки зрения физики такому представлению потоков продуктов соответствуют комбинации контурных и узловых токов в электрической цепи, которые возбуждаются источниками напряжения и тока соответственно. Происходит двойственное дополнение токов как источников в отраслях и ресурсах источниками напряжения в поставках. Токи (контравариантные компоненты вектора) представляют потоки продуктов. Напряжения (ковариантные компоненты вектора) представляют потоки денежных средств, финансовых воздействий в системе

производства. Следует отметить, что есть два типа токов и два типа напряжений. Это соответствует четырем типам ковариантных и контравариантных компонент вектора.

Источники тока действуют в разомкнутых путях и порождают отклики напряжения на каждой ветви. В каждой ветви также протекает ток, пропорциональный этому напряжению. Источники напряжения, двойственно дополняющие источники тока для моделирования потоков продуктов, действуют в замкнутых путях и порождают отклики токи в каждой ветви. В каждой ветви также возникает напряжение (разность потенциалов), которое пропорционально этому протекающему току. Таким образом, два типа токов отклика представляет потоки продуктов. Два типа напряжения могут представлять потоки денежных средств. Кроме того, есть еще источники напряжения в контурах, которые связаны с поставками и ресурсами, и эти источники играют свою роль в представлении денежных потоков.

Контравариантные токи – потоки продуктов и ковариантные напряжения – финансовые потоки в двойственной конструкции сети составляют единое целое. Они описывают процесс прохождения солнечной энергии через хозяйственную систему производств. В результате получается механизм отображения в математических понятиях исторического закона увеличения потока энергии на каждого человека. Но это отображение потребовало другой математики. А именно геометрии двойственных сетей, которая одновременно отображает процессы и структуру, т.е. соединяет в одном аппарате структуру и метрику. Преобразования в этой геометрии имеют инвариантом метрический тензор двойственных сетей, который соответствует закону сохранения потока энергии.

Применение сетевой модели для анализа влияния социальных групп на безопасность страны определяется путем анализа состояния и динамики изменения потоков потребления в каждой социальной группе, а также динамики изменения пропорций между группами:

- соотношением между потоками производства и потребления в каждой группе;
  - доли потоков, потребляемых на человека в каждой группе в ВВП;
  - соотношением между потоком потребления и прожиточным минимумом;
  - соотношением между существующим потоком потребления и максимальным потоком;
- т.е. доступным группе из 10% граждан с наибольшим доходом.

Метод сетевого анализа обеспечивает расширение сетевой модели производства, которая соединяет взаимодействующие потоки продуктов и потоки денежных средств, путем дополнения сети производства сетью потребления. Распределение потоков произведенных продуктов в сети потребления по социальным группам позволяет определить степень их соответствия существующим нормам потребления (уровень выживания по прожиточному минимуму, который существенно различается для различных регионов). Далее такой подход обеспечивает сравнение уровней потребления на соответствие существующим идеалам и ценностям социальных групп

(уровень развития). Тогда из анализа отличия потоков потребления, с учетом их доли в общем распределяемом продукте (выраженном как в энергетических единицах, так и в денежных единицах), можно определить «потенциалы социального напряжения» в обществе между отдельными подсистемами.

Такие потенциалы социального напряжения возникают как между отдельными сетями распределения, представляющими социальные группы, так и между каждой группой и государством. Величина потенциала, динамика его изменения определяют уровень, степень поддержки каждой группой проводимой экономической, внутренней политики государства, либо степень противодействия (потенциального или явного). Анализ динамики изменения данных показателей в условиях различных вариантов проводимой экономической и социальной политики позволяет сформулировать подход к измерению показателя социальной стабильности в обществе, который является одной из характеристик способности общества к устойчивому развитию.

### **3.5 Информационная технология расчета структурных изменений для управления устойчивым развитием**

Сетевое государство представляет собой сложную конструкцию, в которой происходит обмен не только потоками энергии в процессе воспроизводства. Двойственной сетью к потокам энергии, связанным с производством и потреблением продуктов, является сеть потоков денежных средств. В этой сети денежные средства не только выполняют функции воздействий в товарном обмене, обеспечивающих потоки продуктов. В рамках четырех классических функций денег особую роль и огромные масштабы приобрели рынки капитала, на которых деньги являются воздействия для производства и распространения потоков денег.

Происходит также генерация и обмен информацией между государственными и общественными институтами: обмен идеями, планами, документами, культурными и духовными ценностями. Государственные институты сами составляют сеть учреждений, которые обмениваются потоками документов (законы, директивы, указания, отчеты, документы регистрации и контроля). В узлах такой сети принимаются решения по выбору тех или иных действий из набора альтернативных вариантов. Совокупность таких решений, планов и мер контроля по их исполнению и обеспечению составляют политику государства. Отличие сетевого государства от традиционного, с иерархической вертикалью подчинения, состоит в том, что принятие решений может возникать в результате воздействий из таких узлов, которые не обязательно расположены в центральных органах власти.

Сетевое общество. Жизненный путь субъекта – это изменение возможностей субъекта и определяемые ими ценности и идеалы, распределенные по жизненным фазам (этапам)

существования субъекта. Жизненные фазы существования субъекта определяются направлением и темпами изменения его возможностей.

В сетевом обществе происходит обмен людьми между различными слоями, социальными группами. Например, с течением времени личности переходят из одной возрастной группы в другую, при этом происходит соответствующее изменение ценностей и интересов. При этом состав групп меняется с течением времени в соответствии с естественной убылью и потоками миграции, однако он задан в основном теми, кто был рожден в начале деятельности данного возрастного слоя. Таким образом, демографическая ситуация сегодня определяет основные параметры общества на многие десятилетия.

Само общество представляет собой «машину» для производства (добычи, преобразования и потребления) потоков энергии с постепенно возрастающей эффективностью, т.е. потоком, количеством энергии на каждого члена общества в единицу времени, например, в год. Социальные группы формируются в процессе производства, в соответствии с жизненным циклом отдельных личностей, а также в процессе распределения произведенного общественного продукта.

**Анализ формирования и поведения социальных групп.** Социальная группа может рассматриваться как элемент сетевого общества. Как отмечалось, в социальную группу объединяют членов общества, которые имеют сравнительно общие характеристики. Совокупность таких характеристик приводит к сравнительно одинаковым системам идеалов и ценностей, присущих всем членам данной общности людей. Социальная группа не имеет в обществе четких границ, личности, вообще говоря, могут входить одновременно в несколько групп.

Изменение возможностей измеряется как изменение потоков потребления на каждого (среднего) члена выделенной социальной группы (СГ). Потоки потребления необходимо измерять не только через показатели стоимости, выраженные в денежных единицах, но также через показатели потоков энергии. Измеримые энергетические показатели обеспечивают агрегированные оценки реального потребления в каждой социальной группе, однако должны детализироваться при более подробном анализе. При детальном анализе должны использоваться стоимостные оценки, с учетом проблем, которые создают: инфляция, параллельное хождение иностранной валюты, покупательная способность разных валют и другие монетарные факторы. Поток энергии трансформируется в целях потребления:

- По списку продуктов (товаров и услуг)
- Через корзину минимального набора продуктов
- Через корзину среднего по стране набора продуктов (с учетом различия регионов)
- Через корзину максимального по стране (уровень первых 10 процентов по уровню потребления) набора продуктов

Сетевая модель общества представляет собой:



- Основные элементы общественной системы
- Структуру связей основных элементов системы
- Воздействия и отклики, которые составляют потоки в структуре элементов, и определяют поведение системы в целом и в отдельных ее частях.

Основные потоки через элементы и структуру системы общества и хозяйства связаны с производством продуктов (товаров и услуг) и их распределением между членами общества, которые составляют основные социальные группы.

Воздействия и отклики (причины и следствия), которые вызывают движение потоков через систему хозяйства, представляют собой материальные и финансовые ресурсы, обеспечивающие процесс производства, спрос и предложение на товарных рынках. В системе распределения воздействиями являются ценности и идеалы, носителями которых являются члены общества. Различия в ценностях и идеалах позволяет объединить членов общества в социальные группы. Это обеспечивает анализ поведения и, в значительной степени, управления их поведением, их влияние на развитие государства и обеспечение национальной безопасности.

Изменения воздействий и изменения откликов, которые приводят к изменению оценки ценностей каждой социальной группы. Самооценка каждой социальной группы (СГ) – в какой степени на данном этапе осуществляется удовлетворение системы ценностей, каковы тенденции и перспективы.

Каждая социальная группа с точки зрения моделирования может рассматриваться как сеть, в которой на входе потребляются продукты, а на выходе (по возможности) производятся:

- субъекты производят продукты (если относятся к трудоспособному возрасту)
- субъекты потребляют продукты, товары и услуги:
  - по своим возможностям (в соответствии с распределением произведенного продукта),
    - а желали бы по потребностям (по жизнеобеспечению и запросам, которые могут соответствовать или не соответствовать их возможностям).

Запросы каждой группы формируются в соответствии с системой ценностей, которая сформировалась в обществе и в данной группе, и которая изменяется по мере развития. Запросы каждого члена общества формируются в соответствии с максимальным достигнутым уровнем потребления в стране. Запросы могут формироваться в обществе, в отдельных социальных группах под внешним воздействием, путем демонстрации, в том числе через СМИ, максимального достигнутого уровня потребления в мире, например, в развитых странах «семерки». Формирование нереальных запросов на основе навязанной системы ценностей (идолов) ведет к недовольству собственным положением, к заниженной самооценке, снижению мотивации,

снижению уровня уважения к собственной стране, в конечном счете, отрицательно влияет на обеспечение безопасности страны.

Перспективные запросы относительно будущего формируют футурологи, фантасты, а также реальная жизнь с высокими темпами научно-технического прогресса, когда принципиально новые продукты появляются быстрее, чем мечты об этих продуктах.

### **Критерии оценки состояния социальной группы**

В каждой группе внутренними критериями оценки текущего состояния по уровню потребления материальных и духовных благ являются:

- Текущее состояние потребления материальных и духовных благ.
- Изменение текущего положения потребления с тенденциями на перспективу.
- Способность обеспечить увеличение продолжительности жизни.
- Способность увеличить продолжительности активной жизни, при которой сохраняются привычные в зрелом возрасте возможности потребления материальных и духовных благ на уровне, достаточном для обеспечения духовного равновесия.

В зависимости от соответствия необходимости в потреблении (запросов) и реальных возможностей обеспечить потребление, личности каждой группы находятся на одном из уровней относительно следующих величин, рассматриваемых в качестве критериев:

- Минимального прожиточного уровня – уровня выживания.
- Среднего уровня потребления в стране (конкретном регионе) – уровня достатка.
- Двойного прожиточного минимума – уровня воспроизводства.
- Максимального уровня потребления в стране (конкретном регионе) – уровня богатства.

Справочными критериями оценки собственного состояния членами каждой социальной группы являются:

- Оценка собственного положения относительно среднего уровня потребления в мире – оценка стабильности положения в стране и ее богатства.
- Оценка собственного положения относительно максимального уровня потребления в мире – оценка положения в стране относительно предельно возможного уровня богатства (способности реализовать свои потребности и свободы перемещения в пространстве и времени).
- В качестве критерия оценки собственного положения может также рассматриваться доля собственных доходов (заработной платы и т.д.) в том продукте (в стоимостном и энергетическом выражении), который произведен непосредственно членами данной группы.

Оценка положения формируется по запросам (которые составляют систему ценностей по духовному, интеллектуальному и материальному положению) членов каждой группы.

В зависимости от формирования отношения к собственному состоянию и положению в стране складывается влияние каждой группы на безопасность страны в целом или на отдельных этапах ее развития.

Уровень активности позиции общественных групп можно использовать как для укрепления и поддержания безопасности страны, так и для снижения и расшатывания безопасности страны.

Также большое значение имеют тенденции изменения указанных показателей с привязкой по времени к возрасту и количеству лет, которое каждый член группы мысленно рассчитывает прожить – т. е., есть ли у него возможность воспользоваться плодами изменений, которые он может осуществить.

Таким образом, темпы динамики изменений являются критериями для оценки перспектив принятия решений, которые способны изменить положение членов каждой группы в обществе, в стране и в мире.

Все перечисленные критерии и величины потоков измеримы, их можно рассчитать и рассматривать как воздействия и отклики на потоки в сети, которая связывает группы с хозяйственным механизмом. Это дает методы и средства воздействия на общественное сознание на уровне потребления материальных ценностей. Бытие, как известно, определяет сознание.

Собственная безопасность личности проектируется на безопасность страны, как на высшую точку (уровень) в иерархии деления социальных групп (СГ) по вертикали.

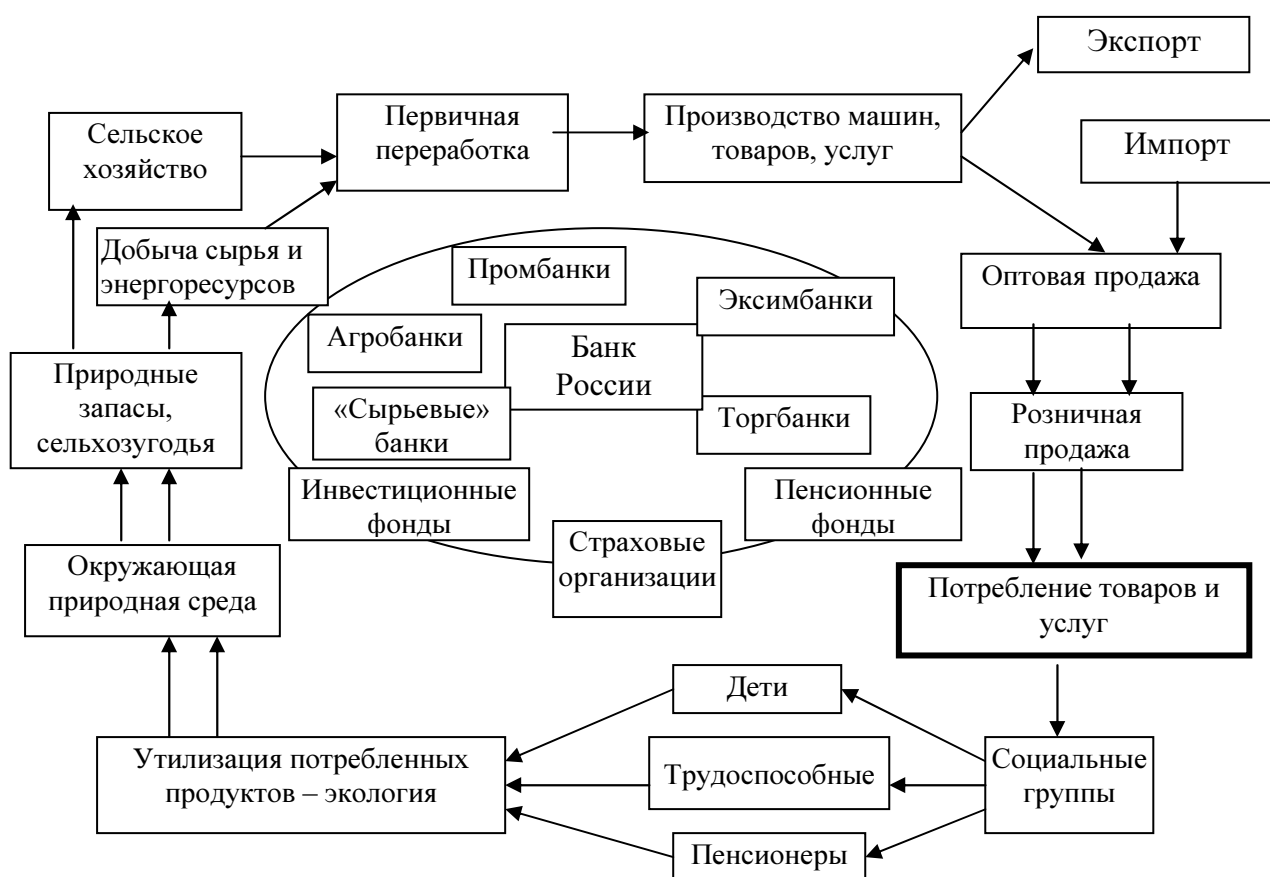
В зависимости от уровня потребления и возможностей реализации способности (свободы) перемещения в пространстве и времени разные СГ по-разному связывают собственную безопасность с безопасностью страны. Чем выше уровень потребления СГ, тем в большей степени она способна оказывать влияние на отношения в обществе, а также на международные отношения.

Сетевая модель социальных групп (социальной группы) определяет состояние СГ на текущий момент времени, а также, что важнее, обеспечивает определение потенциальной динамики изменения состояния с течением времени на обозримую перспективу (плановый период). Сетевая модель СГ состоит из потоков потребления, которые доступны группе при заданном распределении произведенного общественного продукта, а также потоков производства, если члены группы представляют трудоспособное население.

Без применения сетевой модели процессов производства (в виде элементов, подсистем, связей между ними), невозможно обеспечить полноту и системность анализа вопросов экономической, информационной безопасности. Целесообразно начать с анализа простой модели, которую затем следует расширять путем введения новых элементов или новых связей,

соответствующих новым факторам, по мере их возникновения. В агрегированном виде экономическую систему можно представить как совокупность трех взаимосвязанных компонент: производство товаров и услуг (реальный сектор), потребление товаров и услуг (товарные рынки), финансовая система (платежная система, долговые рынки и т.д.). Часть конкурентоспособной продукции поступает на экспорт, импорт обеспечивает ту часть продукции, платежеспособный спрос на которую не покрыт внутренним производством.

Материальные и энергетические потоки в системе производство-потребление продвигаются под действием денежных потоков в платежной системе, накоплений и долговых инструментов финансовой сети, в конечном счете – под действием платежеспособного спроса на товары и услуги. На рисунке 14 схематически представлены основные составляющие, обеспечивающие процесс воспроизводства в экономической системе.



**Рисунок 14. Сетевая модель соединения составляющих экономической системы**

По элементам, которые на данной схеме составляют внешний цикл, в направлении стрелок протекают материальные потоки ресурсов из природной среды. В процессе переработки они превращаются в товары и услуги, потребляются, а затем утилизируются в природной среде. Навстречу этим потокам по элементам внутреннего цикла движутся потоки денежных средств, которые протекают в платежной системе, для целей развития осуществляется кредитная,

инвестиционная деятельность. Воздействием, которое обеспечивает движение всех потоков, является конечный спрос, который обеспечивают потребности населения в создании и поддержании условий обеспечения жизнедеятельности, а также потребности развития.

Данная схема представляет основные компоненты системы воспроизводства, которые имеют то или иное материальное воплощение. В этой материальной сети распространяются потоки материалов, энергии, людей, которые обеспечивают реальное производство, а также потоки денежных средств, которые обслуживают производство, накопление, инвестирование.

Экономические и информационные угрозы могут возникать относительно любого элемента, или связей между элементами, которые показаны на схеме, а также относительно тех, которые не показаны, чтобы не загромождать рисунок; относительно потоков товаров и услуг в реальном секторе, потоков денежных средств, информационных потоков. Кроме того, угрозы безопасности могут возникать относительно тех элементов, или связей между элементами, которые могут появиться в будущем, но определить содержание которых в настоящее время не представляется возможным.

