

УДК 338.26.015:658.5

СВОЙСТВА СТРУКТУРЫ И РАБОТА ЖИВОГО ОРГАНИЗМА: СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ЭКОНОМИКИ КАК МЕХАНИЗМ РАБОТЫ ЖИВОГО ОРГАНИЗМА

Петров Андрей Евгеньевич, доктор технических наук, академик РАЕН, профессор кафедры САПР Института ИТАСУ НИТУ МИСиС, профессор кафедры устойчивого инновационного развития ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»

Аннотация

В статье показано, как изменение структуры связей в системе влияет на её функционирование. Проводится параллель между биологическими и экономическими системами, т.к. для тех и других выполняется закон сохранения потока энергии. Дается обзор авторского тензорного метода двойственных сетей, основанного на работах Г. Крона и П.Г. Кузнецова.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: структура связей, метрика, живые системы, закон сохранения потока энергии, сети, тензорный метод двойственных сетей.

STRUCTURE FEATURES AND OPERATION OF THE LIVING ORGANISM: NETWORK MODEL OF ECONOMY AS A MECHANISM OF THE LIVING ORGANISM WORK

Petrov Andrey Evgenievich, Doctor of Technical Sciences, full member of RANS, professor of CAD Department at the Institute of Information Technologies and Automated Control Systems of NUST MISIS, professor of Sustainable Innovative Development Department at the “Dubna” University

Abstract

The article shows how the changes in connection structure of the system affects its functioning. It draws a parallel between biological and economic systems, as for both of them the law of energy flow conservation is relevant. The article also contains an overview of the author's tensor method of dual networks, based on the works of G. Kron and P.G. Kuznetsov.

KEYWORDS: connection structure, metric, living systems, law of energy flow conservation, network, tensor method of dual networks.

Механизм работы экономической системы и живого организма остается закрытой книгой. Как, на каком этапе соединение атомов в молекулы, более сложные образования, достигает такой стадии, когда вдруг возникают свойства живого? Это свойства самоорганизации, адаптации к внешней среде, извлечения энергии из окружающей среды в количестве, превышающем затраченную энергию, наконец, свойства размножения и передачи качеств родителя потомкам. Неживые системы, естественные и искусственные, имеют коэффициент полезного действия, КПД меньше единицы. Живые системы имеют КПД больше единицы, получая из окружающей среды больше энергии, чем тратят.

Важную роль играет структура связей элементов системы. Структура обладает своими свойствами, которыми не обладают процессы в системе. Эти свойства определяются путями, по которым могут проходить потоки. Пути бывают замкнутые и разомкнутые. Путь

начинается с одного узла (границы) элемента-ветви, проходит по ветвям и возвращается в узел начала (замкнутый путь). Или не возвращается в узел начала (разомкнутый путь). Пути выражаются друг через друга с помощью ветвей, через которые они проходят.

Внешние воздействия на систему создают потоки, процессы в открытых путях, внутренние воздействия в системе создают потоки в замкнутых путях. Замкнутые и разомкнутые пути дополняют друг друга до полного пространства сети. При этом замыкание разомкнутого пути создает контур, и наоборот (меняется размерность их подпространств).

Особенность потоков в сети состоит в том, что в замкнутых путях и в разомкнутых путях они протекают независимо друг от друга. Это позволяет им при взаимодействии усиливать общий поток в системе. Подобно тому, как живая система воздействует на внешнюю среду, увеличивая количество энергии в своем распоряжении.

При изменении структуры меняется размерность подпространств замкнутых и разомкнутых путей. Математически это выражается ортогональностью матриц преобразования путей, где соответствующие квадранты состоят из нулей. Это позволяет применять в сетевой модели экономической системы токи замкнутых и разомкнутых путей, которые дополняют друг друга для представления потоков продуктов.

Жизнь и внешний поток энергии

Сеть, техническая система и экономическая система принципиально отличаются. Сеть получает на вход поток энергии, часть его преобразует в полезную работу, а часть теряет (трение, тепло, и т.д.).

Экономическая, живая система также получает входной поток энергии, часть которого она преобразует в полезную работу (свободную энергию), а часть теряет. При этом механизм работы живого состоит в том, что полезный поток энергии расходуется в двух направлениях – на поддержание работы живого организма (даже если он в покое), и на работу организма по получению другого потока энергии, превосходящего затраты. В экономике эти направления выражаются как постоянные расходы (независимо от выполняемой работы) и переменные расходы (выполняемые для производства и получения прибыли).

Живые системы существуют за счет использования внешнего потока энергии. Или нескольких потоков, которые создаются как в неживой природе, так и в живой природе. Во времена охоты человек использовал энергию животных. Во времена земледелия используется энергия, накопленная растениями в процессе фотосинтеза. Основным источником внешних потоков энергии является солнечная энергия. Полученную свободную энергию живая система затрачивает на преобразование внешнего потока энергии, часть

которого она получает в свое распоряжение, причем получает больше энергии, чем затрачивает.

Таким образом, для существования живой системы всегда необходим другой поток энергии, который протекает сам по себе, как бы независимо от живой системы, а она его использует для себя, для поддержания и развития своей жизнедеятельности. Этот поток может быть создан неживой природой или другими живыми системами. Например, текущая вода, солнечное тепло – потоки энергии, созданные косной (по выражению Вернадского) материей. Дрова, полученные от деревьев, нефть и уголь, молоко и зерно, и т.д. – потоки энергии, созданные другими живыми системами.

Существует целый ряд циклов, которые возникают, меняются и исчезают по мере эволюции живого. Например, движение воды использовалось для перемещения по рекам и морям. Вызвано это природными циклами – испарение воды морей, перенос облаков к горам и выпадение осадков с последующим течением воды под действием силы тяжести вниз к морям. Затем движение воды использовалось для передачи вращения на станки для работы завода, затем другие свойства воды обеспечивают работу парового двигателя, и т.д.

Экономика и структура

Экономическая система состоит из трех основных секторов: производства (товаров, услуг, работ), товарных рынков (продукты находят потребителя), финансовой системы (связывает производителя и потребителя). Финансовая система возникла из специализации и необходимости эквивалентного обмена произведенными продуктами. Рост производства в экономической системе связан с ростом сложности структуры хозяйственных связей. Спад производства связан с разрывом хозяйственных связей, деградацией структуры.

Считается, что для реализации продукции новой технологии, которая обеспечит ее окупаемость, рынок сбыта должен составлять около 300 млн. человек. США и СССР имели такую численность населения, поэтому могли быть самостоятельными. Население Евросоюза 500 млн. человек. Китай и Индия проблем с численностью не имеют, есть проблемы с платежеспособностью населения.

Нарушение, разрыв структуры хозяйственных связей наносит наибольший ущерб состоянию экономики, возможностям роста производства. После революции и гражданской войны 1917–1921 гг. в 30-е годы советские экономисты В. Базаров и В. Громан провели анализ восстановительного роста экономики. Оказалось, что, несмотря на разрушения, важнейшим фактором падения производства стало нарушение хозяйственных связей.

После деления СССР в 1991 году на 15 независимых подсистем также была нарушена структура хозяйственных связей между бывшими республиками, ныне

независимыми государствами при сохранении природного, промышленного, человеческого потенциала [11]. В результате, по данным Центра экономической конъюнктуры (ЦЭК, ныне Аналитический центр) при Правительстве РФ, индекс интенсивности промышленного производства со 100% в январе 1990 г. снизился до 38% в августе 1998 года, т.е. более чем в 2,5 раза. Эти данные представлены в Информационно-аналитических материалах Государственной Думы.

Разделение и соединение

В настоящее время при быстром росте специализации объективно растет влияние сетевых отношений, происходит усложнение структуры. Однако есть и обратный процесс: разрушение связей, разделение стран, хозяйствующих субъектов ведет к падению производства, создает ситуацию для внешнего управления.

Применяются специальные технологии для разрыва хозяйственных связей, с целью снижения производства в некоторых районах и получения конкурентных преимуществ. Например, организация потока мигрантов в страны ЕС привела к введению разграничений, включая предложения создания отдельных зон внутри Евросоюза, что привело к экономическим потерям. Процессы разделения на Ближнем Востоке, а также при разделении экономик России и Украины разрушают производство и развитие. В странах, потерявших хозяйственные связи, происходит снижение рождаемости и эмиграция.

Создание хозяйственных связей между странами требует времени, долгой работы и установления доверия. Разрыв структурных связей происходит быстро, путем провокаций, требующих немногих усилий, что разрушает доверие, наносит экономический ущерб. Есть немало примеров, когда за вроде бы случайными событиями скрываются задачи разрушения хозяйственной структуры, которые носят системный характер.

Связь экономики Египта и России разорвана по линии туризма, а значит и транспорта после авиакатастрофы над Синаем. Связь экономики Турции и России разорвана не только по линии туризма, но и многих других аспектов в результате атаки на самолет России над территорией Сирии. Экономический ущерб для России выше, чем в случае Египта. Одна из целей этого – разрыв маршрута доставки природного газа из России в Европу через Турцию. Ранее был разорван южный маршрут газа через Болгарию.

Далее будут проблемы с газопроводом Северный поток-2. Уже есть протесты Польши. Решается задача: загнать потоки газа, которые нужны Европе для развития, на территорию Украины, где управление любыми потоками, включая газовые (энергетические) находится под управлением США. От результата войны в Сирии зависит направление и масштаб экономических связей во всем регионе в среднесрочной перспективе.

Возможные провокации такого рода со странами БРИКС зависят от того, насколько руководители этих стран зависят, например, от личных данных в распоряжении управляющего центра, финансовых связей, которыми можно управлять со стороны, и т.д.