Потоки производства и потребления товаров и услуг замкнуты на окружающую среду – сырье добывается, обрабатывается, проходит цикл производства и потребления субъектами (агрегированными в социальные группы), а затем утилизируется снова в природной среде. Потоки денежных средств в кредитно-финансовой системе замкнуты внутри человеческого общества и не имеют выхода на природную среду. Потоки товаров и услуг, денежных средств по всему циклу воспроизводства обслуживаются информационными потоками в качестве документооборота деловой и финансовой информации в бумажном и электронном виде.

Сетевая модель распределения и потребления товаров и услуг дополняет сетевую модель производства двойственным образом. Элементами сетевой модели потребления являются субъекты, агрегированные в социальные группы. Значения потоков потребления в такой сетевой модели по разным социальным группам обеспечивает анализ соответствия ценностей и идеалов реальным возможностям. Потоки в сети обеспечивают анализ динамики изменения соответствия между ценностными идеалами и ожидаемым ростом возможностей. Это позволяет прогнозировать поведение социальных групп в настоящее время и на перспективу; направление и уровень их влияния на национальную безопасность.

Инвариантом всех систем в природе и обществе является производимый, распределяемый и потребляемый поток энергии на любом уровне: мировая система, страна, организация, семья, личность. Он характеризуется мощностью, измеряющей энергию в единицу времени. Конфликты возникают по линии перераспределения произведенного продукта, измеряемого потоком энергии.

При измерении продукта в денежном выражении возникают эффекты мультипликации, когда каждой денежной единице, соответствующей продукту (энергии) в каждый момент времени соответствует несколько (в настоящее время до 10) денежных единиц вторичных финансовых инструментов, которые обращаются на рынке капитала. Эти единицы отражают отношения общества и человека, различных частей общества (например, государств) между собой, но не отражают отношения человека и общества с природой. Единицы энергии имеют одни и те же значения везде, где производятся согласованные процедуры измерения. Денежные единицы подвержены инфляции разных видов, имеют разную покупательную способность в разных странах, имеют разные функции (оборотные средства, инвестиции, накопление, средства платежа). Такая многофункциональность сделала возможным применение кредитно-денежного механизма для неэквивалентного обмена, например, между развитыми и развивающимися странами. Это привело к череде региональных финансовых кризисов в 90-тые годы, известных как информационно-финансовые войны.

Доминирование доллара в международном обмене также стало механизмом создания преимуществ стране-эмитенту, что привело к угрозе экономике других стран, в том числе развитых стран. Результатом стало введение евро, планы введения золотого юаня или союза иены и юаня, а также обсуждение идеи африканского «евро». Со стороны развивающихся стран результатом стало развитие терроризма, обеспеченное распределенным «сетевым государством», а также поток миграции в развитые страны, опережающий возможности ассимиляции мигрантов, которые создают на их территории свои внутренние «государства». В России этот процесс также развивается и составляет одну из угроз.

Состояние конфликтов и взаимных угроз с переделом произведенной энергии возникает в каждый момент времени, точнее, в тот период, который в данном случае принят за единицу времени. В динамике развития, изменения связей и отношений, количества участников и возникновения новых форм отношений между ними необходимо производить преобразование между состояниями в разные единицы времени.

Для анализа и управления необходимо моделировать разные состояния, и возможные варианты развития этих состояний. Переход в следующее состояние, следующий отрезок времени является преобразованием от одной системы координат к другой системе координат. Это преобразование координат по времени.

Если рассматриваются разные варианты компоновки структуры связей между хозяйствующими субъектами, странами, политическими союзами, объединениями и разделениями социальных групп в обществе, то это также преобразование координат. Это преобразование координат в пространстве.

Создание количественного метода решения задач стратегического управления, т.е. прогнозирования устойчивого развития страны, требует применения измеряемых величин. Такие величины при изменении систем координат преобразуются линейно, умножением на матрицы преобразования, т.е. являются тензорами. Таким образом, решение данных задач требует применения тензорных методов управления сложными системами.

Инвариантом группы преобразований структуры общественных связей является мощность, которая характеризует производимый и потребляемый поток энергии. Инвариантом группы преобразований структуры общественных связей с течением времени является темп роста (изменения) производимого и потребляемого потока энергии. Этот инвариант связывает элементы управления стратегическим развитием при переходе от одного уровня управления и прогнозирования к другому (например, от тактического уровня к оперативному, и т.д.).

В системе производства продуктов, обеспечивающих возможность потребления потока энергии членами общества, организациями, странами, воздействиями являются потоки денежных средств. Двойственность потоков продуктов и денежных средств отмечается в учебниках по экономике. Сети распространения потоков продуктов и денежных средств имеют разную структуру, но они являются двойственными по отношению друг к другу. Сами потоки денежных средств имеют двойственную природу, поскольку одни и те же единицы участвуют как в производстве, так и в распределении продуктов (потоков энергии).

Математической основой расчета и анализа потоков процессов и структуры связей сложных систем является тензорный метод двойственных сетей. Такой подход дает математическую и методологическую основу для совместного расчета и анализа потоков продуктов и денежных средств, как в заданном состоянии, так и при изменении структуры связей. Сетевые модели обеспечивают возможность расчета и анализа таких вариантов развития ситуации, которые возникали ранее, могут возникнуть в перспективе. Это обеспечивает возможность анализа развития ситуаций при внесении изменений в систему на организационном, законодательном, политическом, хозяйственном уровнях.

Анализ угроз можно вести в терминах потребления, измеряемого (потоком энергии). Например, какой величины должны быть такие потоки в дальневосточных регионах, чтобы обеспечить стабильность состава населения, обеспечить воспроизводство населения. До какой величины должны быть увеличены потоки потребления, чтобы обеспечить приток населения в дальневосточных регионах, до уровня, который обеспечивает национальную безопасность.

Общая схема информационного обслуживания хозяйственной деятельности представлена на рисунке 15.



**Рисунок 15.**



### **3.6 Методологические принципы и критерии информационной технологии анализа банковской системы**

Математическая модель двойственных сетей применяется при создании метода расчета потоков продуктов и денежных средств с целью анализа результатов деятельности банков и промышленных предприятий. Денежные потоки не зависят друг от друга, когда они вложены в независимые каналы (активы). Например, если сумма денежных средств (в форме наличности или кредита) вложена в инвестиции, ценные бумаги, закупка партии товара, недвижимость и т.д., то она не взаимодействует с другими суммами денежных средств. Потоки продуктов зависят друг от друга в пределах технологических цепочек, когда поставки согласуются по месту, времени, количеству и качеству.

**Принцип применения пространства потоков продуктов и денежных средств.** Потоки денежных средств в экономике имеют характер замкнутых путей и соответствуют контурной подсети. Эти потоки циркулируют в обществе, не имея контакта с окружающей средой. Природа создавала ресурсы от начала мира и не использовала денежной сферы. Потоки продуктов как замкнуты (через взаимные поставки), так и разомкнуты через природные ресурсы и потребителей и соответствуют подсети разомкнутых путей. Потоки денежных средств асинхронны: банк, фирма, предприятие могут осуществлять платежи и вложения денежных средств отдельными суммами в разные моменты времени и на разные сроки. При этом и прибыль от разных сумм поступает в разное время, но в совокупности эти поступления составляют поток прибыли за определенный период. Объем этого потока определяет эффективность деятельности предприятия или кредитной организации.

Предприятие характеризуют потоки двух видов: продуктов (поставки плюс ресурсы, цикл производства и отпуск продукции потребителям) и денежных средств (поступает плата за отгруженную продукцию, дебиторская задолженность, затраты на производство, оплата поставок и привлеченных кредитов, кредиторская задолженность). Денежные потоки текут навстречу потокам продуктов, их пути не совпадают.

Сеть денежных потоков двойственна к сети потоков продуктов. Движение потоков денежных средств (наличные и безналичные деньги, ценные бумаги и т.д.) происходит в сфере финансов. Ее основу составляют банки, страховые, инвестиционные и финансовые компании – узлы сети денежных потоков.

Важной составляющей хозяйственного механизма является банковская система, которую называют «кровеносной системой» экономики. Создание информационных механизмов, информационных продуктов, ориентированных на всех участников хозяйственной деятельности, является необходимой задачей для реализации системы управления устойчивым развитием.

Методологические принципы и критерии анализа банковской системы соответствуют общим принципам, рассмотренным в Разделе 1.

Одним из важных механизмов повышения прозрачности, а, следовательно, уровня управления и безопасности в банковской системе России являются информационные продукты, выпускаемые с помощью информационно-аналитической системы «Банки и финансы» (ИАС «Банки и финансы») с 1995 года. ИАС «Банки и финансы» – источник информации для формирования дистанционных рейтингов банков.

На основе ИАС «Банки и финансы» выпускаются информационные продукты в электронной и печатной форме, ориентированные на пользователей различного уровня в зависимости от содержания и масштабов их профессиональной деятельности, а также аналитические продукты. Пользователями ИАС «Банки и финансы» являются государственные структуры, такие, как Банк России, Внешэкономбанк, крупные финансовые и промышленные организации, такие, как Газпромбанк, Магнитогорский металлургический комбинат, а также средние и малые банки, фирмы, аналитические центры.

**Принцип допустимого уровня информации.** Необходимо разграничивать уровни детализации информации, применяемой для анализа и управления. Внутренняя информация хозяйствующего субъекта является коммерческой тайной. Мировая практика показывает, что более трети фирм, которые теряли 25% внутренней информации, прекращали существование. ИАС «Банки и финансы» [43, 101] является примером создания и успешного функционирования механизма повышения информационной прозрачности без нарушения коммерческих интересов банков. По действующему законодательству банк обязан предоставлять любому потенциальному клиенту свой баланс на последнюю отчетную дату, следовательно, это открытая информация. Система основана на анализе показателей деятельности банков, полученных путем группировки счетов бухгалтерской отчетности. Печатные и электронные продукты, выпускаемые с помощью данной системы, пользуются устойчивым спросом в России и СНГ.

**Принцип полноты информации.** Долевой анализ применяется при анализе динамики ВВП страны в мировом продукте. Это характеризует уровень успешности проводимой политики, уровень развития. Для такого анализа необходимо иметь информацию о всех участниках мировой экономики. Применение базы данных бухгалтерской отчетности по всем банкам РФ обеспечивает возможность анализа динамики доли каждого банка в суммарном показателе по банковской системе РФ. Долевой анализ по 7 показателям применяется при расчете рейтинга динамической финансовой стабильности банков (РДФС). Методика РДФС обеспечивает применение для анализа и управления состоянием промышленных предприятий; обеспечивает агрегирование оценок по отраслям, регионам, выделенным группам хозяйствующих субъектов.

Первоначально результаты расчетов в ИАС «Банки и финансы» публиковались один раз в

два месяца в бюллетене «Банки и финансы» [101], а с сентября 1998 года – также в ежемесячном приложении к нему «Деятельность банков России», с целью отразить динамизм изменений после кризиса августа 1998 года. Данные бюллетени издаются при поддержке Ассоциации российских банков. База данных «Балансы банков России», лежащая в основе Системы, зарегистрирована в Государственном регистре за № 0229703398 Госкомитетом РФ по связи и информатизации, регистрационное свидетельство № 3140 от 03 февраля 1998 г.

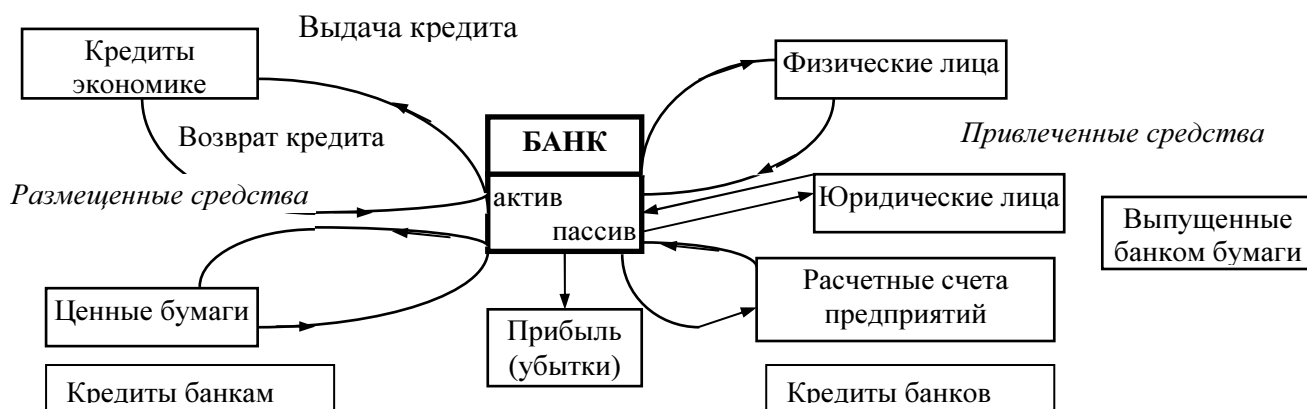
Электронная версия на CD-диске была создана в 2000 году, тиражируется ежемесячно, и содержит более 70 показателей по каждому банку России за годовой период. В 2001 году по заказу Центрального Банка Российской Федерации на базе данной системы создана и эксплуатируется информационно-аналитическая система «Банки и финансы». База данных системы содержит значения более 150 показателей всех российских банков (включая лишенных лицензии и ликвидированных) за период по месяцам, начиная с 1.01.1998, т.е. за весь период действия нового Плана счетов бухгалтерского учета в кредитных организациях России. Система обеспечивает исполнение запросов по поиску заданных показателей на заданные даты или периоды времени для отдельных банков, или заданных групп банков.

**Принцип применения инвариантных показателей.** Формирование и расчет показателей в Системе носит инвариантный характер, в том смысле, что реальные потоки денежных средств не зависят от той «системы координат», формы отчетности, в которой они представлены. В этом отношении показатели состояния банков аналогичны тензорам в геометрии, компоненты которых преобразуются при изменении координат по линейным законам. Такой подход позволяет сохранить однородность динамических рядов значений показателей, обеспечить их сопоставимость и сравнительный анализ за весь период динамики развития банковской системы России. Выбор показателей, основанных на представлении объективных потоков денежных средств, обеспечил преемственность и сопоставимость их значений при переходе на новый План счетов с 01.01.98. Данный подход обеспечит предстоящий переход на МСФО без потери преемственности динамических рядов основных показателей. Динамика позволяет анализировать тенденции в развитии банков, групп банков, региональных и отраслевых подсистем, банковской системы в целом.

Схема движения в банке (кредитной организации) потоков денежных средств показана на рисунке 16. Банк располагает собственными средствами (уставный капитал, фонды плюс нераспределенная, чистая прибыль), которые составляют его капитал. Банк привлекает (покупает) денежные средства (населения, предприятий, государства, банков). За использование этих средств банк платит владельцам.

Банк размещает (продает) средства среди заемщиков, которые за это платят банку; часть средств резервирует на случай потерь. По истечении срока размещенные средства возвращаются

банку с процентами (составляющими доход), образуя одну группу циклов. Банк возвращает привлеченные средства с процентами (расходы) – это другая группа циклов, по которым совершают оборот привлеченные денежные средства.



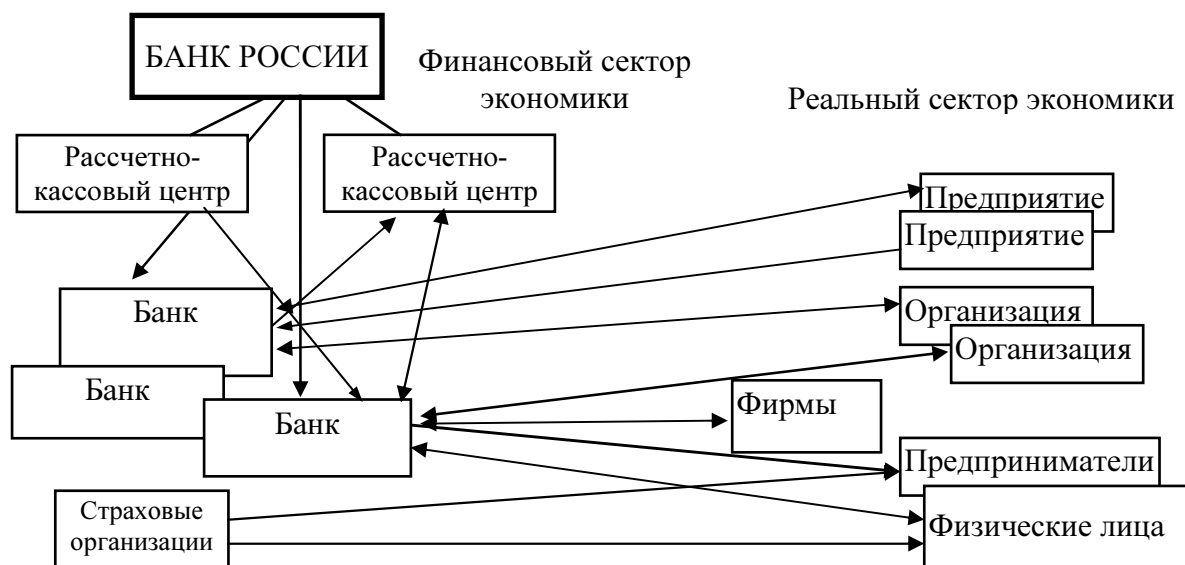
**Рисунок 16. Схема движения потоков денежных средств в банке**

Разность между доходами и расходами составляет прибыль банка. Анализ динамики развития банков и банковской системы в целом, в условиях рыночной экономики представляет практический интерес для клиентов, партнеров и конкурентов. На сегодня в России сложилась двухуровневая банковская система. На верхнем уровне располагается Центральный банк Российской Федерации (Банк России). Он регулирует денежное обращение, единую денежно-кредитную политику страны, организует расчетно-кассовое обслуживание, контролирует деятельность банков и других кредитных организаций, которые составляют нижний уровень.

При денежном обращении происходит движение денег в качестве средств обращения и платежа, что обеспечивает обмен продуктов (товаров и услуг). Пути потоков денежных средств замкнуты. Они начинаются и заканчиваются в банках. Это аналогично силовым линиям магнитного потока, которые также всегда замкнуты. Материальные средства извлекают из окружающей среды (добыча ресурсов), превращают в потоки продуктов, обменивая на деньги в процессе производства и потребления, а затем возвращают также в окружающую среду в виде отходов. Пути потоков продуктов как замкнуты, так и разомкнуты. Они похожи на электрические силовые линии, которые начинаются и заканчиваются на зарядах. Денежное обращение в финансовой сети обеспечивает продвижение продуктов в сети производства и потребления. Сети потоков продуктов и денежных средств постоянно пересекаются, но не совпадают. Они совпадают лишь в том, что деньги сами есть товар, который можно покупать и продавать (на определенное время). Именно это и делают банки и другие финансовые компании.