В противовес разделением конкурентов, есть попытки США связать группы стран в торговые объединения в Атлантическом и Тихоокеанском регионах, по сути, вместо ВТО. Для противодействия необходимо сближать экономики стран с участием России, создавать производственные и торговые союзы, где разделение труда даст эффект синергии. Учитывая глобализацию мировой экономики, целесообразно осуществлять эти процессы, используя механизмы ВТО, которая для этого и создана. Однако это требует признания равноправия всех стран и снижает возможности получения преимущества для сильных экономик за счет использования ресурсной базы и рынков сбыта более слабых экономик. Т.е. затрудняет проведение традиционной колониальной политики.

Специализация и разделение труда

Мировая экономика продолжает усложняться и объединяться. Эта неизбежная тенденция развития преодолевает кризисы и интересы отдельных стран. Темпы глобализации не имеют исторических аналогов, требуют новых подходов. Прежде на одной технологии жили многие поколения. Ныне при жизни одного поколения сменяется несколько технологий. Процесс смены технологий ускоряется, что указывает на приближение человечества к переходу в новое качество, включая отношения между людьми.

Согласно данным экспертов ООН, в текущем веке число профессий удвоилось. Специальности быстро появляются и исчезают, меняются вызванные ими структурные связи. Возросла динамика перемещения работников. Данные Евростата показывают, что каждый десятый в ЕС родился вне страны проживания. Такая динамика усложняет задачу управления материальными, людскими, финансовыми, информационными потоками на уровне регионов, стран, континентов и их связями. Растет роль анализа структурных связей.

Развитие человечества ведет к объединению стран в планетарную команду. Это важно для защиты жизни от угроз планетарного и космического масштаба. В этом процессе реализуется естественное противостояние живого вещества с неживым веществом. В этом противостоянии нет антагонизма. Живое и неживое вещество в природе не занимаются борьбой с целью взаимного уничтожения. Живое и неживое вещество в природе занимаются взаимным дополнением и взаимным развитием.

Разделение связей, выделение избранных, уничтожение остальных, вообще вся борьба людей друг с другом, реализует противоестественный процесс борьбы живого вещества с живым веществом.

Введению разделительных границ в обществе и между странами способствует идеология избранности. Ранее провозглашали: «Дойчланд юбер алес». Теперь: «Украина по над усе». А еще избранность США, которая требует от них вмешательства по всему миру, где могут быть их интересы. Используется образ «Город на холме» – превосходство одной группы людей над остальными людьми. Вариации – «золотой миллиард», есть и более радикальные 400 тысяч избранных. Избранность насаждается через кино: к вроде обычному человеку присматриваются – да ты же избранный! Для него начинается новая интересная жизнь, а для остальных как угодно.

Это политика и идеология проведения границ, разделительных линий в обществе людей. В разных частях – разные правила жизни, разные уровни жизни, разное потребление потока свободной энергии на человека, если говорить в измеримых величинах.

Для избранных – простор перемещения в пространстве, свобода личного времени, жизнь без болезней и забот, желательно – без границ возраста. Для других этого нет – они нужны для обслуживания избранных. Можно ли заменить службу роботами, автоматами? Можно, но тогда как избранные почувствуют, что они лучшие? Если нет тех, других, то и сравнить не с кем. Есть те, на кого должны смотреть, и те, кто должен смотреть и понимать разницу.

Сетевые структуры все больше определяют экономику и политику в современном мире. Специализация и разделение труда, рост сложности выпускаемой продукции, увеличивает число хозяйственных связей, число предприятий и стран, вовлеченных в совместное производство. Это ведет к перемещению продуктов, капиталов, людей, информации через границы. Быстрое появление новых технологий и новых продуктов требует изменения хозяйственных связей, распределения ресурсов.

Для расчета и анализа поведения, развития экономической системы необходимо применение математических методов оценки изменения процессов при изменении структуры. Сетевые модели позволяют рассматривать системы с переменной структурой, например, осуществлять расчет изменения процессов производства, при изменении структуры, расчет структурных реформ, о необходимости которых много говорят.

Сетевые модели описания структуры и экономика

Математической моделью, которая содержит в себе описание экономической структуры является модель затраты-выпуск, известная как задача межотраслевого баланса. За разработку этой модели В. Леонтьев стал в 1973 г. лауреатом Нобелевской премии. Модель описывает баланс потоков продуктов на выходе отраслей. Отрасли производят продукцию в соответствии с планом (спросом), потребляют ресурсы и обмениваются

поставками продукции в соответствии с технологией производства. Модель имеет простой математический вид. В классической постановке этой задачи структура, сетевая модель, в явном виде не рассматривается. Автор создал сетевую модель для межотраслевого баланса.

Применение сетевых моделей в технике и физике на основе тензорного анализа разработал Г. Крон. П.Г. Кузнецов считал метод Крона введением в теорию проектирования прикладных задач в технике, экономике, управлении. Метод Крона критиковали на протяжении полувека за противоречивость – мощность при изменении соединений в сети не постоянна, а матрицы преобразования прямоугольные, т.е. не имеют обратных и не образуют группу. Однако метод давал правильные результаты при расчете цепей и электрических машин [1]. Ныне теория электрических машин Крона считается классикой [9]. В ее основе лежит преобразование потока энергии при изменении структуры. Это позволяет от уравнений обобщенной машины (это простейшее устройство электромеханического преобразования энергии с двумя обмотками статора и двумя обмотками ротора) с помощью матриц преобразования переходить к уравнениям электрических машин любой сложности.

Крон не применял сетевые модели в экономике и биологии. Хотя утверждал, что полиэдральные сети (из многомерных элементов) при электромагнитном возбуждении демонстрируют свойства самоорганизации, подобно искусственному мозгу. Воспроизвести такие свойства пока не удалось.

Кузнецов хотел создать «обобщенную машину» для общества (простая ячейка производства, потребления и денежных потоков, элемент социально-экономической системы), и на ее основе переходить с помощью матриц преобразования к моделированию и управлению устойчивым развитием сложных субъектов: предприятия, региона, страны, планеты.

Крон показал, что поведение электрической машины в любом режиме описывают уравнения одного типа, отличие в том, что усложняется пространство и соответствующий метрический тензор. Стационарный (устойчивый) режим работы электрической машины описывает простое уравнение типа закона Ома, где тензор сопротивления определяет метрику пространства Декарта.

Аналогично необходимо создать метод управления обществом в стационарном, устойчивом развитии. Затем трансформировать его к управлению в переходных процессах, например, при переходе к очередному укладу на основе новых технологий. Затем на этой основе создать метод управления обществом в период «качаний», когда внешние или внутренние силы отклоняют систему от режима устойчивого развития. Это позволит создать

метод управления обществом для выхода из финансовых и экономических кризисов. Или прогнозировать опасности отклонений от устойчивого развития.

В работах отечественных ученых намечен путь применения методов Крона для расчета балансового планирования [2-4], проектирования инновационного регионального развития [10], проектирования технических систем [11].

Сети и пути

Ветвь есть отрезок линии с границами-узлами. Сеть состоит из ветвей, которые могут иметь веса, и соединяться границами-узлами. Это одномерная сеть. Соединения ветвей составляют структуру сети. Изменения соединения ветвей есть изменение структуры сети. Ветви образуют пространство сети.

Координатами этого пространства являются *пути* – последовательности соединенных ветвей. Путь проходит по ветви от одной границы до другой, продолжается в ветви, соединенной с ней и т.д. Путь, который вернулся после прохождения ветвей в узел начала – это замкнутый путь, контур; иначе – разомкнутый.

Один путь можно выражать через другие пути, комбинируя составляющие их ветви. Набор линейно независимых путей составляет базис в пространстве сети. Базисы контуров и разомкнутых путей определяют подпространства замкнутых и разомкнутых путей. Эти подпространства ортогональны и дополняют друг друга до полного пространства сети.

Изменение структуры состоит в изменении числа узлов в сети – одни соединяются, другие разъединяются. При разделении узла на два узла исчезает контур, но возникает разомкнутый путь, и наоборот; меняются размерности их подпространств.

При изменении структуры базисные пути в новой сети можно выразить через базисные пути в старой сети. Коэффициенты в таком выражении образуют матрицу преобразования путей. Это матрица преобразования структуры.

В матрице преобразования C строки показывают, какие ветви, с какой ориентацией, составляют данный путь. Элементы столбцов показывают, в какие пути, с какой ориентацией входит данная ветвь. Матрица C состоит из двух подматриц, описывающих преобразование замкнутых ${}^m C$ и разомкнутых ${}^j C$ путей. Она используется для расчета контурной сети, сети с внутренним воздействием. Это расчет токов в ветвях при заданных источниках ЭДС. Крон связывал независимые контурные токи в простейшей и связанной сети, поэтому его матрица преобразования является транспонированной к рассматриваемой здесь.

Ортогональная к C матрица, обозначаемая как A : $A = (C)^{-1}$, описывает преобразование взаимного базиса путей при изменении структуры.

Каждый вектор взаимного базиса ортогонален всем векторам прямого базиса [15, с. 432]. Вектор взаимного базиса можно рассматривать как две эквипотенциальные поверхности, определяющие разность потенциалов, т.е. напряжение. Крон и рассматривал эту матрицу, как преобразование напряжений. Матрица A используется для расчета сети с внешним воздействием; в электротехнике это узловый метод расчета напряжений на ветвях при заданных в узлах источниках тока.

Крон полагал, что строки и столбцы матрицы A не имеют такой наглядной интерпретации, как у матрицы C . Оказалось, что матрица A исходной сети является матрицей C двойственной сети. Для получения формул преобразования величин в сети введем понятие вектора, который возникает в сети, как поток воды в трубе.

Для электрической цепи ковариантным компонентам абстрактного вектора соответствует напряжение, контравариантным компонентам соответствует ток. Квадрату величины вектора соответствует рассеиваемая в цепи мощность. Если заданы веса ветвей, то их можно рассматривать как метрику (сопротивление в цепи), заданную матрицей метрического тензора. Метрический тензор в сети, как в векторном пространстве, связывает ковариантные и контравариантные компоненты вектора (аналог закона Ома в цепи).