Движение денежных средств в одном банке показано на рисунке 3.15. По нескольким каналам (средства и депозиты юридических и физических лиц, кредиты других банков,

выпущенные ценные бумаги) в банк поступают привлеченные средства (с отличиями в датах поступления, сроках привлечения средств, цене – ставке привлечения и т.д.). За вычетом резервов, остальные средства могут размещаться также по разным каналам (с теми же отличиями). Превышение доходов от размещения над расходами по привлечению дает прибыль. Банки связаны со сферой реального производства и между собой. Схема движения потоков денежных средств в банковской системе, их связь с реальным сектором, составляющая модель финансовой сети показана на рисунке 17.



**Рисунок 17. Схема потоков денежных средств в экономике**

Формирование математической модели потоков денежных средств по общей схеме, которая рассмотрена в Разделе 1, позволяет представить банк по аналогии с трансформатором. По одной группе циклов банк привлекает средства на платной основе на различные сроки, например, депозиты юридических и физических лиц, средства на расчетных и текущих счетах клиентов, кредиты и средства других банков, осуществляет эмиссию ценных бумаг. По другой группе циклов банк размещает на различные сроки средства, например, выдает кредиты предприятиям, организациям, частным лицам и банкам, вкладывает средства в государственные и корпоративные ценные бумаги и др. Банк получает плату за предоставленные средства и услуги. Если доходы превышают расходы, то банк получает прибыль, увеличивает капитал, повышает привлекательность для клиентов, т.е. его возможности растут. Если банк терпит убытки, то все происходит наоборот, его возможности снижаются, вплоть до банкротства, т.е. потери способности своевременно выполнять свои обязательства.

Модель потоков денежных средств соответствует финансовой подсети модели баланса потоков продуктов. Банк – это такая часть экономики, которая не только рассеивает, но и

накапливает потоки энергии в результате трансформации потоков денежных средств в наличной и безналичной форме.

Предприятия, организации (юридические лица) и население (физические лица) проводят расчеты через банки, вкладывают средства, получают ссуды и т.д. Банки предоставляют ссуды не только реальному сектору, но и другим банкам. Это межбанковские кредиты полученные (кредиты других банков, КДБ), и предоставленные (МБК). Финансовая система образует сложную сеть, в которой текут потоки разных типов по разным путям. Пути проходят по отдельным ветвям, где поток одного типа движется в одном направлении. В системе общественного воспроизводства продуктов (товаров и услуг) банк (по физической аналогии) играет роль трансформатора, который собирает (покупает) денежные средства и затем размещает (продает) их туда, где ожидается наибольшая прибыль.

**Принципы анализа банковских балансов.** Движение денежных (как и материальных) средств и их источников отображается в рамках бухгалтерского учета. Основой учета является единая система счетов, которые сведены в нормативный документ – «План счетов бухгалтерского учета в банках РФ». Отдельный **счет** вводится для каждого вида средств (активов) и каждого вида источников средств (пассивов). План счетов до 01.02.98 (старый План счетов, СПС) состоял из 25 разделов балансовых счетов (счета первого порядка) и 10 разделов внебалансовых счетов [43].

План счетов представляет собой систему координат, на оси-счета которой проектируются реальные потоки денежных средств, соответствующие движению потоков продуктов в системе воспроизводства. Для разных хозяйствующих субъектов установлены свои планы счетов, отражающие специфику их деятельности. Каждый поток денежных средств отражается по соответствующему ему счету, как проекция на ось координат многомерного пространства. Потокам, прошедшим по счету за отчетный период времени, соответствуют обороты (по пассиву или активу, в зависимости от того поступают они в банк, или покидают его). Остатки на счете на начальную и конечную дату отчетного периода показывают состояние счета на данный момент времени.

Изменение форм отчетности соответствует изменению системы координат. При этом инвариантные, т.е. реально существующие потоки денежных средств принимают соответствующие им значения в новых «координатах», т.е. счетах. Выбор инвариантных показателей, группирующих средства на однородных по физическому смыслу счетах, обеспечивает линейный, тензорный переход в новую систему координат.

В настоящее время для банков действует План счетов (новый План счетов, НПС), определяемый «Правилами бухгалтерского учета в кредитных организациях (КО), расположенных на территории Российской Федерации» [101]. НПС рассматривается как другая система координат, на оси-счета которой проектируются реальные потоки денежных средств, на новые

отчетные даты. Но точно также могли бы проектироваться и потоки денежных средств на отчетные даты, соответствующие периоду действия СПС.

В НПС представлены суммы денежных средств в рублях, в иностранной валюте (в рублевом эквиваленте), а также их сумма по каждому счету, который соответствует одному виду банковской деятельности. Счета сведены в 7 разделов (Капитал и фонды, Денежные средства и драгоценные металлы, Межбанковские операции, Операции с клиентами, Операции с ценными бумагами, Средства и имущество, Результаты деятельности). В этих разделах трехзначные счета первого порядка определяют вид деятельности, характеристику банка. Например, счет 455 означает «Кредиты, предоставленные физическим лицам». Добавление еще двух знаков детализирует смысловое содержание счета. Такой пятизначный счет и называется счетом второго порядка. Например, счет 45505 означает «Кредиты, предоставленные физическим лицам» на срок от 181 дня до 1 года. По этому счет проходят все кредиты, предоставленные физическим лицам от полугода до года, составляя денежный поток в данном направлении в банковской сети. Счета могут рассматриваться как оси «системы координат» многомерного пространства, каждое измерение которого (например, счет первого порядка) является независимым направлением потоков денежных средств. Формат описания таких измерений в динамике изменений представлен в виде оборотно-сальдовой ведомости, которая имеет 12 колонок:

№№ счета	Входящие остатки			Обороты по активам			Обороты по пассивам			Исходящие остатки		
	Рубли	Валюта	Сумма	Рубли	Валюта	Сумма	Рубли	Валюта	Сумма	Рубли	Валюта	Сумма
10203												
20202												

Исходящие остатки предыдущего месяца равны входящим остаткам последующего месяца. Эти значения показывают, какие средства остались на счетах на эти даты, т.е. это характеристики состояния банка. Реальные потоки денежных средств отражают обороты в течение месяца, которые показывают, какие средства приходили на счета банка извне, а какие покидали его, и в каком количестве. Обороты, в сочетании с соответствующими счетами банков, предприятий и организаций, откуда пришли, и куда поступили средства, позволяют осуществлять расчеты в финансовой сети денежных потоков, сопоставляя их с потоками продуктов в производственной сети реального сектора, с целью анализа, прогнозирования и управления.

Счета вводят или исключают по мере необходимости отражать реалии изменения в жизни экономики. Например, в 1998-2002 гг. Банк России своими Указаниями ввел в План счетов бухгалтерского учета в КО РФ ряд изменений: ввел изменения счетов, исключил некоторые счета и ввел новые счета. Эти изменения сгруппированы и представлены в Положении Банка России от 5.12.2002 № 205-П «О правилах ведения бухгалтерского учета в кредитных организациях, расположенных на территории Российской Федерации».

В 2003-2005 гг. внесены изменения и дополнения в Положение Банка России от 5 декабря 2002 года № 205-П «О правилах ведения бухгалтерского учета в кредитных организациях, расположенных на территории Российской Федерации». В результате внесения изменений и дополнений некоторые счета исключены, содержание некоторых других изменилось. Введен целый ряд новых счетов. Эти изменения отражены в указаниях Банка России.

Разработанная на основе сетевой модели методика анализа деятельности банков применяется для расчетов состояния и динамики развития банков в информационно-аналитической системе «Банки и финансы». Данная методика рассматривает потоки денежных средств как объективно существующие величины, измеримые в действующей системе отчетности. Потоки денежных средств образуют в банке пути-циклы: привлекаемые средства, размещаемые средства. Кроме того, существуют резервы на возможные потери по ссудам и ценным бумагам, фонды, материальные активы и т.д. Привлеченные средства поступают в банк (и банк платит за пользование ресурсами), размещаются в активы (и банк получает плату за предоставленные средства, например, проценты по ссудам). Разность между доходами и расходами составляет прибыль (или убытки). Резервные средства прибыли не дают.

Многообразие видов денежных средств не позволяет оценивать и сравнивать банки по какой-либо одной группе показателей. Валюта баланса характеризует всю сумму средств банка, поэтому этот показатель на первом месте. Собственные средства составляют «ядро» банка. Привлеченные средства - это оболочка. Сумма обязательств и капитал составляют сумму пассивов, которая является источником средств, «причиной» и определяет кредитный потенциал, который можно рассматривать как «следствие». В этой связи сумма пассивов выбрана для ранжирования банков в основных таблицах бюллетеня «Банки и финансы».

Состав и объемы привлеченных и размещенных средств характеризуют специализацию банка, обеспеченность ресурсами для поддержания ликвидности. Прибыли (убытки) как в целом, так и за отдельные месяцы, а также их динамика показывают эффективность работы банка.

На балансовых счетах отображаются средства и источники средств, определяющие текущее состояние банка. Учет ведется по системе двойной записи, когда каждая операция по перемещению средств отражается списанием средств с одного счета и записью на другой счет. Это обеспечивает непрерывность учета и сохранение информации о движении потоков денежных и материальных средств.

Счет состоит из двух сторон. Левая называется «дебетом», туда вносятся все наличные поступления по данному счету. Правая – «кредитом», туда заносятся поступившие или причитающиеся к уплате суммы. Счета отличаются порядками, по степени детализации. Состояние средств банка на момент времени (дату) отражает бухгалтерский баланс – сводная таблица системы показателей. Баланс состоит из двух частей – актива и пассива. Пассив баланса



отражает источники средств, актив – состав, размещение и использование средств. Баланс представляет собой роспись состояния счетов по дебету (актив) и кредиту (пассив) и состоит в том, что сумма активов равна сумме пассивов. На счетах отражено движение всех денежных и материальных средств в банке. Привлеченные средства отражаются на пассивных счетах баланса.

Размещенные средства отражаются на активных счетах баланса. Это выданные ссуды, приобретенные ценные бумаги, другие вложения, которые приносят банку прибыль. Каждый показатель баланса – это комбинация ряда счетов второго порядка.



**Рисунок 18. Вид счета и движение денежных средств по пассивным и активным счетам при проведении операций банка**

В силу его формы счет называется «Т-образным». В столбце дебета записывают поступающие на счет средства, в столбце кредита – списываемые со счета. Все показатели источников средств банка (пассивы) и размещения средств банка (активы) получают как комбинации дебетов и кредитов соответствующих счетов бухгалтерского баланса.

Если с точки зрения математической модели считать, что банк играет роль трансформатора, то счета в его отчетности играют роль ветвей. По своей физической сути счета-ветви указывают пути движения денежных средств. Дебет - это узел входа такой ветви, кредит - узел выхода. Сальдо (разность дебета и кредита) показывает количество денежных средств, которые в данный момент находятся в этой ветви. Поскольку в каждом банке на каждый момент времени может работать несколько сот счетов-ветвей (при детализации счетов второго порядка - значительно больше), то целесообразно объединять их в экономически однородные группы - показатели, которые представляют те или иные стороны деятельности банка.

Методика и технология построения данной системы обеспечивают возможность создания на ее основе аналогичных систем для анализа деятельности промышленных предприятий, страховых организаций и других хозяйствующих субъектов. Это позволило бы создать механизм повышения прозрачности хозяйственной деятельности, повысить уровень делового доверия, и, в конечном счете, повысить экономическую безопасность России.

## **Раздел 4. Портал «Научная школа устойчивого развития»**

### **4.1 Введение**

В основе разработки портала «Научная школа устойчивого развития» заложено следующее определение портала: «Портал - это приложение, которое обеспечивает персонифицированный и настраиваемый интерфейс, дающий возможность людям находить и использовать нужную информацию в соответствии со своими интересами и взаимодействовать с другими людьми».

Портал «Научная школа устойчивого развития» представляет собой сетевой узел, подключенный к Интернету по высокоскоростным каналам, обладающий развитым пользовательским интерфейсом и предоставляющий свободный доступ к информационно-образовательным научным ресурсам по тематике устойчивого развития, ориентированным на широкую аудиторию. Указанное единство является ключевой характеристикой портала и означает, что доступ к нему характеризуется единой системой навигации и поиска информации, единой системой организации пользовательских приложений, унифицированным интерфейсом, единой системой администрирования и т.п. Информационная система портала сформирована на базе среды, обеспечивающей высокий уровень надежности хранения данных и эффективность доступа к ним.

С концептуальной и содержательной точки зрения портал «Научная школа устойчивого развития» - это систематизированное изложение материалов, в которых впервые в максимально доступной для самых разных специальностей форме:

- излагаются мировоззрение, теория и метод научных основ проектирования устойчивого развития в системе «природа—общество—человек» как целостная система научных знаний;
- показывается логика и измерение перехода к устойчивому развитию в технологиях, экологии, экономике, финансах, политике, образовании и т. д.

Портал разработан на основе научных трудов и опыта подготовки магистров и аспирантов кафедры устойчивого инновационного развития Международного университета природы, общества и человека «Дубна».

### **4.2 Цель создания портала**

Цель создания портала – предоставление всем, кто интересуется проблемами сохранения и развития Жизни в ее самых разнообразных проявлениях, инструмента по овладению знаниями и умениями использовать открываемые наукой возможности для перехода к устойчивому развитию общества в неразрывной связи с окружающей человека средой.

Портал выполняет следующие функции:

- обеспечение широкого и качественного доступа к информационным ресурсам портала, возможность поиска и изучения материала, изложенного в доступной форме в виде

информационных тематических блоков, помогающих пользователям получить необходимые сведения в наиболее полном объеме и сформировать целостное представление по тематике портала;

- возможность коллективного обсуждения проблем устойчивого развития в рамках интерактивных разделов портала;
- оказание профессиональных консультационных услуг пользователям портала по тематике портала.

Таким образом, портал дает не только возможность овладеть информацией, но и создает условия для профессионально значимой самореализации пользователей через разнообразные операции с информацией, в том числе и через специализированное общение, повышающее взаимную мобильность.

#### **4.3 Основные качества портала**

- Быстрое и удобное управление информацией на портале;
- Встроенный поиск по portalу, позволяющий пользователям любой квалификации быстро находить интересующую их информацию определенной тематики;
- Возможность распределения прав доступа к управлению порталом – для совместной работы разных пользователей над разными разделами портала;
- Качественный дизайн, нацеленный на оптимальное представление информации.

Портал соответствует «сетевому этикету»: доступен для пользователей с низкоскоростным Интернет—каналом; одинаково работает на различных платформах и в разных браузерах; не требует значительной подготовительной работы (скачивания спецпрограмм и т.п.).

Материал, размещаемый на портале, подготовлен с учетом Web—стиля: соблюдена емкость, лаконичность изложения, применены общепринятые условные обозначения и сокращения и т.п.

На портале отсутствует посторонняя информация в виде различных кнопок, баннеров, ссылок и т.п. Отсутствуют нефункциональные элементы оформления.

Портал обладает открытой архитектурой, позволяющей расширять ее функциональность за счет добавления различных дополнительных компонентов.

Портал имеет одну русскоязычную версию, вместе с тем редакция портала оставляет за собой право размещать материалы и на иностранных языках.

#### **4.4 Особенности и отличия портала**

Уникальность портала заключается в **прозрачности и краткости** изложения базовых принципов системы «природа—общество—человек», сути логики и метода проектирования для обеспечения устойчивого развития. Изложенные в материалах портала принципы являются тем

стержнем, который «сшивает» различные предметные области в целостную систему. Поэтому их ясное изложение может значительно облегчить изучение многих крайне сложных вопросов философии, математики, физики, экономики, политики. Более того, знание и понимание этих принципов предоставляет возможность увидеть соизмеримые связи между фундаментальными понятиями естественных, технических и гуманитарных наук. Использование в материалах портала прозрачных и универсальных мер дало возможность представить материал не только **кратко**, но и по возможности **максимально доходчиво**.

Работа портала построена на следующих **принципах**:

**Некоммерческий** принцип – все ресурсы находятся в открытом бесплатном доступе.

**Правовой** принцип – все материалы размещаются при соблюдении авторских прав.

**Профессиональный** принцип – все ресурсы проходят через экспертный отбор.

#### **4.5 Описание функциональности портала**

Важной характеристикой портала является организация пользовательской рабочей среды. Информационная система портала обладает простым, удобным, легко осваиваемым интерфейсом, который предоставляет конечному пользователю все необходимые для его работы функции, не обременяя его необходимостью выполнять какие-либо лишние действия.

**Главное меню портала обеспечивает доступ к основным пунктам**, через которые пользователь может получить доступ к соответствующей информации файлов и баз данных:

Представленный на портале материал организован в виде **тематических блоков**. Основной упор сделан на логическое, доступное изложение необходимых уровней и элементов научного знания о проектировании устойчивого развития в системе «природа—общество—человек» и рассказ о научной школе устойчивого развития в университете «Дубна», ее планах и перспективах. Помимо обширного информационно-образовательного блока, портал содержит новостные разделы, сервисную часть и дополнительные материалы.

Рассмотрим структуру портала более подробно.

Первый тематический блок **«Назначение портала»** представляет собой вступительную вводную часть, которая знакомит пользователей с целями создания и задачами портала, раскрывает его основные функции, особенности и отличия, рассказывает о том, как устроен портал.

**Устойчивое развитие: что это такое.** Это обзорная часть, дающая возможность понять практическую актуальность проблемы. Уже здесь даются предварительные определения устойчивого развития так, как это было одобрено на 42-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН в 1987 году. Ясно и определенно излагается суть проблемы в форме восьми ключевых вопросов, из которых ясны трудности, с которыми столкнулось мировое сообщество на пути перехода к

устойчивому развитию. Показываются различные примеры, из которых следует, что без глубокой научной проработки проблемы ее решение может быть крайне затруднено. Раскрываются факторы, препятствующие и способствующие устойчивому развитию. Внимательно рассматривается определение предмета и метода проектирования устойчивого развития в системе «природа—общество—человек»

**Научная школа устойчивого развития в университете «Дубна».** В этом разделе рассказывается о создании уникальной русской научной школы устойчивого развития на базе кафедры устойчивого инновационного развития университета «Дубна», а также о планах и перспективах ее развития. Один из пунктов раздела посвящен знакомству с научными руководителями школы.

### **Научные знания об устойчивом развитии.**

Тематический блок «**МИРОВОЗЗРЕНИЕ**» открывается определением базовых понятий, что должно лучше сориентировать пользователей портала в нижеследующем материале.

**1. Суть научного мировоззрения.** Знакомит аудиторию портала с понятием «научное мировоззрение». Показывается отношение между научным мировоззрением и просто мировоззрением. Дается объяснение, при каких условиях выводы научного мировоззрения являются общеобязательными для всех. Рассматривается вопрос: «Что такое знание и научное знание?» Показываются их общие свойства и различия. Особое внимание уделяется требованиям доказуемости и измеримости знания. Даются самые общие предварительные представления о логике проектирования устойчивого развития, о существовании универсальной основы и меры знаний. Показываются условия, необходимые для развития научного мировоззрения. Подводятся итоги по рассматриваемым вопросам.

**2. Суть и устройство научного знания.** Рассматриваются очень важные вопросы, помогающие понять, как из «моря» данных выудить знание? Как из знания выделить научное знание? Как установить связи между разнородными знаниями, предоставляемыми естественными и гуманитарными науками? Анализируются причины и последствия разрыва связей между элементами знания.

**3. Устойчивое развитие как фундаментальная и прикладная проблема синтеза научных знаний о системе «природа—общество—человек».** Ясно и определенно объясняется, что, несмотря на единство мира, он разорван в сознании на «куски» «вавилонской башней» профессиональных языков, которые затрудняют понимание сути проблем в системе «природа—общество—человек». Подробно рассматривается проблемное поле. Показывается, что суть проблемы синтеза научных знаний в несопоставимости мер, используемых в конкретных науках. Показываются истоки проблемы, и рассматривается научное наследие, начиная с работ Н. Кузанского (XV век).

**4. Философская суть проблемы.** Объясняются две логики философии. Объясняется суть идеи «Атомистики» и идеи Развития. Показываются примеры, объясняющие соотношение понятий «хаос» и «порядок». Рассматривается процесс перехода от «Атомистики» к идее Развития. Показывается связь аксиом математики с диалектической логикой. Объясняется, в чем суть мира математики и мира действительной природы. Водятся понятия: «количество», «качество», «мера».

**5. Суть проблемы в основаниях математики.** Рассматриваются крайне важные вопросы. Почему человечество создало математику? Почему математика устроена аксиоматически? Почему знание математики не гарантирует умения пользоваться ею в конкретном проектировании систем? Какова ключевая идея, которая приблизила нас к современному уровню понимания математики?

**6. Естественнонаучная суть проблемы.** Объясняются ключевые вопросы, порождающие физическую суть проблемы так, как ее понимали выдающиеся представители школы русского космизма. Даются определения эмпирических обобщений В. И. Вернадского. Формулируется принцип устойчивой неравновесности Э. Бауэра как базовый принцип явлений Жизни. Обсуждается вопрос о возможностях вывести явления Жизни из второго закона термодинамики.

**7. Гуманитарная суть проблемы.** В разделе обсуждается вопрос о существовании объективного закона исторического развития человечества. Показываются различные варианты его решения. Рассматривается понятие «становление» как ключ к пониманию рождения нового. Обсуждается понятие «творчество» как акт сотворения будущего. Устойчивое развитие рассматривается как обобщающая идея образования. Дается определение «проектологии устойчивого развития» как логики проектирования изменений в системе «природа—общество—человек».

## «ПРЕДМЕТ»

Так же, как и в первой части предыдущего тематического блока, изложение начинается с ориентации пользователей портала на базовые понятия (раздел «**Стандарты описания**»). В их числе определения понятий: «научная теория», «прикладная научная теория», «структура прикладной теории», «требования к теории», «этапы построения прикладной теории».

**1. Физика.** Дается ясное изложение тех ключевых принципов и понятий, без которых невозможно обсуждать проблему. Излагается пространственно-временная система величин Р. Бартини. Рассматриваются понятия «энергия» и «мощность». Показываются проекции (формы) мощности. Дается определение с пояснением на примерах понятий «свободная энергия» и «связная энергия». Рассматривается соотношение понятий «температура» и «энтропия». Определяются понятия «замкнутая система» и «открытая система». Формулируется закон сохранения мощности. На основе этого понятия рассматриваются понятия: «равновесные и неравновесные системы», «диссипативные и антидиссипативные процессы». Обсуждается

механизм устойчивой неравновесности и механизм неустойчивого равновесия. Дается определение понятия «развитие».

**2. Химия.** Здесь также объясняются ключевые понятия. В их числе: «фотохимические преобразования», «фотоэффект», «плененное излучение», «формы проявления фотонов», «механизм взаимодействия фотонов с молекулой», «эффект нагревания и химическая реакция», «резонанс частоты», «энергия активации».

**3. Биология.** Дается изложение только самых первичных понятий, без которых крайне сложно понять, что есть общего и в чем принципиальное отличие живого вещества от неживого. Внимательно обсуждается понятие «обмен веществ» в живой и неживой природе. Показывается, в чем состоит принципиальное отличие. Объясняется вынужденный характер процесса. Рассматривается альтернатива «порядок — хаос» или «свободная — связанная мощность». Формулируются обобщенные выводы и постулаты: постулаты существования; постулат сохранения; постулаты изменения.

**4. Глобальная эволюция.** Предоставляется возможность увидеть процесс эволюции земных форм жизни с «высоты птичьего полета» (по выражению В. И. Вернадского), увидеть его волновую тенденцию в целом. Рассматривается принципиальное отличие глобального и локального процессов эволюции. Обсуждаются различные механизмы эволюции: рост (естественный отбор), ускорение развития (конкурентная борьба), бифуркация. Обсуждаются отличительные признаки и основные параметры, характеризующие магистраль глобальной эволюции.

**5. Человек.** Предлагаются первичные понятия и принципы на примере вопросов, которые наиболее часто возникают. Зачем природе человек? Каковы границы выживания? Как работает «устройство», обеспечивающее «целесообразное» поведение? Что является первой потребностью? Как возникла речь? В чем суть первого трудового акта — меры. Рассматривается элементарная схема производственного цикла, суть механизма мышления и развития.

**6. Человечество.** В этом разделе в максимально конструктивной и доступной форме рассматриваются формулировки и механизмы действия ряда законов: закона экономии времени, закона роста полезной мощности. Внимательно обсуждаются понятия: «устойчивое развитие», «неустойчивое развитие». Пользователям портала в дискуссионном порядке предлагается на рассмотрение вопрос: «Чем объяснить существование людей, интересы и цели которых находятся в противоречии с потребностями общества в целом?».

**7. Технологии.** Это очень насыщенный разнообразными примерами раздел портала дается возможность образно представить «идеальную машину», которая называется космический корабль «Земля». Пользователь портала узнает о внешних данных корабля, членом которого он является. Он также узнает позывной код своего корабля. Но главное — будет предложен в обобщенной

форме механизм работы корабля. Он увидит, что практически все элементы были предметом рассмотрения в предыдущих разделах портала и поэтому ему будет легче воспринять идеи общего классификатора технологий.

**8. Экология.** Здесь пользователь знакомится с определенным способом видения взаимосвязей и взаимодействий в системе «природа—общество—человек». В разделе предлагаются две модели, представленные как формально, так и в форме потоковых схем. Речь идет о моделях интегральной оценки динамики взаимодействий в системе «природа—общество—человек». Показывается возможность выражения в измеримой форме различных понятий из области экологии, экономики, социологии, техники. Показывается, что существует возможность соизмерить разнохарактерные процессы и установить между ними связи. Показывается, что наиболее общей мерой является величина «мощность» (на экологическом языке это понятие трактуют как «производительность ресурса»).

**9. Экономика.** Рассматриваются первичные понятия: «стоимость» и «производительность». Показываются их связи и меры. Раскрывается «творчество» как фактор устойчивого экономического развития. Обсуждаются понятия: «потенциальная возможность», «реальная возможность», «экономическая возможность». Показываются процедуры их измерения. Показывается взаимосвязь экономических законов и возможность их представления с использованием измеримых величин. Обсуждается понятие «эффективность капиталовложений» и его связь с устойчивым ростом.

**10. Финансы.** В разделе раскрывается связь денежных и энергетических измерителей. Показывается, что устойчивым обеспечением финансовых потоков является величина полезной мощности. Использование устойчивого обеспечения дает возможность построить принципиальный механизм защиты инвестиций от рисков неэффективного управления развитием. Рассматривается понятие «риск» как величина возможных потерь инвестора из-за неэффективного управления. Рейтинг с учетом риска. Штрафные санкции. Поощрение роста эффективности управления развитием. Обсуждаются возможные последствия реализации механизма защиты инвестиций с использованием устойчивого обеспечения активов.

**11. Политика.** Здесь показывается, что устойчивое развитие должно быть политической целью любого общества независимо от форм его политического устройства и форм собственности. Это положение иллюстрируется многочисленными примерами истории. Показываются причины возникновения критических периодов в истории, их связь с войнами. Обсуждается механизм оценки вклада политики в устойчивое развитие. Рассматривается вопрос об ответственности за устойчивое развитие человечества. Обсуждаются вопросы теории права и конфликты. На этой основе предлагается типология целей и спектра интересов.

**«МЕТОД»**



Этот тематический блок портала, прежде всего, знакомит пользователей с новыми базовыми понятиями.

**1. Методологические предпосылки проектирования.** В доступной форме говорится о роли инженера как конструктора и излагаются ключевые вопросы методологии проектирования из первых источников. Рассматриваются первые шаги инженера в его попытке начать конструировать некоторую систему. Показываются препятствия и их причины. Показывается, как понятие «величина» трактовал А. Лебег. Показывается отношение А. Эйнштейна к вероятностным моделям. Дается возможность увидеть в ясной и доступной форме крайне сложные вопросы разработки прикладных теорий проектирования.

**2. Суть логики проектирования.** В этом разделе портала объясняется, что такое проектирование. На многочисленных примерах показывается, что процесс проектирования — это последовательность логических шагов, приводящих к ответу на определенные вопросы. Обсуждаются основные вопросы проектирования устойчивого развития: ЗАЧЕМ — почему, КТО — кто, ГДЕ — когда, КАК — сколько. Особое внимание уделяется вопросам формирования целей с использованием измеримых величин, а также базе научных знаний, анализу развития ситуаций и плану действий по достижению цели.

**3. Инварианты в технических системах.** Объясняются понятия: «общая динамика машин» и «обобщенная машина» так, как это понимали С. Карно и Г. Крон. Эти понятия необходимы для лучшего восприятия идей тензорного метода проектирования сложных систем, основанного на использовании инварианта мощности. В предыдущих разделах пользователи портала получили представление о том, что разнообразные социально-природные системы могут выражаться с использованием величины «мощность». В этом разделе они получают возможность увидеть эту связь на примере разнообразных технических систем. Это очень важно для формирования целостного представления о методе проектирования.

**4. Общие представления о методе проектирования сложных систем.** В этом разделе главным героем будет «тензор». Аудитория портала знакомится с автором этого понятия (в инженерной трактовке) Г. Кроном. Объясняются основные положения, без которых сознательное освоение работ Г. Крона невозможно. Излагается основная идея Г. Крона. Рассматривается суть метода. Обсуждаются формулировки обобщающих постулатов Г. Крона.

**5. Элементы тензорного анализа Г. Крона.** В данном разделе пользователь портала знакомится с первичными понятиями и процедурами тензорного анализа Г. Крона, без которых невозможно делать проекты для систем с переменной структурой в условиях изменения процессов в системе «природа—общество—человек».

Следующий тематический блок портала — «**Электронная библиотека**» — содержит учебные и учебно-методические материалы и публикации по тематике устойчивого развития.

Информация о конференциях и семинарах представлена в разделе **«Научные мероприятия»**.

**«Новостная лента»** портала познакомит его пользователей с интересными и значимыми событиями в жизни научно-образовательной общественности.

Рубрика **«Обратная связь»** дает возможность высказывать свои мнения, пожелания и комментарии по материалам и проблематике портала.

#### **4.6 Администрирование портала**

Центральным оператором, координирующим работу портала «Научная школа устойчивого развития», является университет «Дубна», обеспечивающий поддержку и развитие портала.

Администрация портала выполняет следующие функции:

1. Управление информацией портала;
2. Публикации новостной информации и объявлений;
3. Осуществление общего контроля над информацией, представленной на портале.

Работа по созданию высокотехнологичного инструмента (портала) для получения доступа к информационно-образовательным научным ресурсам по тематике устойчивого развития с возможностью обратной связи для пользователей, предусмотренная техническим заданием на выполнение научно-исследовательской работы по гранту Президента РФ, выполнена в полном объеме. Портал прост и удобен в работе для конечного пользователя. В процессе эксплуатации портал способен развиваться, включать в себя новые функции и расширять информационную структуру.

#### **4.7 Карта портала**

##### **1. Назначение портала**

- Цель создания, задачи портала
- Основные функции портала
- Особенности и отличия портала
- Как устроен портал
- Категории пользователей
- Разработчики портала

##### **2. Устойчивое развитие: что это такое**

- Актуальность проблемы
- Необходимость перехода к устойчивому развитию
- Факторы, препятствующие и способствующие устойчивому развитию
- Определение предмета и метода проектирования устойчивого развития в системе «природа—общество—человек»
- Заключение

##### **3. Научная школа устойчивого развития**

- Историческая справка

- Создание научной школы устойчивого развития
- Персоналии
  - Олег Леонидович Кузнецов
  - Борис Евгеньевич Большаков
  - Члены научного коллектива
- Планы и перспективы развития

#### **4. Научные знания об устойчивом развитии**

- **Мировоззрение**

- Суть научного мировоззрения
- Суть и устройство научного знания
- Устойчивое развитие как проблема синтеза научных знаний
- Философская суть проблемы
- Суть проблемы в основаниях математики
- Естественнонаучная суть проблемы
- Гуманитарная суть проблемы
- Заключение, обобщающие выводы

- **Предмет**

- 1. Естественнонаучные основы теории системы «природа—общество—человек»**

- Стандарты описания
- Физика
- Химия
- Биология
- Глобальная эволюция
- Человек
- Человечество
- Обобщающие выводы и постулаты к разделу «Естественнонаучные основы теории системы «природа—общество—человек»

- 2. Научные основы теории устойчивого развития в системе «природа—общество—человек»**

- Технологии
- Экология
- Экономика
- Финансы
- Политика
- Обобщающее заключение к разделу «Научные основы теории устойчивого развития в системе «природа—общество—человек»

- **Метод**

- Методологические предпосылки проектирования сложных систем
- Суть логики проектирования
- Инварианты в технических системах
- Общие представления о методе проектирования сложных систем
- Элементы тензорного анализа Г. Крона

#### **5. Электронная библиотека**

- Учебные и учебно-методические материалы
- Труды, публикации

#### **6. Научные мероприятия**

- Конференции и семинары

**7. Новостная лента**

**8. Обратная связь**

*Интернет-адрес портала: [http://www.uni-dubna.ru/departments/sustainable\\_development/Portal/](http://www.uni-dubna.ru/departments/sustainable_development/Portal/)*

## Заключение

В отчете представлены результаты выполнения НИР, предусмотренные техническим заданием на выполнение научно-исследовательской работы по гранту Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации НШ-9567.2006.9, по теме «Разработка методологических принципов, критериев и универсальных ЛТ-измерителей тензорной модели информационных технологий и портала «Международная школа устойчивого развития».

Объектом проведенного исследования является методология гармонизации устойчивого развития в системе человек-общество-природа в форме интерактивных информационно-телекоммуникационных систем на основе создания тензорной модели информационных технологий.

Цель работы состояла в разработке:

- методологических принципов для создания тензорной модели информационных технологий
- критериев и универсальных ЛТ-измерителей для создания тензорной модели информационных технологий
- методологических и математических основ тензорных моделей
- основ применения тензорных моделей в экономике, включая технологии анализа банковской системы
- портала «Научная школа устойчивого развития».

Выводы по результатам выполнения НИР:

1. Разработаны методологические принципы для создания тензорной модели информационных технологий на основе создания сетевых моделей процессов и структуры сложных систем с применением объективных, измеримых величин. Впервые представлены методологические принципы применения пространства потоков с использованием принципов двойственности для моделирования открытых и замкнутых систем.

Разработаны тензорные принципы преобразования измеримых величин, характеризующих процессы в сложных системах при изменении структуры связей составляющих эти системы элементов и подсистем.

2. Предложена совокупность критериев применения нового научно-методического подхода на основе применения измеримых величин и тензорного метода. Особенностью методологии является требование: базовые принципы и понятия, такие как идеалы–цели–возможности–потребности–ценности–ресурсы и др., должны быть соизмеримы как между собой, так и с общими универсальными законами Природы.

Все понятия выражаются в терминах измеримых пространственно-временных величин. Наиболее общей из них является понятие мощность – работоспособность в единицу времени или возможность действовать во времени. С точки зрения изменения темпов полезной мощности предложена измеримая мера оценки динамики развития социальных и экономических систем, устойчивого или неустойчивого развития, и т.д.

3. Разработана общая схема источников информации для обеспечения механизмов формирования измеримых тензорных показателей сетевых моделей в системе человек-общество-природа. Определены математические основы преобразования универсальных измерителей в системах (сетевых моделях) с переменной структурой, что является необходимым условием проведения структурных реформ.

4. Разработаны методологические и математические основы метода двойственных сетей; алгоритмы расчета изменения величин, характеризующих процессы при изменении структуры тензорных моделей.

5. В результате исследования разработан научно-методологический подход к созданию информационной технологии расчета структурных изменений для управления устойчивым развитием. Представлена реализация принципов и критериев на примере информационной технологии анализа банковской системы.

6. Разработан Интернет-портал «Научная школа устойчивого развития», как первая часть портала «Международная школа устойчивого развития».

Принципиальная особенность разработанного подхода – определение базовых характеристик впервые дается на основе универсальных величин с использованием тензорной методологии, что может существенно повысить надежность и точность управления устойчивым развитием Российской Федерации.

В качестве основы научно-методического подхода к решению поставленной задачи применяется тензорный метод двойственных сетей, который обеспечивает соединение процессов и структуры для анализа сложной системы с целью управления ее безопасностью и развитием.

Отличие данного подхода состоит в том, что известный метод математического моделирования, основанный на применении пространства состояний, дополняется новым методом, который основан на пространстве потоков.

Предложенный для решения поставленной задачи тензорный метод двойственных сетей не имеет аналогов, поскольку основан на новом, ранее неизвестном инварианте преобразования структуры сетей и сетевых моделей сложных систем, включая экономические и социальные системы.

Поставленные в рамках данного этапа НИР задачи выполнены в полном объеме. Совокупность полученных результатов показывает, что в целом разработана совокупность

методологических принципов, критериев и универсальных измерителей для создания тензорной модели информационных технологий. Разработанный подход представляет собой целостный научный метод, основанный на измеримых объективных показателях, системность которых позволяет говорить о полноте охвата вопросов, составляющих цель данного исследования.

Научно-технический уровень выполненной НИР не имеет аналогов среди существующих разработок по определению методологических принципов, критериев для создания тензорной модели информационных технологий, которая является основой для разработки методологии гармонизации устойчивого развития в системе человек-общество-природа. Это обеспечивается применением новых методик и научных разработок, в значительной степени выполненных видными отечественными учеными, а также авторами отчета.

Полученные результаты позволяют сформулировать цели и задачи дальнейших исследований и разработок. В частности, представляется необходимым создать информационно-аналитическую систему практического применения для мониторинга, анализа и прогнозирования состояния и динамики движения страны, оценки уровня соответствия сформулированным ценностям и идеалам на каждом этапе. Такая система должна быть основана на мониторинге, расчете и анализе состояния системы производства ВВП и системы распределения ВВП. Детализация системы производства, финансового сектора и товарного сектора, с использованием соответствующих баз данных осуществляется на уровне субъектов РФ по агрегированным показателям.