Вектор потока энергии в сети определяется, например, заданием ковариантных компонент в качестве источника воздействия. Тогда контравариантные компоненты второго вида являются откликом, их величина определяется метрикой, сопротивлением. Базисом структуры являются замкнутые пути, а преобразования осуществляются матрицей mC . Этому соответствует контурный метод расчета цепи.

Если воздействие задают ковариантные компоненты, то отклик – контравариантные компоненты, величину которых определяет метрика, проводимость. В этом случае базисом являются независимые разомкнутые пути, а преобразования осуществляются матрицей jA . Этому соответствует узловый метод расчета цепи.

Предполагается, что уравнения поведения системы имеют одинаковую форму для любой структуры соединения элементов. Наиболее простая сеть – это свободные ветви. Преобразование к связанной сети выполняют матрицы преобразования путей mC или jA .

Мощность, рассеиваемая в простейшей цепи равна мощности источников, а в связанной цепи мощность определяется откликами и числом базисных путей. Воздействия и отклики в сети, как токи и напряжения в электрической цепи, подчиняются законам Кирхгофа, что является проверкой правильности решения.

В сети двойственны (взаимно дополняют друг друга) замкнутые и разомкнутые пути, токи и напряжения, сопротивления и проводимости. Такими двойственными заменами

получаются уравнения сети для базиса разомкнутых путей. Матрица ${}^m C$ заменяется матрицей ${}^j A$, а матрица Z – матрицей Y . Метрический тензор связанной узловой сети по сути есть матрица решения.

Двойственная сеть и закон сохранения потока энергии

К заданной сети существует двойственная сеть, в которой каждому замкнутому пути соответствует разомкнутый путь, а каждому разомкнутому пути соответствует замкнутый путь. Ее величины обозначим подчеркиванием. Размыканию путей в данной сети соответствует замыкание пути в двойственной сети, и наоборот. Матрица A данной сети является матрицей \underline{C} для двойственной сети, в которой подматрицы замкнутых и разомкнутых путей меняются местами. И наоборот, матрица C данной сети является матрицей \underline{A} для двойственной сети.

Оказалось, что существует инвариант двойственности, который состоит в постоянстве суммы метрических тензоров (матриц решения) двух двойственных сетей при изменении их структуры. В физике этому инварианту соответствует закон сохранения потока энергии, который выражается в постоянстве суммы рассеиваемых мощностей *двух двойственных* электрических цепей при изменении их структуры. Это и является *разгадкой инварианта мощности Крона* – мощность меняется при изменении соединений в одной сети, но постоянна при изменении соединений в двух сетях с двойственной структурой.

Таким образом, матрица решения контурной двойственной сети соответствует матрице решения заданной узловой сети. Аналогично, матрица решения двойственной узловой сети соответствует матрице решения контурной заданной сети.

Данный инвариант (закон сохранения потока энергии) открыл в 1981 году, [1-4, 7]. При этом для замкнутых систем сумма *прямых* метрических тензоров двух двойственных сетей равна метрическому тензору свободных контуров, а для открытых систем сумма *обратных* метрических тензоров двойственных сетей равна тензору свободных разомкнутых ветвей.

Этот закон находится в ряду других законов сохранения, т.е. физических законов, согласно которым некоторое свойство замкнутой системы остается неизменным при каких-либо изменениях в системе. Всеобщность законов сохранения механических величин (энергии, импульса, момента), связана с тем, что им соответствуют свойства симметрии пространства-времени (мира). Согласно теореме Нётер, сохранение энергии связано с однородностью времени, т.е. с физическими законами инвариантными относительно изменения начала отсчёта времени. Сохранение импульса и момента количества движения связано соответственно с однородностью пространства (инвариантность относительно

пространственных сдвигов) и изотропностью пространства (инвариантность относительно вращений пространства). Закон сохранения потока энергии связан с двойственностью структуры пространства. Он намекает на существование двойственного пространства.

В простейшем виде, при единичной метрике, т.е. если собственные сопротивления ветвей равны единицам, а взаимные равны нулю, то Z и Y – единичные матрицы, $Z = Y = I$, и при отсутствии потоков в сети, инвариант двойственности для замкнутых путей приобретает простой абстрактный вид

$${}^m C_t ({}^m C {}^m C_t)^{-1} {}^m C + {}^j A_t ({}^j A {}^j A_t)^{-1} {}^j A = I$$

Здесь I – единичная матрица. Это фундаментальное свойство структуры сетей выражается отношениями между матрицами преобразования путей, и не зависит от физических свойств ветвей, от потоков энергии.

Инварианту двойственности соответствует закон сохранения потока энергии при изменении структуры двойственных сетей. Далее необходимо обобщить данный закон на сети из поверхностей – двумерные сети, сети из объемов – трехмерные сети, и соответствующее возбуждение электромагнитными волнами.

Философия сетей

Рост специализации и разделения труда в современном мире увеличивает число связей между субъектами хозяйства. Сети связей растут, усложняются, охватывая все новые сферы человеческой деятельности. Для сетевой структуры существуют законы, которые управляют миром вместе с фундаментальными законами физики. Любая сложная система состоит из элементов и структуры связей между элементами. Сами элементы и происходящие в них процессы изучали и изучают многие. Структуру связей, ее свойства изучают немногие.