Полученные результаты показывают, что необходимо разработать, реализовать и применять информационно-аналитическую систему мониторинга, контроля, управления и прогнозирования состояния системы человек-общество-природа на основе разработанных методологических принципов и критериев с целью определения динамики результатов управления устойчивым развитием страны.

## Список использованных источников

1. Абдеев Р.Ф. Философия информационной цивилизации. — М.: Владос, 1994.
2. Алексеев Г.Н. Преобразование энергии. — М., 1966.
3. Андронов А.Л., Понтрягин А.С. Грубые системы. — М., 1936.
4. Арменский А.Е., Гусев В. С., Петров А.Е. Информационная и экономическая безопасность государства — М., 2004.
5. Арбатов А.А., Большаков Б.Е. Мир и ноосфера: проблемы и перспективы развития. — М., 1986.
6. Бартини Р., Кузнецов П.Г. Множественность геометрий и множественность физик. — Брянск, 1974.
7. Бартини Р.О. Некоторые соотношения между физическими константами — М., Доклады АН СССР, т.163, №4, 1965.
8. Бартини Р.О. Соотношение между физическими величинами. // Проблемы теории гравитации и элементарных частиц. М.: Атомиздат. 1966. Вып. 1.
9. Батюшков Н.Д. Связь экономических явлений с законами энергии. — СПб, 1989.
10. Бобылев С. Н. Россия на пути антиустойчивого развития? — М., 1995.
11. Богатуров А. Д. Великие державы на Тихом океане. - М.: ИСКР АН, 1997;
12. Богданов А.А. Основные элементы исторического взгляда на природу. — СПб, 1899.
13. Бауэр Э. Теоретическая биология — М., 1935.
14. Большаков Б.Е., Вдовиченко Л.Н. Моделирование международных отношений в терминах физически измеряемых величин. — М., 1979.
15. Большаков Б.Е. Законы сохранения и изменения в биосфере—ноосфере. — М., 1990.
16. Большаков Б.Е., Кузнецов О.Л. «П.Г.Кузнецов и проблемы устойчивого развития Человечества в системе природа–общество–человек» — Дубна, 2004.
17. Большаков Б.Е. Теория устойчивого развития и её применения — Дубна, 2005.
18. Большаков Б.Е., Полинцев Д.А. Методология моделирования устойчивого развития страны — М., 2005.
19. Большаков Б.Е. Закон природы или как работает Пространство–Время — М., 2002.
20. Винер Н. Кибернетика и общество. — М., 1958.
21. Гареев Ф.А. Универсальный принцип резонансной синхронизации — М., 1999.
22. Галушкин Ю.А. Свободная энергия — М., 1995.
23. Вальтух К.К., Павлов В.Н. О методе разложения темпов экономического роста с помощью производственных функций. — Новосибирск, 1981.
24. Вартазарова Л.С., Макаров А.А. Взаимосвязи перспективного развития энергетики и экономики. — М., 1990.
25. Вейль Г. Теория групп и квантовая механика. — М.: Наука, 1986. — 496 с.
26. Вернадский В.И. Биосфера. — М., 1960.
27. Вернадский В.И. Живое вещество. М., 1973.
28. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Научная мысль как планетное явление. — М., 1977.
29. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. — М., 1988.
30. Глобальные тенденции развития Человечества до 2015 г. Материалы Национального разведывательного Совета США /пер. с англ. М. Леоновича, под редакцией К. Жвакина/ — Екатеринбург, У-Фактория, 2002.
31. Гриняев С.Н. Интеллектуальное противодействие информационному оружию.
32. Гэлбрейт Дж. Новое индустриальное общество. — М: Прогресс, 1976.
33. Данилевский Н.Я. Россия и Европа. — М., 1997.
34. Данилов-Данилян В.И., Горшков В.Г., Арский Ю.М., Лосев К.С. Окружающая среда между прошлым и будущим: мир и Россия (опыт эколога-экономического анализа). — М., 1994.
35. Денисон Э. Исследование различий в темпах экономического роста. — М., 1971.



36. Деннис Дж. Б. Математическое программирование и электрические цепи. - М.: ИЛ, 1961. — 216 с.
37. Дугин А.Г. Основы геополитики. — М: Арктогея, 1997.
38. Ильенков Э. В. Идеальное // Философская энциклопедия. М., 1962. Т. 2.
39. Ивантер В.В. Проблемы разработки стратегии экономической безопасности Российской Федерации. Сообщение на круглом столе Совбеза РФ, апрель 2005 г.
40. Йохансен ... Очерки макроэкономического планирования. — М., 1982.
41. Кант И. Пролегомены ко всякой будущей метафизике, могущей появиться как наука. 1783. — Сочинения, т.4, ч. 1, М.: Мысль, 1965.
42. Капица С.П. Модель роста населения Земля. — М., 1999.
43. Карминский А.М., Пересецкий А.А., Петров А.Е. Рейтинги в экономике. Методология и практика. М.: Финансы и статистика, 2005. — 240 с.
44. Качаловский К.Г. Экономический кризис. Где искать выход. — М., 1990.
45. Кваша Я.Б. Резервные мощности. — М., 1971.
46. Кинг А., Шнайдер Б. Первая глобальная революция. — М.: Прогресс, 1991.
47. Кинг А., Шнайдер Б. Первая глобальная революция. Доклад Римского клуба. — М., 1991.
48. Клеер Е. Всемирное хозяйство. Закономерности развития. — М., 1979.
49. Коптюг В.П. Конференция ООН по окружающей среде и развитию. — Новосибирск, 1992.
50. Коровин И.А., Пашков Е.В. Системы экологического управления на основе стандартов ИСО 14000 как фактор устойчивого развития // Стандарты и качество, 1997.
51. Коссов В.В. Межотраслевой баланс. — М.: Экономика, 1966. — 224 с.
52. Костюк В.Н. Информация как социальный и экономический ресурс. — М.: Магистр. 1996.
53. Котляков В.М., Лосев К.С., Сулова Н.А. Вложение энергии в территорию как экологический индикатор. — Сергиев Посад, 1995.
54. Кочетов Э.Г. Глобалистика. - М.: Инфра-М, 2002.
55. Крон Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика). — Наука, 1972. — 544 с.
56. Крон Г. Тензорный анализ сетей. — Пер. с англ. /Под ред. Л.Т.Кузина, П.Г. Кузнецова. М.: Сов. Радио, 1978. — 720 с.
57. Кудрявцев В.Н., Лукашев Е.А. Индивидуализм или коллективизм? //Свободная мысль, 1996, № 2, с. 62-63.
58. Кузина И.В., Петров А.Е. О тензорных методах построения языка базы данных. - В кн.: Банки данных для принятия решений. — М.: Знание, 1976, с. 59 — 67.
59. Кузнецов О.Л. Интеллигенция и будущее России. — СПб., 1999.
60. Кузнецов О.Л. Информационное моделирование геоэкологических проблем. — Дубна, 1995.
61. Кузнецов О.Л. Литосфера и человечество: сегодня и завтра. — М., 1991.
62. Кузнецов О.Л. Мир глазами геофизика. — М., 1999.
63. Кузнецов О.Л. Нелинейная геофизика. — М., 1994.
64. Кузнецов О.Л. Россия — стратегия развития в XXI веке (в 2-х тт.). — М., 1997.
65. Кузнецов О.Л. Россия — стратегия развития в XXI веке во имя сегодняшних и будущих поколений (попытка системного анализа). — М., 1991.
66. Кузнецов О.Л., Берри Б.Л., Баренбаум Л. Природные циклы и экологическое прогнозирование. — М., 1992.
67. Кузнецов О.Л., Ванюшин В.А. Россия на пути к демократическому открытому обществу. — М., 1999.
68. Кузнецов О.Л., Карус Е.В. Прогноз землетрясений. — М., 1980.
69. Кузнецов О.Л., Кузнецов П.Г., Большаков Б.Е. Система «природа—общество—человек»: устойчивое развитие. — М.-Дубна, 2000.
70. Кузнецов П.Г. Искусственный интеллект и разум человеческой популяции // Александров Е.А. Основы теории эвристических решений. — М., 1975.
71. Кузнецов П.Г. К вопросу о создании теоретической биологии. — М., 1967.
72. Кузнецов П.Г. Необратимость исторического процесса природы и общества в трудах В.И. Вернадского и в современной науке. — М., 1987.
73. Кузнецов П.Г. Универсальный язык для формального описания физических законов. — М., 1973.

74. Кулаков А.В. Система геополитических факторов и ее влияние на пограничную политику Российской Федерации: Дисс. ... докт. филос. наук. — М.: Академия ФПС России, 2000.
75. Кулакова М.А. Биоадекватный метод развития личности. Доклад на 12 Международной конференции «Математика, компьютер, образование» Пущино 2005.
76. Кулакова М.А. Формирование элитарной личности. Доклад на 6 Международной междисциплинарной научно-практической конференции «Современные проблемы науки и образования». г. Алушта, 2005.
77. Кулакова М.А. Развитие творческих способностей. Учебно-методическое пособие. Международный университет природы, общества и человека «Дубна» 2005.
78. Ларуш Л. Стратегия Вернадского — М., 2001.
79. Левантовский В.И. Механика космического полета в элементарном изложении. 3-е изд., М.: Наука, 1980. 512 с.
80. Леонтьев В. Будущее мировой экономики. — М., 1982.
81. Леонтьев В., Ченнери Х.В., и др. Исследование структуры американской экономики. Пер. с англ. М.: Госстатиздат, 1958. — 640 с.
82. Максвелл Дж. К. О Фарадеевых силовых линиях. //Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. Пер. с англ./Под ред. П.С. Кудрявцева. — М.: ГИТТЛ, 1954.
83. Математическая энциклопедия: Гл. ред. И.М. Виноградов, т. 3 — М.: Советская энциклопедия, 1982. — 1184 стб.
84. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандес И. За пределами роста. — М., 1994.
85. Межрегиональные межотраслевые модели мировой экономики. — Новосибирск, 1983.
86. Мелентьев Л.А., Вартазарова Л.С., Аврех Г.Л. Энергетический фактор в развитии общества // Энергетика: взгляд в будущее. — М., 1988.
87. Менделеев Д.И. Приемы естествознания в изучении цен. — М., 1952.
88. Мировая окружающая среда: 1972—1982. — М., 1984.
89. Моисеев М.Н., Александров В.В., Тарко А.М. Человек и биосфера. — М., 1985.
90. Московский проект программы ООН «Устойчивое развитие городов»: материалы научной конференции. — М., 1999.
91. Никаноров С. П. Поиск Георгиевич Кузнецов: идеи и жизнь. — М.; Дубна, 2000.
92. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. — М., 1979.
93. Новая парадигма развития России (Комплексные исследования проблем устойчивого развития). — М., 1999.
94. Ожегов С.И. Шведова Н.Ю. Толковый словарь русского языка.
95. ООН Экономический и Социальный Совет. Статистическая комиссия. 18 сессия. Док. E/C3/452. 14 июня 1974 г. Статистика окружающей среды. — М., 1978.
96. Панарин А. С. Глобальное прогнозирование. — М.: Алгоритм, 2000.
97. Панарин А.С. Реванш истории: российская стратегическая инициатива в XXI веке. — М: Логос, 1998.
98. Парфенов В.Ф. Устойчивое развитие — основа будущего России. — М., 1996.
99. Паттен Б.В. Концепция информации и биологические системы. — М., 1966.
100. Петров А.Е. Тензорная методология в теории систем — М., Радио и связь, 1985 — 152 с.
101. Петров А.Е. (главный редактор). Банки и финансы. - Информационно-аналитический бюллетень, №№ 1-63. — М.: Издательство «Мобиле», 1995 — 2006. — 400 с.
102. Петров А.Е. Тензорный метод двойственных сетей: Дисс. ... докт. технич. наук. — М.: МИФИ, 1998.
103. Петров А.Е. Инварианты двойственных сетей. Сборник научных трудов «Научная сессия МИФИ-2000», т. 3, М.: МИФИ, 2000. — с. 200-201.
104. Петров А.Е. Применение двойственных сетей для параллельных вычислений. Сборник научных трудов «Научная сессия МИФИ-2000», т. 3, М.: МИФИ, 2000. — с. 202-203.
105. Петров А.Е. Алгоритм расчета тензорных сетей. В книге: Кузнецов О.Л., Большаков Б.Е. Устойчивое развитие: научные основы проектирования в системе природа-общество-человек: Учебник. — Издательство «Гуманистика», Санкт-Петербург – Москва – Дубна, 2002. 616 с. Илл., – с. 502-516.

106. Петров К. М. Устойчивое развитие: миф или реальность? — СПб, 1995.
107. Подолинский С.А. Труд человека и его отношение к распределению энергии на нашей планете — СПб, 1880.
108. Пирогов АИ. Информатизация как тенденция развития современного общества. — М.: ВУ, 1995.
109. Поплавский Р.П. Термодинамика информационных процессов. — М., 1981 (и др.).
110. Почепцов Г.Г. Информационные войны. — М.: Рефл-бук. 2000.
111. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. — М: Прогресс, 1986.
112. Пригожин И. Неравновесная статистическая термодинамика. — М., 1964.
113. Пригожин И. От существующего к возникающему. — М., 1985.
114. Пригожин И. Порядок из хаоса. — М., 1986.
115. Прокофьев В. Ф. Тайное оружие информационной войны. М., 1999.
116. Прохожев А.А. Национальная безопасность: основы теории, сущность, проблемы. — М.: РАГС, 1998.
117. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. - Изд. 9-Е. - М.: Наука, 1981. — 448 с.
118. Сливко В.М. Энергетические аспекты развития древних цивилизаций. — М., 1999.
119. Тоненкова М. М. Социология духовной жизни будущей России: Новый социологический вектор. Монография. М., 2001.
120. Тоффлер Э., Тоффлер Х. Создание новой цивилизации. Политика третьей волны. — Новосибирск, 1996.
121. Трешневиков А. Информационная война. — МЛ: Рыбинское подворье, 1999.
122. Урсул А.Д. Переход России к устойчивому развитию. — М., 1998.
123. Федотов Г.П. Судьбы и грехи России.
124. Физический энциклопедический словарь: Гл. редактор А.М.Прохоров. - М.: Советская энциклопедия, 1984. — 944 с.
125. Шахназаров Г.Х. Грядущий миропорядок. — М.: Политиздат, 1981.
126. Яблоков А.В. Устойчивое развитие — теоретический и практический подходы. — М., 1995.
127. Яковец Ю.В. История цивилизаций. — М.: Владос, 1997.
128. Янтовский Е.И. Потоки энергии и эксергии. — М., 1988.
129. Bauman Z. The industrialized society. — Cambridge: Polity Press, 2000; Bell D. Die nachindustrielle Gesellschaft. — N.Y.: Campus press, 1985.
130. Bell D. Electronic information systems analysis // Journal of information science. 1985. — Vol. 12. - No. 3.
131. Bell D. The coming of post-industrial society. A venture in social forecasting. - N.Y., 1973; Бек У. Что такое глобализация? — М.: Прогресс-Традиция, 2001.
132. Boulding K.E. The meaning of the twentieth century: the great transition. — N.Y., 1975.
133. Brown L.R. Building a sustainable society. — N.Y., 1981. P.85.
134. Brzezinski Z. Between two ages. America's role in the technotronic era. — N.Y., 1978.
135. Firestone F.A. A new analogy between mechanical and electrical systems. — J. Acoustic Soc., 1933, v. 25, № 2, p. 39-47.
136. Gabriel Kron and System Theory. /Ed. by H.H. Happ, N. - Y., Schenectady: Union College Press, 1973. — 186 p.
137. Happ H.H. Piecewise Methods and Applications to Power Systems. — N.-Y., Wiley, 1980. — 405 p.
138. Kahn H., Brown W., Martel L. The next 2000 years: A scenario for America and world. — N.-Y., 1976.
139. Kron G. Generalized theory of electrical machinery. - AIEE Trans., 1930, v. 49, Apr., p. 666 - 683.

140. Kron G. Non-Riemannian dynamics of rotating electrical machinery. //J. Math. Phys., 1934, v.13, № 2, p. 103 - 194.
141. Kron G. Equivalent circuit of the field equations of Maxwell. // proc. IRE, 1944, v. 32, № 5, p. 289 - 299. - 1.
142. Kron G. Equivalent circuit of the elastic field. //ASME Trans., J. Appl. Mech., 1944, v. 11, № 3. – 2
143. Kron G. Equivalent circuits of compressible and incompressible fluid flow fields. //J. of the Aeronautical Sciences, v. 12, № 2, 1945. – 1
144. Kron G. Numerical solution of ordinary and partial differential equations by means of equivalent circuits. J. of Applied Physics, v. 16, № 3, 1945. - pp. 172 - 186. – 2
145. Kron G. Electrical circuit models of the Schrodinger equation. // Phys. Rev., 1945, v. 67, ser. 2, № 1, 2. - pp. 39 - 43. – 3
146. Kron G. Electrical circuit models of the nuclear reactor. // AIEE Trans. Communications and Electronics, 1954, v. 73, p. 259 - 265.
147. Kron G. Multi-dimensional space filters. //Matrix and Tensor Quart., 1958, v. 9, № 2, p. 40 - 43.
148. Kron G. Basic concepts of multi-dimensional space filters. AIEE Trans. 1, 78, 1959. - 554 - 561.
149. Kron G. Self-organizing, dynamo-type automata. //Matrix and Tensor Quarterly, 1960, v. 11, № 2, p. 42 — 52.
150. Kron G. Multi-dimensional curve-fitting with self-organizing automata. //J. Math. Analysis and Appl., 1962, v. 5, № 1, p. 46 - 69.
151. Kron G. Invisible dual (n-1) networks induced by electric 1-networks//IEEE Trans., v. CT-12, № 4, (December 1965).
152. Lippmann, W. Public opinion. New York: Harcourt, Brace. 1984.
153. Lockerbie, B., & Borrelli, S. A. Question wording and public support for Contra aid, 1983-1986. Public Opinion Quarterly, 1990, 54, p. 195-208.
154. Physical Structure in Systems Theory/Ed. by J. J. Van Dixhoorn and F. J. Evans. - London, N. Y.: Academic Press, 1974. — 306 p.
155. Ricci G. Atti della R. Acc. die Lincei Rendiconti, v. 5, Pt. 1, 1889.
156. Ricci G., Levi-Civita T., «Math. Ann.», 1901, Bd 54, s. 125-201.
157. Roth J.P. An application of algebraic topology: Kron's method of tearing. - Quart. Appl. Math., 1959, v. 17 № 1 pp. 1 - 24.
158. Siano D.B. Orientational Analysis – a Supplement to Dimensional Analysis – I. Journal of The Franklin Institute. V. 320, N. 6. pp. 267 – 284.
159. Pfeffer, J. Power in organizations, Cambridge, MA: Ballinger. 1981.
160. Quoted in Dilenschneider, R. L. Power and influence. New York: Prentice Hall., 1990.
161. Weyl H. Repartition de corrente et uno red conductora. - Revista matematica, Hispano - Americana, 1923, № 5, p. 153 - 164.
162. Zajonc, R. B. (1968). The attitudinal effects of mere exposure. Journal of Personality and Social Psychology (monograph supplement), 9, 1968, p.1-27.

## Приложение 1

### Примеры расчета баланса продуктов по частям

В качестве примера исходных данных для задачи межотраслевого баланса, в таблице по данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат) представлен номинальный объем произведенного ВВП по видам экономической деятельности (ОКВЭД), по кварталам 2003-2005 гг. в текущих ценах. Порядок публикации определен в соответствии со Специальным стандартом распространения данных МВФ (ССРД МВФ).

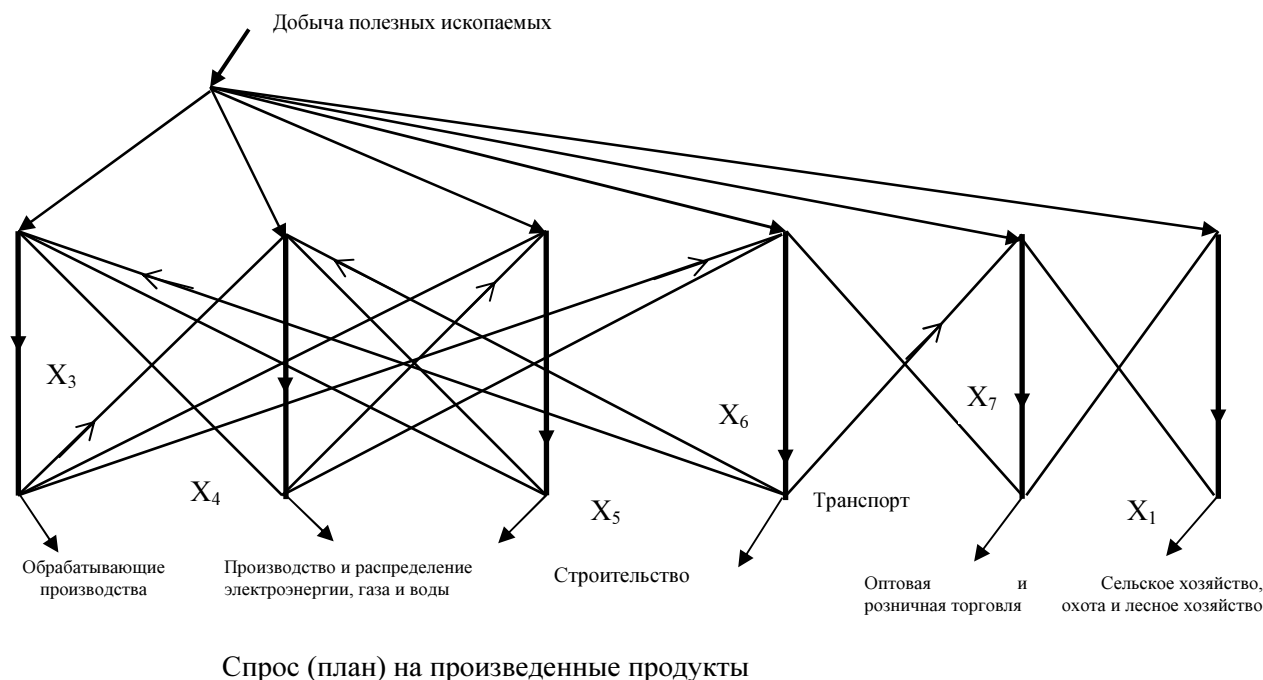
#### Номинальный объем произведенного ВВП по кварталам - в структуре видов экономической деятельности по ОКВЭД в текущих ценах, млрд. рублей

		2003				2004				2005		
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
		квартал	квартал	квартал	квартал	квартал	квартал	квартал	квартал	квартал	квартал	квартал
<b>Раздел А</b>	Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	82,2	113,1	360,9	173,9	90,8	128,0	466,6	174,4	113,9	153,1	517,0
<b>Раздел В</b>	Рыболовство, рыбоводство	12,9	15,0	16,2	16,9	14,6	16,9	18,1	19,7	21,7	20,3	21,7
<b>Раздел С</b>	Добыча полезных ископаемых	177,3	176,6	218,6	212,5	228,5	256,5	332,4	327,1	306,2	395,8	466,0
<b>Раздел D</b>	Обрабатывающие производства	415,2	481,3	523,8	556,0	558,9	669,4	703,3	763,2	692,4	805,3	849,7
<b>Раздел Е</b>	Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	126,8	93,1	83,3	124,8	154,7	115,4	102,2	153,8	194,9	142,9	130,0
<b>Раздел F</b>	Строительство	118,8	164,9	216,6	215,9	148,0	205,8	272,1	271,5	185,1	263,6	360,4
<b>Раздел G</b>	Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, ...	594,9	604,7	655,5	734,4	710,0	742,4	812,3	931,1	876,0	949,5	1 047,6
<b>Раздел H</b>	Гостиницы и рестораны	19,1	23,7	26,0	26,3	23,4	28,8	31,3	32,0	30,2	34,3	39,2
<b>Раздел I</b>	Транспорт и связь	273,1	311,8	338,5	338,2	310,0	369,6	405,6	400,3	381,1	452,2	504,9
<b>Раздел J</b>	Финансовая деятельность	90,4	93,9	98,7	114,6	111,9	133,9	143,0	161,3	160,7	177,3	193,8
...	...											
<b>Раздел N</b>	Здравоохранение и предоставление социальных услуг	86,8	93,0	99,0	97,9	103,2	110,0	116,5	117,2	125,7	147,8	172,4
<b>Раздел O</b>	Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	49,2	53,6	54,9	62,3	60,4	66,5	67,8	74,1	80,2	89,1	93,0
	Косвенно измеряемые услуги финансового посредничества	-48,0	-47,8	-50,7	-65,0	-58,0	-72,7	-79,5	-93,1	-87,7	-100,7	-111,4
	Итого добавленная стоимость по видам экономической деятельности (в основных ценах)	2 494,9	2 707,5	3 214,1	3 238,3	3 047,5	3 404,1	4 070,3	4 094,0	3 807,3	4 358,0	5 186,7
	Чистые налоги на продукты	355,8	400,3	415,7	416,7	438,0	508,4	573,1	616,0	557,7	672,1	803,7
	Валовой внутренний продукт (в рыночных ценах)	2 850,7	3 107,8	3 629,8	3 655,0	3 485,5	3 912,6	4 643,4	4 710,0	4 364,9	5 030,1	5 990,4

*Актуализировано 14.12.2005 г.*

Выберем из данной таблицы 6 отраслей и зададим для примера возможные связи между ними. Отметим, что при столь незначительном уровне детализации, практически все отрасли связаны между собой. В задачах, где рассматриваются десятки и сотни, а тем более, тысячи отраслей (предприятий),

экономическая матрица весьма слабо заполнена ненулевыми элементами, т.е. немногие отрасли связаны между собой. В качестве источника ресурсов будем рассматривать добычу полезных ископаемых. Эти отрасли и связи между ними представлены на рисунке А.1.



**Рисунок А.1. Структура сети потоков продуктов в отраслях**

Примерные значения воздействий, т.е. конечного продукта (спроса) на продукцию этих отраслей зададим из таблицы ВВП в соответствии со вторым кварталом 2005 года.

(A.28)  $y_{\alpha} =$ 

3	4	5	6	7	1
700	130	250	800	400	150

Матрицу коэффициентов прямых затрат (экономическая матрица) для данного примера  $(I - A)$  зададим для примера (модели) следующими значениями:

(A.29)  $(I - A) =$ 

	3	4	5	6	7	1
3	1	-0,2	-0,1	-0,1	0	0
4	-0,1	1	-0,2	-0,2	0	0
5	-0,1	-0,1	1	0	0	0
6	-0,1	-0,1	0	1	-0,1	0
7	0	0	0	-0,2	1	-0,1
1	0	0	0	0	-0,2	1

Единицы на главной диагонали данной матрицы означают, что собственное потребление отраслей отсутствует. Для прямого расчета этой задачи, т.е. для получения значений выпусков отраслей, которые обеспечивают спрос, поставки, а также значений потребляемых ресурсов, необходимо решить уравнение (А.1). Для этого надо обратить матрицу в уравнении (5.5). Матрица коэффициентов полных затрат (обратная матрица коэффициентов прямых затрат) для данного примера  $(I - A)^{-1}$  имеет вид:

$$(A.30) \quad (I - A)^{-1} =$$

3	1,055333	0,242181	0,15397	0,157177	0,016038	0,001604
4	0,154428	1,077558	0,230954	0,235766	0,024058	0,002406
5	0,120976	0,131974	1,038492	0,039294	0,00401	0,000401
6	0,123496	0,134723	0,039294	1,060946	0,10826	0,010826
7	0,025203	0,027495	0,008019	0,21652	1,042502	0,10425
1	0,005041	0,005499	0,001604	0,043304	0,2085	1,02085

Отсюда, по уравнению (5.5), получим значения валовых выпусков отраслей, что и составляет основную часть решения данной задачи для полной сети.

$$(A.31) \quad X_{\beta} = (I - a_{\alpha\beta})^{-1} y_{\alpha} =$$

1,055333	0,242181	0,15397	0,157177	0,016038	0,001604
0,154428	1,077558	0,230954	0,235766	0,024058	0,002406
0,120976	0,131974	1,038492	0,039294	0,00401	0,000401
0,123496	0,134723	0,039294	1,060946	0,10826	0,010826
0,025203	0,027495	0,008019	0,21652	1,042502	0,10425
0,005041	0,005499	0,001604	0,043304	0,2085	1,02085

3	700
4	130
5	250
6	800
7	400
1	150

$$=$$

3	941,1067
4	504,5171
5	394,5624
6	1007,47
7	629,0755
1	275,8151

Далее следует получить значения потоков поставок по (5.2), потоков ресурсов по (5.3). Эти потоки откликов можно подставить на схему соединения отраслей. Затем следует убедиться, что в узлах на входе и выходе отраслей выполняется баланс потоков. Это означает, что сумма входящих и выходящих потоков, включая спрос (конечный продукт) в каждом узле равна нулю, как в законе Кирхгофа для электрических токов, что и подтверждает правильность решения задачи.

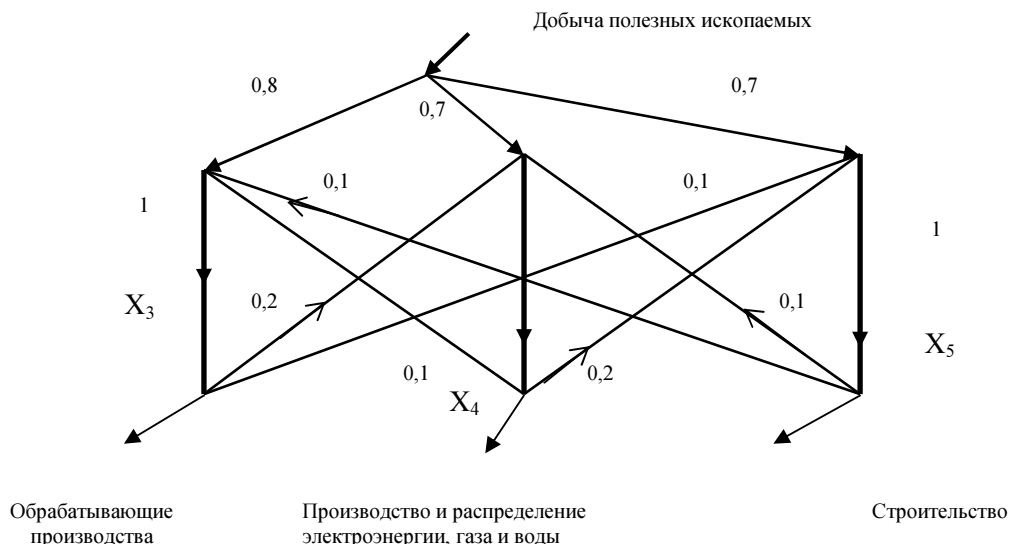
В данном случае возможны другие формы постановки задачи. Например, заданы предельные значения возможных поставок ресурсов. Надо определить оптимальный по стоимости, или по заданным значениям набор потоков финишных продуктов. Или, заданы предельные возможности производственных мощностей. Необходимо найти максимальный объем производства при неограниченных ресурсах.

Рассчитаем данную сеть по частям, используя второй вариант алгоритма. Матрицу  $(I - A)$  полной системы разделяем на блоки-подсети так, чтобы матрицы не только подсетей, но и сети пересечений были примерно одного размера. Для этого разделим сеть на две подсети по три отрасли в каждой, а также получим связывающую их сеть соединения (пересечений). Разделение модели на подсети приводит к выделению блоков вдоль главной диагонали (которые обозначим 1, 2, ..., s), а все элементы, не попавшие в эти блоки, составляют основу отдельной матрицы, которая соответствует сети пересечений. Для разделения на подсети проведем «разрез» между отраслями 5 и 6. Этому соответствует выделение в матрице полной системы двух блоков вдоль главной диагонали, которые выделены двойными линиями. Эти блоки в матрице, которую обозначим  $(I - A)_s$  выделены двойными линиями:

$$(I - A)_s =$$

	3	4	5	6	7	1
3	1	-0,2	-0,1			
4	-0,1	1	-0,2			
5	-0,1	-0,1	1			
6				1	-0,1	0
7				-0,2	1	-0,1
1				0	-0,2	1

Первая подсистема состоит из трех отраслей – 3 (обрабатывающие производства), 4 (производство и распределение электроэнергии, газа и воды) и 5 (строительство), связанных между собой соответствующими поставками. Она представлена на рисунке А.2. Показаны коэффициенты прямых затрат поставок из матрицы (А.32), а коэффициенты для ресурсов получены из соотношения (5.8) для входа отраслей.



**Рисунок А.2. Подсистема 1 из трех отраслей 3, 4, 5**

Матрицу коэффициентов прямых затрат для подсистемы (подсети) 1 обозначим  $(I - A)_1$ . Она получается как диагональная подматрица верхней части матрицы полной сети:

$$(A.32) \quad (I - A)_1 = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} & 3 & 4 & 5 \\ \begin{array}{c} 3 \\ 4 \\ 5 \end{array} & \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & -0,2 & -0,1 \\ \hline -0,1 & 1 & -0,2 \\ \hline -0,1 & -0,1 & 1 \\ \hline \end{array} & \end{array} \end{array}$$

Решение подсистемы можно получить по тем же формулам, что и решение полной сети. Для этого надо обратить соответствующую матрицу в уравнении (5.5). Матрица коэффициентов полных затрат подсети 1  $(I - A)_1^{-1}$  имеет вид:

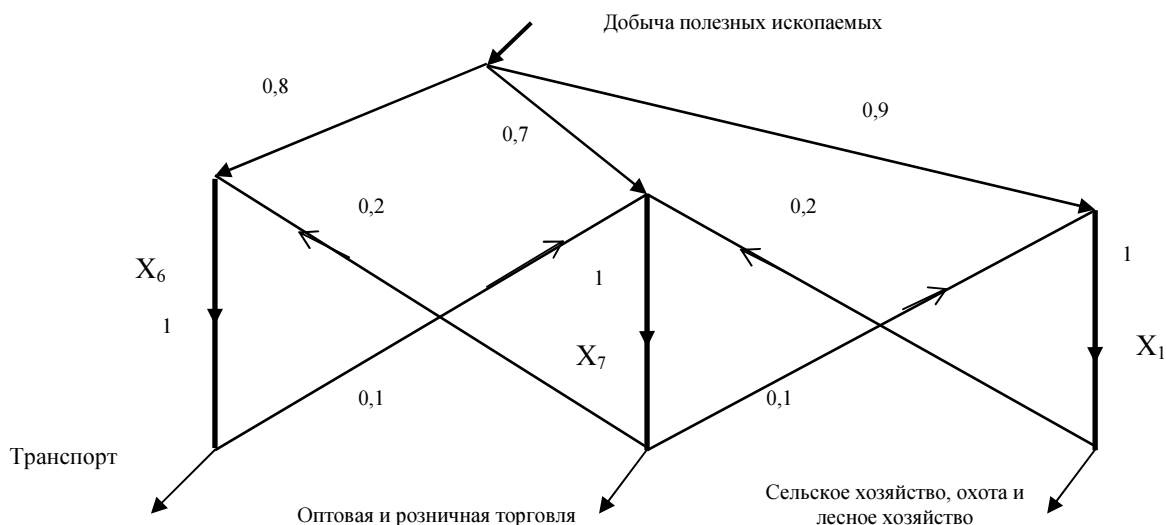
$$(A.33) \quad (I - A)_1^{-1} = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} & 3 & 4 & 5 \\ \begin{array}{c} 3 \\ 4 \\ 5 \end{array} & \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1,037037 & 0,222222 & 0,148148 \\ \hline 0,126984 & 1,047619 & 0,222222 \\ \hline 0,116402 & 0,126984 & 1,037037 \\ \hline \end{array} & \end{array} \end{array}$$

Отсюда, по уравнению (5.5), получим значения валовых выпусков отраслей, что и составляет решение задачи для подсети 1.

$$(A.34) \quad X^I_{\beta} = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} & 3 & 4 & 5 \\ \begin{array}{c} 3 \\ 4 \\ 5 \end{array} & \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1,037037 & 0,222222 & 0,148148 \\ \hline 0,126984 & 1,047619 & 0,222222 \\ \hline 0,116402 & 0,126984 & 1,037037 \\ \hline \end{array} & \begin{array}{|c|} \hline 700 \\ \hline 130 \\ \hline 250 \\ \hline \end{array} & = & \begin{array}{c} \begin{array}{|c|} \hline 791,8519 \\ \hline 280,6349 \\ \hline 357,2487 \\ \hline \end{array} \end{array} \end{array}$$



Вторая подсистема состоит из других трех отраслей 6 (транспорт), 7 (оптовая и розничная торговля) и 1 (сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство), связанных между собой соответствующими поставками, представлена на рисунке А.3.