Сеть (одномерная) состоит из ветвей (отрезков), каждая из них принимается за измерение. От одной границы ветви до другой проходит путь, который является координатой в таком измерении. Собрав все пути, получим базис, который описывает пространство сети, состоящее из точек, составляющих ветви.

Пути бывают замкнутые или разомкнутые. Если путь начинается в одной точке, а заканчивается в другой, то он открытый, разомкнутый. Если путь проходит по ветвям (пространства сети) и возвращается в начало, то он замкнутый. Замкнутый путь может возникать при слиянии или разделении разных контуров, или из разомкнутых путей. Если концы-узлы двух разомкнутых ветвей соединить, то получится контур, замкнутый путь. Т.е. замкнутые пути можно выразить как через замкнутые, так и через разомкнутые пути.

Удивительно, что разомкнутый путь нельзя выразить через замкнутые пути – как ни соединяй контуры, а разрыва не получится. Можно сделать разрыв, но это уже особое действие. Такова асимметрия структуры нашего пространства.

Причина данного свойства путей состоит в отличии их геометрического положения. Открытые пути все принадлежат *одномерному* пространству. В любом количестве их можно расположить вдоль одномерной линии. Замкнутый путь содержит, несет в себе контур – он охватывает часть *двумерной* поверхности. Не разрывая контур нельзя вернуть замкнутый путь в одномерный облик, сделать его принадлежащим только линии. Так контур создает новое измерение пространства.

Двумерные сети, элементы которых суть куски поверхностей, обладают таким же свойством. Отрезок имеет два конца. Кольцо – нет начала и конца, хотя в нем «спрятан» один узел – зародыш места разрывания. Эти рассуждения подтверждаются математически. Так и поверхность – у нее есть границы в виде линий-отрезков. Принято рассматривать треугольники, квадраты, пятиугольники, чтобы придать наглядную форму одномерным границам. Считая путь в 2-сети как последовательность кусков поверхностей, связанных своими линиями-границами, получим, что для любой фигуры все такие пути открытые, разомкнутые. Замкнутый путь возникает тогда, когда фигура ограничивает замкнутое пространство, например, шар. Но это добавляет, порождает новое измерение, объем. Открытую поверхность нельзя выразить через набор шаров – нужно разрывание.

Подобные рассуждения справедливы и для большего числа измерений. Введение четырехмерного цикла – контура среди объемов – возможно только при охватывании четвертого измерения. И так далее. Так простые операции соединения и разъединения в структуре порождают новые измерения. Можно было бы сказать – создают новое качество, но понятие качества в геометрии как-то не применяется.

Для описания изменений в структуре надо выразить базисные пути в новой структуре через пути в старой структуре. В одномерных сетях, о которых пойдет речь далее, границы элементов-ветвей – узлы, точки. Ветви считаем неизменными. Изменения в структуре состоят в том, что одни узлы-границы соединяются или разъединяются с другими узлами. При этом меняется число базисных путей, представляющих систему координат, в которых выражаются процессы в моделируемой системе.

Замкнутые и разомкнутые пути образуют в сети два подпространства, которые не зависят друг от друга, т.е. ортогональны. Это выражается свойствами матриц преобразования путей при изменении структуры. Также эти два подпространства двойственные, т.е. они дополняют друг друга до полного пространства сети. Они представляют единую сеть во всей

совокупности ее замкнутой и открытой структуры, подобно тому, как в китайской философии ян и инь объединяются в дао. Аналогии есть и других мировых учениях, о чем писали русский конструктор логических машин Александр Николаевич Щукарев в 1934 году [12] и в наши дни В.В. Попков [8].

При слиянии двух узлов в связанной сети возникает контур, исчезает разомкнутый путь. Меняются размерности подпространств замкнутых и разомкнутых путей. Переход от пространства меньшей размерности к пространству большей размерности нельзя однозначно выразить переменные, подобно тому, как по точке нельзя выразить всю прямую, которая была в точку спроектирована. Также по линии нельзя восстановить плоскость, а по плоскости нельзя воссоздать трехмерный объем – не хватает переменных.

Пусть в сети три контура, как тогда перейти к новым потокам, если в результате соединений получилось пять контуров? Тензорный анализ сетей позволяет сделать это с помощью прямоугольных матриц преобразования. Для переходов между пространствами с различной размерностью должен существовать закон, который определяет такие преобразования структуры. Такой закон должен определять свойства пространства-структуры, подобно тому, как законы сохранения определяют свойства физического пространства.

Вопрос в том, что первично. Физические законы сохранения определяют свойства пространства? Или свойства структуры пространства определяют данные законы сохранения? И тогда, как писал А.Н. Щукарев, можно предположить возможность существования пространства с другими свойствами, в котором будут действовать другие законы сохранения...

Принято связывать законы сохранения со свойствами симметрии физических систем. «...Симметрия понимается как инвариантность физических законов относительно преобразований входящих в них величин. Наличие симметрии приводит к тому, что для данной системы существует сохраняющаяся физическая величина. Если известны свойства симметрии системы, можно найти для неё законы сохранения, и наоборот.

Законы сохранения механических величин (энергии, импульса, момента) обладают всеобщностью. Их симметрии можно рассматривать как симметрии пространства-времени (мира), в котором движутся материальные тела. Так, сохранение энергии связано с однородностью времени, с инвариантностью физических законов относительно изменения начала отсчёта времени (сдвигов во времени). Сохранение импульса и момента количества движения связано соответственно с однородностью пространства и изотропностью пространства (инвариантность относительно вращений пространства)» [13].

Эту роль симметрии доказывает теорема Эмми Нётер (1918 г., в этом направлении работали также Д. Гильберт и Ф. Клейн), которая утверждает, что каждой непрерывной симметрии физической системы соответствует закон сохранения:

- однородности времени соответствует закон сохранения энергии,
- однородности пространства соответствует закон сохранения импульса
- изотропии пространства соответствует закон сохранения момента импульса, и т.д.

Оказалось, что для структуры сетей закон сохранения обеспечивает не симметрия, а *двойственность*, как взаимное дополнение двух противоположностей, их соединение в чем-то общем. В данном случае это двойственные сети с одинаковым набором ветвей. Каждому контуру в одной сети соответствует разомкнутый путь в двойственной сети. И наоборот – каждому разомкнутому пути в одной сети соответствует замкнутый путь в двойственной сети.

Если в одной сети два узла сольются в один узел, то в двойственной сети непременно один узел расщелится на два узла. В одной сети возникает соединение, а другой сети ему соответствует разъединение. Математически это выражается в том, что сумма метрических тензоров двойственных сетей остается постоянной при любых изменениях (преобразованиях) структуры.

Как возникает метрика?

Понятие метрики в математике возникает из необходимости введения понятия расстояния. Определив пространство как набор точек с отношениями между ними, мы неявно полагаем, что эти точки отличаются друг от друга.

В 1923 году об этом писал А.А. Фридман. «Точки нашего (трехмерного) пространства обладают все свойством иметь определенное положение в пространстве, иначе говоря, могут отличаться друг от друга. Арифметизируем этот класс свойств, приписав каждой точке пространства определенную тройку чисел; каждой тройке чисел будет отвечать одна и только одна точка пространства. ...Арифметизация пространства не имеет ничего общего с ни с измерением, ни даже с оценкой, так мы не определяем, что означает понятие больше или меньше в приложении к положению точки в пространстве» [14].

Далее вводится метрика как дополнительное понятие. Двум любым точкам пространства сопоставляется особое число, называемое расстоянием этих точек. Это расстояние является функцией двух троек чисел (координат точек). Если такая функция установлена, то говорят, что метрика пространства определена. Таким образом, метрика – это расстояние между двумя равноправными, но различными точками.

В 1930 году Г. Вейль пишет «...я начну с определения вектора в пространстве, как упорядоченного набора n чисел...». Здесь не просто отвлеченный набор чисел, а геометрический объект, который не есть безликая точка. «Метрика вводится в аффинную геометрию посредством нового фундаментального понятия: *абсолютной величины вектора*», причем как квадрат величины вектора: через сумму квадратов его компонент. Таким образом, предполагается наличие координат, базиса, компонент.

Откуда берется квадрат величины? О. Веблен пишет, что расстояние – понятие, заимствуемое анализом из элементарной геометрии, равное корню квадратному из суммы его компонент [16, с. 29]. Это соответствует теореме Пифагора: гипотенуза равна корню квадратному из суммы квадратов катетов треугольника. Эти катеты, как в двумерном, так и в многомерном пространстве, и есть компоненты вектора, который представлен гипотенузой.

«Инвариантом называется объект любого сорта, который не изменяется при преобразованиях координат. Например, любая точка – инвариант, потому что преобразование меняет координаты, но не меняет точки». В примечании сказано следующее. «На языке аксиоматической теории не подлежащими определению элементами являются у нас: 1) класс объектов, называемых точками, и 2) класс взаимно однозначных соответствий между точками и упорядоченными системами n чисел, называемых системами координат; наше недоказываемое предложение состоит в том, что преобразования координат образуют группу» [17, с. 26].

Еще И. Кант заметил, что понятие расстояния не вытекает из отношений между точками. «Что прямая есть кратчайшая между двумя точками, – это понятие синтетическое, 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» [15]. Кант полагал, что все математические суждения синтетические.

Метрика и структура

В сети метрика определяет «расстояние» между сетями с разной структурой связей, что соответствует разным «точкам» в пространстве сети. Это пространство задает набор ветвей, каждая из которых определяет измерение. Переход к новой сети происходит через метрический тензор. Например, переход от сети из свободных, отдельных контуров к соединенной сети, где часть контуров разомкнута. При этом в двойственной сети происходит переход от свободных разомкнутых ветвей к соединенной сети, где часть разомкнутых путей замкнута, причем как раз те, которые в исходной сети стали разомкнутыми. Такой переход

достигается двукратным умножением метрического тензора, представленного матрицей сопротивлений (для разомкнутых путей – матрицей проводимостей) на матрицу преобразования путей, т.е. переход к координатам нового базиса путей.