**Рисунок А.3. Подсистема 2 из трех отраслей 6, 7, 1**

Матрицу коэффициентов прямых затрат для подсистемы (подсети) 2 обозначим  $(I - A)_2$ . Далее не будем указывать скользящие индексы, которые перечисляют ветви (отрасли), чтобы не загромождать формулы. Она получается как диагональная подматрица нижней части матрицы полной сети:

$$(I - A)_2 = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} & 6 & 7 & 1 \\ 6 & 1 & -0,1 & 0 \\ 7 & -0,2 & 1 & -0,1 \\ 1 & 0 & -0,2 & 1 \end{array} \end{array}$$

Подсистему рассчитываем получить по тем же формулам, что полную сеть. Для этого надо обратить соответствующую матрицу в уравнении (5.5), в данном случае, для подсети 2. Матрица коэффициентов полных затрат подсети 2, которая обозначена  $(I - A)_2^{-1}$ , будет иметь вид:

$$(A.35) \quad (I - A)_2^{-1} = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} & 6 & 7 & 1 \\ 6 & 1,020833 & 0,104167 & 0,010417 \\ 7 & 0,208333 & 1,041667 & 0,104167 \\ 1 & 0,041667 & 0,208333 & 1,020833 \end{array} \end{array}$$

Отсюда получим значения валовых выпусков отраслей, т.е. решение подсети 2.

$$(A.36) \quad X^2_{\beta} = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} & 6 & 7 & 1 \\ 6 & 1,020833 & 0,104167 & 0,010417 \\ 7 & 0,208333 & 1,041667 & 0,104167 \\ 1 & 0,041667 & 0,208333 & 1,020833 \end{array} \begin{array}{c} 800 \\ 400 \\ 150 \end{array} = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} & 6 & 7 & 1 \\ 6 & 859,8958 & & \\ 7 & & 598,9583 & \\ 1 & & & 269,7917 \end{array} \end{array}$$

**Сеть пересечений.** Элементы матрицы  $(I - A)$  полной системы, не попавшие в блоки-подсети, становятся основой матрицы сети пересечений, которую обозначим  $(I - A)_p$ . В такую матрицу попадают, в соответствии с разделом 5.1.4:

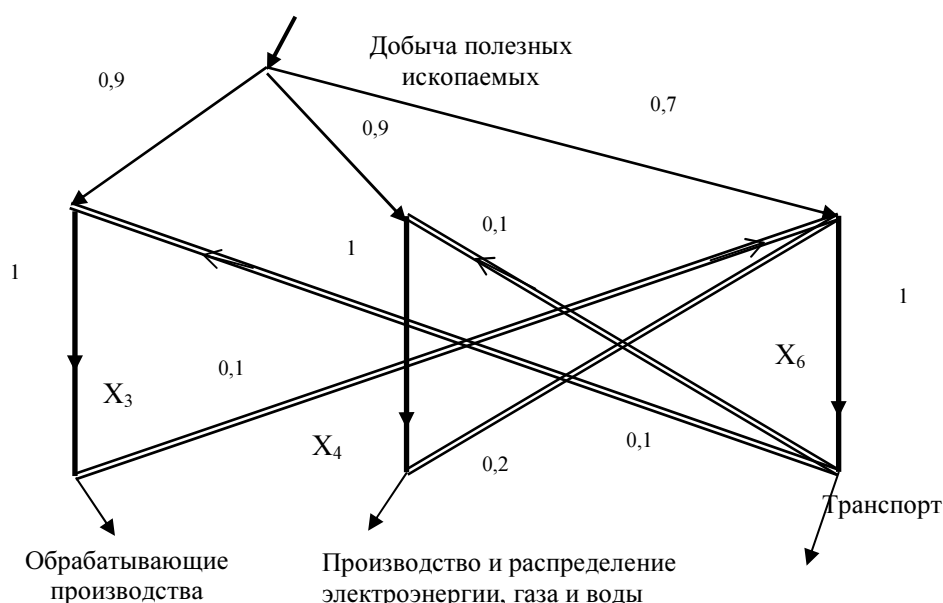
- все ненулевые элементы, не попавшие в блоки вдоль диагонали;

- все нулевые элементы строк и столбцов этих элементов, которые пересекаются строками или столбцами других ненулевых элементов;
- все элементы на главной диагонали на пересечении строк или столбцов ненулевых элементов, не попавших в диагональные блоки.

Тогда матрица сети пересечений  $(I - A)_p$  примет следующий вид, включая в себя соответствующие элементы из экономической матрицы полной сети:

$$(A.37) \quad (I - A)_p = \begin{array}{c|ccc} & 3 & 4 & 6 \\ \hline 3 & 1 & 0 & -0,1 \\ 4 & 0 & 1 & -0,2 \\ 6 & -0,1 & -0,1 & 1 \end{array}$$

Этому соответствует структура сети пересечений, представленная на рисунке А.4.



**Рисунок А.4. Основой сети пересечений являются разорванные ветви поставок (показаны двойными линиями)**

Решение сети пересечений можно получить по тем же формулам, что и решение полной сети, однако теперь воздействия будут отклики-выпуски в соответствующих отраслях подсетей. Физически это означает, что на поставки разорванных ветвей должны оказывать воздействие возросшие выпуски отраслей в подсетях. Значения этих выпусков были получены выше при расчете независимых подсетей. Для их преобразования в вектор источников воздействия в сети пересечений следовало бы использовать, в соответствии с тензорным методом двойственных сетей, матрицу преобразования от подсетей к сети пересечений. Также, аналогично, соответствующая матрица преобразования должна использоваться при переходе от полной сети к подсетям. Здесь мы для простоты ограничились выбором элементов из экономической матрицы в соответствии с той структурой подсетей, которая возникает в процессе декомпозиции.

Матрица коэффициентов полных затрат сети пересечений, или подсети  $p$ ,  $(I - A)_p^{-1}$ :

$$(A.38) \quad (I - A)_p^{-1} = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} & 3 & 4 & 6 \\ 3 & 1,010309 & 0,010309 & 0,103093 \\ 4 & 0,020619 & 1,020619 & 0,206186 \\ 6 & 0,103093 & 0,103093 & 1,030928 \end{array} \end{array}$$

Отсюда получим значения выпусков отраслей, т.е. решение задачи для подсети  $p$ , используя в качестве воздействия (конечного продукта) соответствующие выпуски отраслей, полученные при расчете подсетей. Вектор выпусков отдельных подсетей, которые связаны с сетью пересечений, обозначим  $y^p = X_p^{s=1,2} = X_p^s$ . Верхние и нижние индексы в данном обозначении – это не ковариантность и контрвариантность, а указание, что подсети  $s$  воздействуют на сеть пересечений  $p$ .

$$(A.39) \quad {}^1X^p = (I - A)_p^{-1} y^p = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} & 3 & 4 & 6 \\ 3 & 1,010309 & 0,010309 & 0,103093 \\ 4 & 0,020619 & 1,020619 & 0,206186 \\ 6 & 0,103093 & 0,103093 & 1,030928 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} 791,85 \\ 280,63 \\ 859,9 \end{array} \end{array} = \begin{array}{c} \begin{array}{c} 3 \\ 4 \\ 6 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} 891,556 \\ 480,042 \\ 997,0598 \end{array} \end{array}$$

Следующий этап – построение обратных воздействий со стороны сети пересечений на подсистемы. Это воздействие формируется как разность между полученными выпусками отраслей сети пересечений и выпусками в независимых подсетях, которые здесь играли роль воздействий. Обозначим обратное воздействие на первом этапе расчета (индексы указывают, что сеть пересечений  $p$  воздействует на подсети  $s$ ) как  ${}^1y_s^p = {}^1X^p - y^p = {}^1X^p - X_p^s$ . Получим:

$$(A.40) \quad {}^1y_s^p = \begin{array}{c} \begin{array}{c} 3 \\ 4 \\ 6 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} 891,556 \\ 480,042 \\ 997,0598 \end{array} \end{array} - \begin{array}{c} \begin{array}{c} 3 \\ 4 \\ 6 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} 791,85 \\ 280,63 \\ 859,9 \end{array} \end{array} = \begin{array}{c} \begin{array}{c} 3 \\ 4 \\ 6 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} 99,71 \\ 199,41 \\ 137,16 \end{array} \end{array} \begin{array}{c} {}^1y_1^p \\ {}^1y_2^p \end{array}$$

Здесь индекс слева от буквы указывает номер этапа расчета. В данном случае первый этап расчета обозначает единица. Отсюда берем соответствующие значения обратных воздействий сети пересечений на каждую из подсистем, и проводим расчет подсетей на втором этапе. Это даст дополнительные выпуски, поставки и ресурсы, которые учитывают первое влияние подсетей друг на друга, и соответствуют вычислению второго члена степенного ряда в (5.6).

#### Расчет воздействия сети пересечений на подсети.

Подсеть 1. По уравнению (A.34), но с воздействиями из (A.40), получим значения дополнительных выпусков отраслей для подсети 1.

$$(A.41) \quad {}^1X^1 = (I - A)_1^{-1} {}^1y_1^p = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} & 3 & 4 & 5 \\ 3 & 1,037037 & 0,222222 & 0,148148 \\ 4 & 0,126984 & 1,047619 & 0,222222 \\ 5 & 0,116402 & 0,126984 & 1,037037 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} 99,71 \\ 199,41 \\ 0 \end{array} \end{array} = \begin{array}{c} \begin{array}{c} 3 \\ 4 \\ 5 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} 147,7163 \\ 221,5673 \\ 36,92836 \end{array} \end{array}$$

Подсеть 2. По уравнению (A.36), но с воздействиями из (A.40), получим значения дополнительных выпусков отраслей для подсети 2.

$$(A.42) \quad {}^1X^2 = (I - A)_2^{-1} {}^1y_2^p = \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} & 6 & 7 & 1 \\ 6 & 1,020833 & 0,104167 & 0,010417 \\ 7 & 0,208333 & 1,041667 & 0,104167 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} 137,16 \\ 0 \end{array} \end{array} = \begin{array}{c} \begin{array}{c} 6 \\ 7 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} 140,018 \\ 28,575 \end{array} \end{array}$$

1	0,041667	0,208333	1,020833	1	0	1	5,715
---	----------	----------	----------	---	---	---	-------

Полученные значения прибавляются к выпускам отраслей, полученным на первом этапе расчета. Тогда получим значения валовых выпусков в отраслях  ${}^1X_\beta$  на этапе 1.

(A.43)

$${}^1X_\beta = X_\beta + {}^1X^{1,2}_\beta =$$

3	791,8519
4	280,6349
5	357,2487
6	859,8958
7	598,9583
1	269,7917

$$+$$

	${}^1X^{1,2}_\beta$
3	147,7163
4	221,5673
5	36,92836
6	140,018
7	28,575
1	5,715

$$=$$

3	939,5682
4	502,2022
5	394,1771
6	999,9138
7	627,5333
1	275,5067

$$-$$

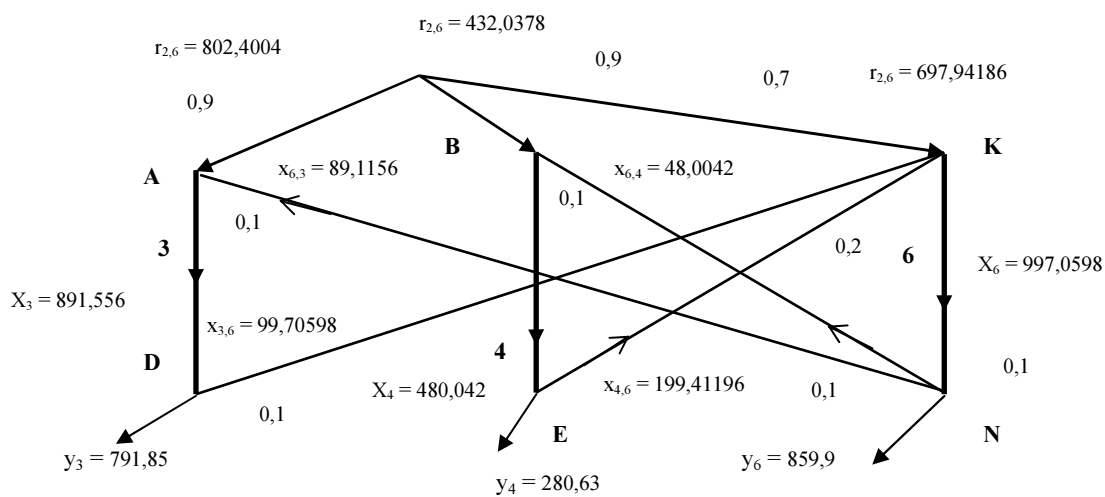
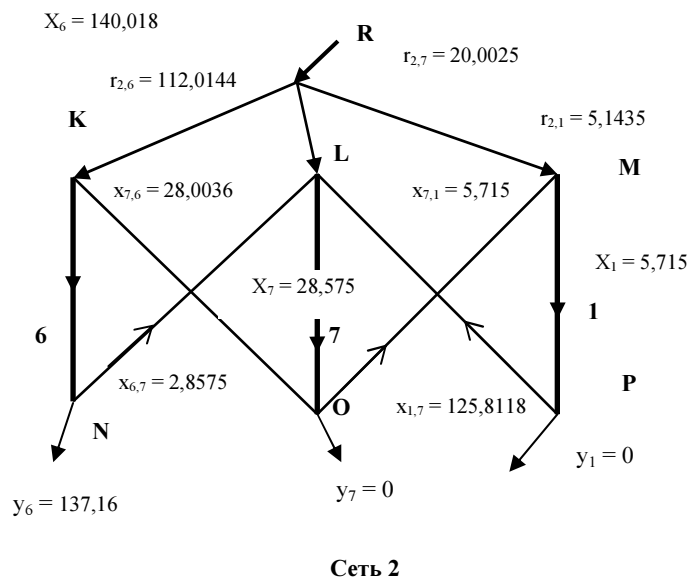
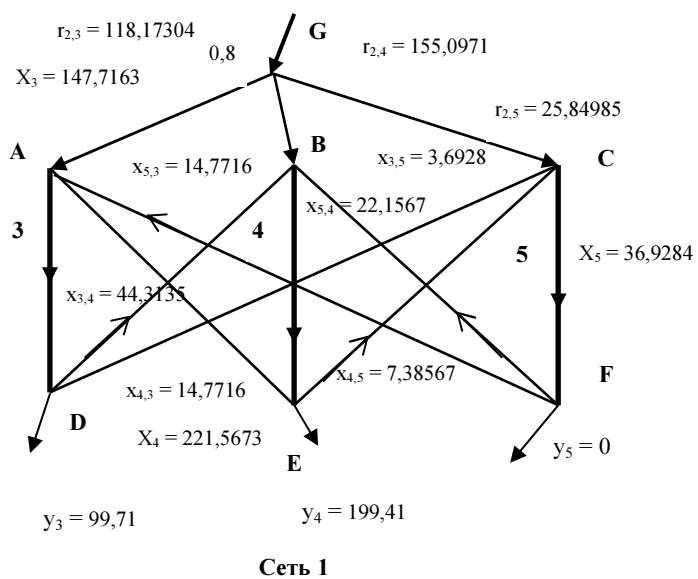
3	$X_\beta$
4	941,1067
5	504,5171
6	394,5624
7	1007,47
1	629,0755
	275,8151

$$=$$

	${}^1d$
3	-1,5385
4	-2,3149
5	-0,3853
6	-7,5562
7	-1,5422
1	-0,3084

В правых столбцах показано точное значение выпусков отраслей  $X_\beta$ , полученное в (A.31) при прямом расчете полной системы, а также разность между точным значением и значением выпусков, полученным на первом этапе расчета по частям:  ${}^1d = {}^1X_\beta - X_\beta$ .

На рисунке A.5 представлены значения потоков выпусков, поставок и ресурсов, которые получились после завершения первого этапа расчета в подсетях и сети пересечений. Здесь в сети пересечений представлены потоки, которые возникли после расчета воздействия со стороны подсетей, рассчитанных как независимые системы. В отдельных подсетях даны потоки, которые возникли после расчета обратного воздействия на них со стороны сети пересечений. В сети пересечений в качестве воздействий (спроса) на входе отраслей, рассматриваются результаты расчета подсетей, т.е. выпуски в контактных отраслях. В подсетях в качестве воздействий (спроса) на входе отраслей, при расчете обратного воздействия, рассматриваются приращения выпусков в соответствующих отраслях сети пересечений.



**Рисунок А.5. Поток в подсистемах (А.41-А.42) и сети пересечений (А.39) после завершения первого этапа расчета по частям**

## Этап 2.

Изменение выпусков отраслей дает новое воздействие на сеть пересечений, т.е. на разорванные ветви-поставки. А через них приращение выпуска в одной подсети влияет на приращение выпуска в отраслях других подсетей. Воздействие на сеть пересечений со стороны подсетей на втором этапе имеет вид  ${}^2y_p^s = {}^1X_p^s - {}^1y_p^s$ .

$$(A.44) \quad {}^2y_p^s = \begin{array}{c|c} 3 & 147,7163 \\ 4 & 221,5673 \\ 5 & 36,9284 \\ 6 & 140,018 \\ 7 & 28,575 \\ 1 & 5,715 \end{array} - \begin{array}{c|c} 3 & 99,71 \\ 4 & 199,41 \\ 5 & 0 \\ 6 & 137,16 \\ 7 & 0 \\ 1 & 0 \end{array} = \begin{array}{c|c} 3 & 48,0063 \\ 4 & 22,1573 \\ 5 & 36,9284 \\ 6 & 2,858 \\ 7 & 28,575 \\ 1 & 5,715 \end{array} \quad \begin{array}{l} {}^2y_p^1 \\ {}^2y_p^2 \end{array}$$

Те значения приращений выпусков, которые составляют вектор воздействия на сеть пересечений, выделены в (A.44) двойными линиями. Произведем расчет сети пересечений на этапе 2, в результате получим приращения выпусков в отраслях, соединяемых разорванными ветвями.

$$(A.45) \quad {}^2X^p = (I - A)_p^{-1} {}^2y_p^s = \begin{array}{c|cc} & 3 & 4 & 6 \\ 3 & 1,010309 & 0,010309 & 0,103093 \\ 4 & 0,020619 & 1,020619 & 0,206186 \\ 6 & 0,103093 & 0,103093 & 1,030928 \end{array} \begin{array}{c|c} 48,0063 \\ 22,1573 \\ 2,858 \end{array} = \begin{array}{c|c} 3 & 49,0243 \\ 4 & 24,19325 \\ 6 & 10,17975 \end{array}$$

Тогда полные выпуски в отраслях сети пересечений после выполнения этапа 2 при суммировании (A.39) и (A.45) примут следующие значения:

$$X^p = {}^1X^p + {}^2X^p = \begin{array}{c|c} 3 & 891,556 \\ 4 & 480,042 \\ 6 & 997,0598 \end{array} + \begin{array}{c|c} 3 & 49,0243 \\ 4 & 24,19325 \\ 6 & 10,17975 \end{array} = \begin{array}{c|c} 3 & 940,5803 \\ 4 & 504,2353 \\ 6 & 1007,2396 \end{array}$$

Далее получим обратные воздействия со стороны сети пересечений на подсистемы на этапе 2. Формулу расчета запишем как  ${}^2y_s^p = {}^2X^p - {}^2y_p^s$ . Тогда получим:

$$(A.46) \quad {}^2y_s^p = \begin{array}{c|c} 3 & 49,0243 \\ 4 & 24,19325 \\ 6 & 10,17975 \end{array} - \begin{array}{c|c} 3 & 48,0063 \\ 4 & 22,1573 \\ 6 & 2,858 \end{array} = \begin{array}{c|c} 3 & 1,018 \\ 4 & 2,036 \\ 6 & 7,32175 \end{array} \quad \begin{array}{l} {}^2y_p^1 \\ {}^2y_p^2 \end{array}$$

По этим дополнительным воздействиям проводим расчет подсетей на втором этапе. Получим очередное приращение выпусков, что соответствует вычислению третьего члена ряда в (5.6).

### Расчет воздействия сети пересечений на подсети.

Подсеть 1. По (A.34), но с воздействиями из (A.46), проведем расчет подсети 1.

$$(A.47) \quad {}^2X^l = (I - A)_1^{-1} {}^2y_p^1 = \begin{array}{c|cc} & 3 & 4 & 5 \\ 3 & 1,037037 & 0,222222 & 0,148148 \\ 4 & 0,126984 & 1,047619 & 0,222222 \\ 5 & 0,116402 & 0,126984 & 1,037037 \end{array} \begin{array}{c|c} 1,018 \\ 2,036 \\ 0 \end{array} = \begin{array}{c|c} 3 & 1,5081 \\ 4 & 2,2622 \\ 5 & 0,3770 \end{array}$$

Подсеть 2. По уравнению (A.36), но с воздействиями из (A.40), получим значения дополнительных выпусков отраслей для подсети 2.

$$(A.48) \quad {}^2X^2 = (I - A)_2^{-1} {}^2y^p_2 =$$

	6	7	1					
6	1,020833	0,104167	0,010417	6	7,32175		6	7,4743
7	0,208333	1,041667	0,104167	7	0	=	7	1,5254
1	0,041667	0,208333	1,020833	1	0		1	0,3051

Полученные значения прибавляются к выпускам отраслей, полученным на первом этапе расчета. Тогда получим значения валовых выпусков в отраслях  ${}^2X$  на этапе 2.

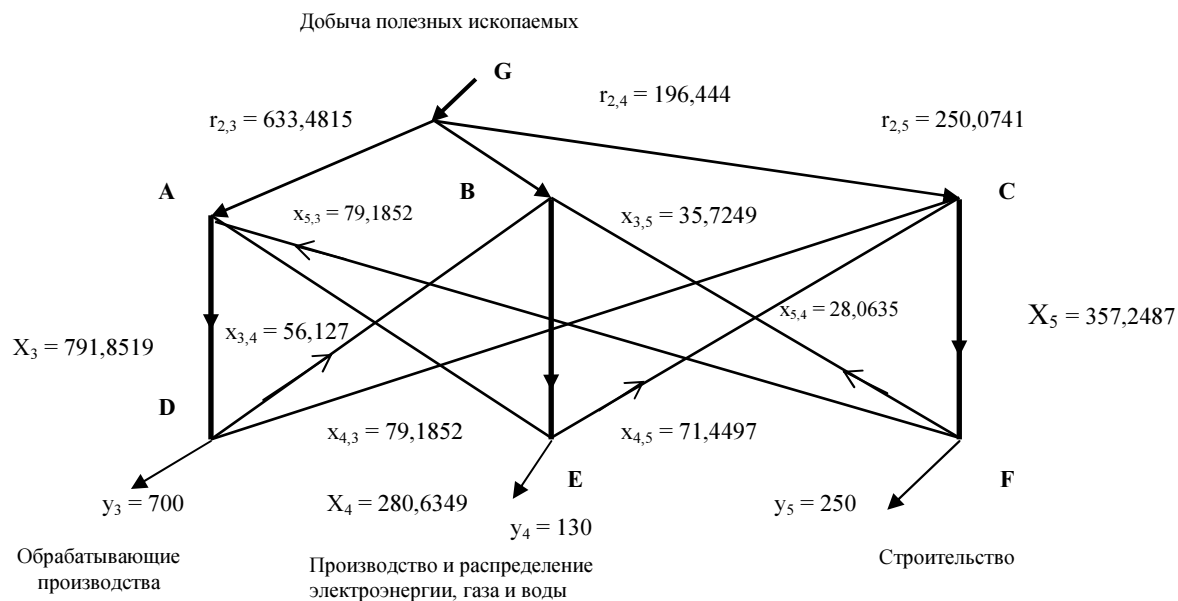
$$(A.49) \quad {}^2X_\beta = {}^1X_\beta + {}^2X^{1,2}_\beta =$$

	${}^1X_\beta$		${}^2X^{1,2}_\beta$		${}^2X_\beta$		$X_\beta$		${}^2d$
3	939,5682		1,5081	=	941,0763		941,1067		-0,0304
4	502,2022		2,2622		504,4644		504,5171		-0,0527
5	394,1771		0,3770		394,5541		394,5624		-0,0083
6	999,9138	+	7,4743	=	1007,388	-	1007,47	=	-0,0819
7	627,5333		1,5254		629,0587		629,0755		-0,0168
1	275,5067		0,3051		275,8118		275,8151		-0,0033

В правых столбцах снова, как и на этапе 1, показано точное значение выпусков  $X_\beta$ , полученное в (A.31) при прямом расчете полной системы, а также разность  ${}^2d = {}^2X_\beta - X_\beta$  между точным значением и значением выпусков, полученным на втором этапе расчета. Сравнивая с (A.43) можно видеть, что значения выпусков, полученные при расчете по частям, быстро сходятся к точным значениям, которые были получены прямым расчетом. Точно таким же образом выполняется третий этап расчета по частям, а при необходимости и последующие этапы. В данном примере необходимая точность достигается уже на третьем этапе, т.е. полученные значения при расчете по частям значения отличаются от точных на уровне выбранного количества знаков после запятой.

### Проверка полученных решений балансовых задач

Результаты расчета сетевой модели баланса продуктов целой сети (для первой подсети, рисунок A.2) представлены на рисунке A.6. Потоки поставок получаются умножением валовых выпусков отраслей из (A.34) на соответствующие коэффициенты прямых затрат в матрице (A.32). Потоки ресурсов получаются умножением выпусков из (A.34) на соответствующие коэффициенты прямых затрат ресурсов. Все эти коэффициенты показаны на рисунке A.2.



**Рисунок А.6. Результаты расчета подсистемы 1 из трех отраслей 3, 4, 5**

Проверим баланс потоков в узлах данной сети, как это делается для расчета сетей. По сути, здесь также выполняется первый закон Кирхгофа.

$$\text{Узел А: } X_3 = x_{4,3} + x_{5,3} + r_{1,3} = 79,1852 + 79,1852 + 633,4815 = 791,8519$$

$$\text{Узел В: } X_4 = x_{3,4} + x_{5,4} + r_{1,4} = 56,127 + 28,065 + 196,444 = 280,636$$

$$\text{Узел С: } X_5 = x_{3,5} + x_{4,5} + r_{1,5} = 35,7249 + 71,4497 + 250,0741 = 357,2487$$

$$\text{Узел D: } y_3 = X_3 - x_{3,4} - x_{3,5} = 791,8519 - 56,127 - 35,7249 = 700$$

$$\text{Узел E: } y_4 = X_4 - x_{4,3} - x_{4,5} = 280,6349 - 79,1852 - 71,4497 = 130$$

$$\text{Узел F: } y_5 = X_5 - x_{5,3} - x_{5,4} = 357,2487 - 79,1852 - 28,0635 = 250$$

Отсюда видно, что балансовые соотношения в решении подсети 1 выполняются на входе и на выходе всех отраслей, что и является смыслом данной задачи.

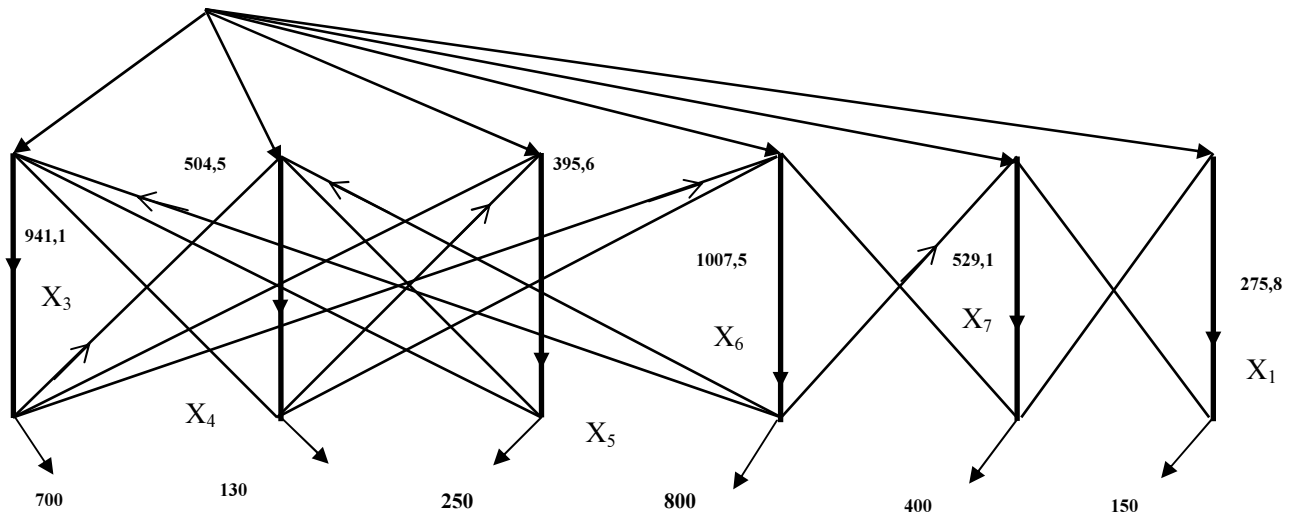
$$\text{Узел G: } r_{1,3} + r_{1,4} + r_{1,5} = 633,4815 + 196,444 + 250,0741 = 1079,9996 = 1080$$

$$\text{Узел H (объединяет выходы всех отраслей): } y_3 + y_4 + y_5 = 700 + 130 + 250 = 1080$$

Таким образом, потоки на входе в сеть из внешней среды (природы), и на выходе из сети во внешнюю среду (система потребления) также сбалансированы в рамках принятых единиц измерения.

Аналогичную проверку представим для результатов расчета балансовой задачи по частям с использованием сетевой модели. Эти результаты расчета (для сети на рисунке А.1) представлены на рисунке А.7 сначала для расчета целой сети. Жирным шрифтом внизу показаны заданные значения спроса, около ветвей – точные значения выпусков при расчете сетевой модели как целой сети.

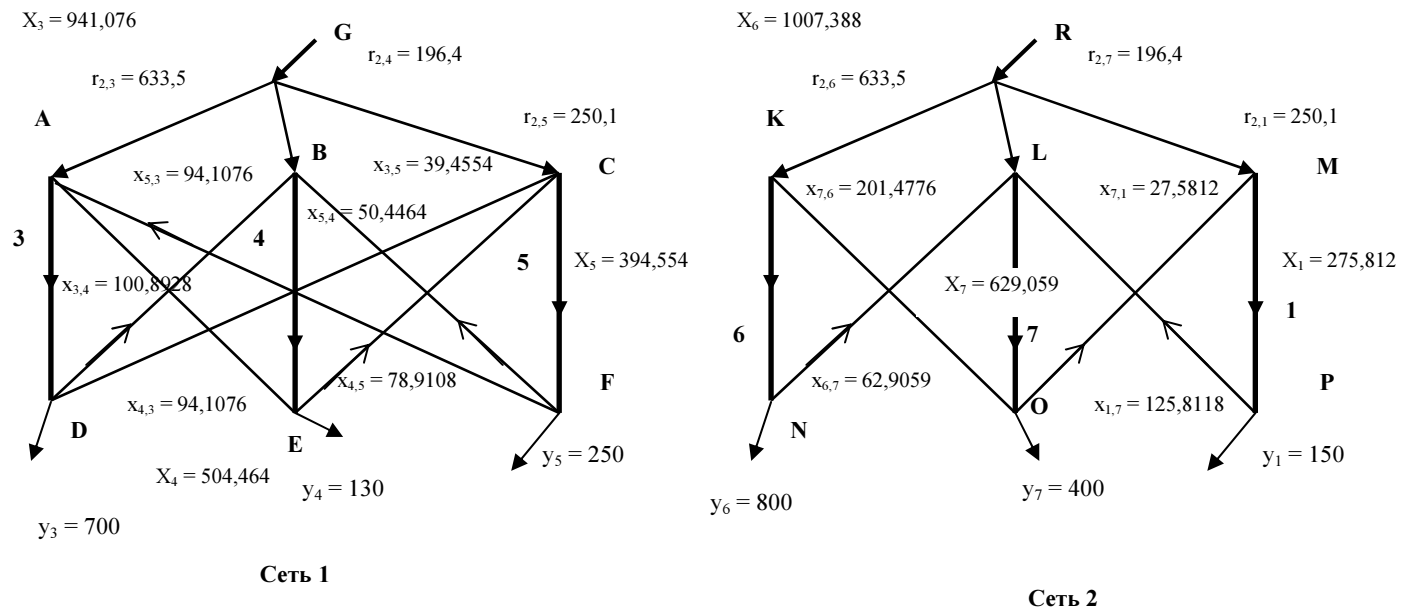


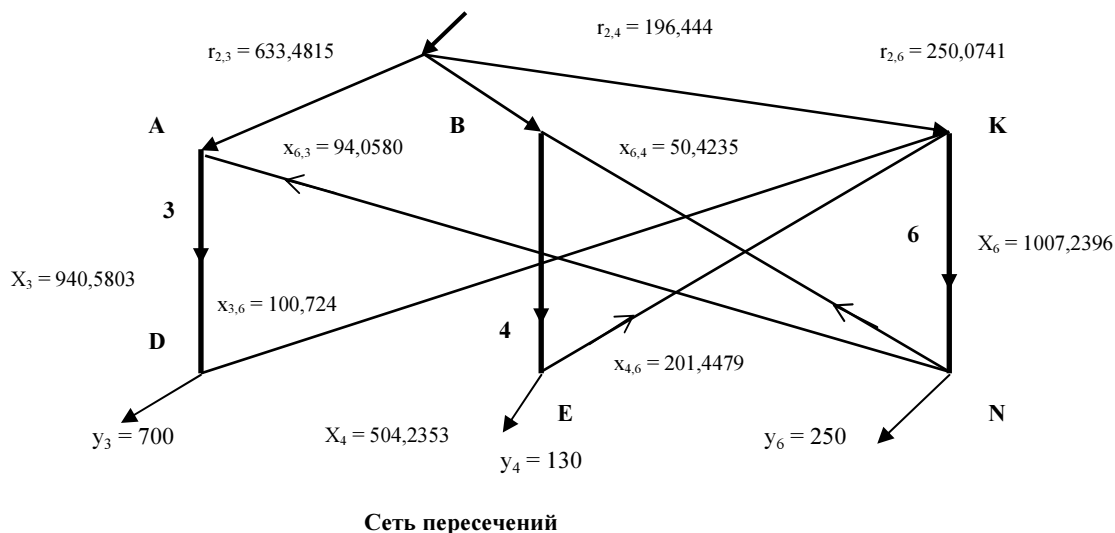


**Рисунок А.7. Результаты расчета сети продуктов по частям**

На рисунке А.8 для двух подсетей и сети пересечений представлены значения потоков выпусков, поставок и ресурсов, полученные при расчете по частям. Для соответствующих (соединяемых) узлов дана проверка выполнения баланса всех потоков.

Представлены значения потоков выпусков, поставок и ресурсов, которые получились после завершения второго этапа расчета в подсетях и сети пересечений.





**Рисунок А.8. Результаты расчета подсистем и сети пересечений**

Поскольку получены значения выпусков отраслей в подсетях, то значения поставок принимают значения в соответствии с коэффициентами прямых затрат однозначно. Однако значения потоков ресурсов будут меняться в соответствии с теми разорванными связями, которые оказывают влияние на подсистему. Значения выпусков в соответствующих отраслях подсетей и сети пересечений отличаются друг от друга на величину одного шага алгоритма. Этот шаг – обратное воздействие на подсети со стороны сети пересечений – составляет половину этапа расчета (в данном случае второго этапа).

Теперь проверим баланс потоков в узлах, по которым соединяются подсети и сети пересечений. Такие узлы на рисунке А.7 обозначены одинаковыми буквами. На выходе отраслей в подсетях баланс выполняется, с учетом существования разорванных ветвей.

Баланс потоков на входе и выходе отраслей, как подсетей, так и сети пересечений выполняется на каждом этапе вычислений, как если бы эти подсети являлись независимыми системами. Однако при этом постепенно меняются источники воздействия, которые представляет спрос (план) на выходе отраслей. В изменении воздействий как раз и отражаются структурные связи подсетей, скрытые при разделении на части. Таким образом, разорванная связь контура, (который определяет ветвь поставки) заменяется «перетекает» в воздействие разомкнутого пути. Разомкнутый путь определяется на выходе отрасли узлом, на который воздействует спрос.

Кроме того, как отмечалось, в электрической аналогии сетевой модели возникает *два источника тока* в связке ветвей «ресурс – отрасль». Один источник расположен в отрасли – он дает выпуск на выходе и создает спрос на входе. Другой источник расположен в ресурсе, где он дает на выходе поток (первого этапа расчета) для работы отрасли, а на входе дает воздействие, спрос на внешнюю среду. Внешней средой здесь может быть природа, из которой извлекаются материальные, энергетические и человеческие ресурсы. В качестве внешней среды могут также выступать другие регионы. Или другие страны. Таким образом, контакт с внешней средой такой системы, как предприятие, регион, страна происходит и на входе и на выходе.

На выходе разрывание ветвей поставок заменяется формированием спроса со стороны внешней среды. На входе разрывание ветвей поставок заменяется увеличением потребления «ресурсов», т.е. тех компонент, которые поступают из внешней среды.

На выходе отраслей сети пересечений баланс также выполняется, однако надо учесть, что роль исходного воздействия (спроса) здесь играли выпуски, полученные для отдельных подсетей.

Менее очевиден баланс на входе отраслей, поскольку он включает в себя потоки в ресурсах. Сами коэффициенты прямых затрат для ресурсов зависят от суммы коэффициентов прямых затрат на входе отраслей в соответствии с соотношением (5.8). Поэтому, когда к подсети в том или ином виде подключается ветвь поставки, например, от сети пересечений, коэффициент для ресурса меняется. Это можно понять так, что при производстве продукта потеря одного поставщика должна заменяться другим поставщиком. Например, как в данном случае, поставщиками, которые находятся за пределами рассматриваемой системы. Скажем, при разрыве хозяйственных связей или потере какой-либо части технологии внутри страны, необходимо заменить недостающее, например, импортными поставками, которые в данной модели могут рассматриваться как ветви ресурсов.

Таким образом, при изменении структуры, разделении на подсистемы, коэффициенты прямых затрат ресурсов меняются так, чтобы обеспечить возможность производства необходимой продукции.

**Собственное потребление отраслей.** Если есть собственное потребление отраслями своей продукции, то это вносит определенное усложнение данного алгоритма. Дело в том, что тогда все отрасли, которые потребляют свою продукцию (например, электроэнергетика) следует представлять двумя ветвями. Одна ветвь от входа к выходу, как и ранее, представляет процесс производства. Другая ветвь, от выхода к входу, представляет процесс потребления. Получается цикл в каждой такой отрасли.

Оказалось, что собственное потребление учитывается при расчете подсетей – соответственно растут выпуски. В сеть пересечений ветви, представляющие собственное потребление, не входят – воздействия от них на отрасли других подсетей происходит через возросшие выпуски подсетей. Таким образом, в структуре сети при декомпозиции не возникают новые ветви связей отраслей.