Матрица преобразования выражает пути в новой сети через пути в старой сети. Обычно это переход от простейшей сети свободных, несоединенных ветвей к соединенным ветвям. Конечно, можно выразить пути в одной соединенной сети через пути в другой соединенной сети, использовать такую матрицу преобразования. Вместе с тем сложился переход между ними через простейшую сеть и ее матрицу преобразования.

Сеть представляет собой единое целое, состоящее из двух двойственных частей, где замкнутому пути в одной части соответствует разомкнутый путь в другой части, и наоборот. В каждой части число замкнутых и разомкнутых путей меняется при соединении и разделении узлов, т.е. изменении структуры, но сумма замкнутых и разомкнутых путей в двух двойственных сетях постоянная. Она равна числу ветвей; в двух частях это двойной набор ветвей.

В пространстве геометрии абсолютная величина вектора является инвариантом относительно выбора системы координат. Метрика выражает правило определения расстояния между двумя точками. Вектор есть отрезок (ветвь), определяемый двумя точками – своими концами. Точки – нульмерные объекты, а вектор – одномерный объект. Задавая вектор как множество точек, лежащих на линии, соединяющей две точки – границы – мы неявно полагаем, что эти составляющие вектор точки находятся на одной линии. Точки, не принадлежащие этой линии, не входят в состав вектора, сколь бы близко они не располагались около этой линии.

Это определение вектора в непрерывном и всюду плотном пространстве вполне соответствует определению ветви в пространстве структуры сети, которое по сути своей дискретно. Сеть существует вдоль своих ветвей и не существует вне этих ветвей.

Точки, составляющие линию вектора, расположены не на всякой линии, соединяющей границы, а на особенной – кратчайшей линии. В евклидовом пространстве это прямая линия, а в неевклидовом их называют иногда геодезическими. Нет оснований полагать, что кратчайшая линия составляет вектор, а ломаная, или волновая линия – не составляет. Мы вносим сюда наблюдение, предположение – т.е., как пишет Кант, синтезируем понятие прямого с понятием кратчайшего.

Далее измеряем линию (абсолютную величину) вектора в пространстве из точек и линий – как? Для этого выбираем систему координат, которая пролагает ось измерения по каждой из независимых размерностей пространства. Выбираем единицу измерения по

каждой оси. Определяем «проекции» – компоненты, соответствующие началу и концу вектора по каждой оси. Длина вектора по каждой оси равна разности между компонентами начала и конца в выбранных единицах измерения. Полная длина вектора равна, в соответствии с теоремой Пифагора, корню квадратному из суммы квадратов этих разностей, проекций на оси.

Если оси косоугольные, или криволинейные то длина вектора получается по аналогичной формуле, но как сумма произведений ковариантных и контравариантных компонент (проекций) по каждой оси.

В обычном пространстве оси координат открыты, они уходят на бесконечность. Но в проективной геометрии все прямые замкнуты на бесконечности «несобственной» точкой. Проективная прямая уходит в плюс бесконечность, замыкается там несобственной точкой, и возвращается из минус бесконечности (Мацуо Комацу. Многообразие геометрии, 1981, с. 64). Так все открытые прямые превращаются в замкнутые.

Каждая ветвь (в сети) есть измерение, а путь – ось координат в этом измерении. Отличие в том, что каждая ветвь бывает замкнутой или разомкнутой сама по себе, будучи свободной. Путь, связанный с нею, также – или замкнутый или разомкнутый.

В общем виде ветвь состоит из двух частей: одна замкнутая, другая разомкнутая; и они связаны в одном целом, хотя и не совсем понятно каким образом. Такая двойственность обеспечивает полноту, взаимное дополнение замкнутого и открытого в пространстве сети. Это и есть элементарная ячейка сети, ее «молекула», которая содержит в себе все свойства, присущие элементу. Понимание ветви как замкнутой и открытой частей вместе предлагал Х. Хэпп (Диакоптика и электрические цепи, 1974 г.), но тогда не рассматривались двойственные сети. Двойственная ветвь, состоящая из замкнутой и разомкнутой частей, как элемент сети, представлена автором [3, с. 106, рис. 2.2].

В пространстве сети есть два равноправных подпространства – замкнутых путей и разомкнутых путей. В каждом из них возникает своя метрика, связанная с переходом одной структуры сети, «точки» к другой структуре сети – другой «точке». Расстояние также связано с пропорцией между воздействием и откликом, выражая величину вектора в одном из подпространств сети.

Сетевые модели экономических систем

Для применения тензорного метода необходимо создать сетевую модель исследуемой предметной области. Проблема создания сетевых моделей сложных систем состоит в поиске аналогий между величинами сети и предметной области, и структуры, которая адекватно

представляет связи между элементами исследуемой системы. Строгих методов создания сетевой модели нет, в каждом случае это, как писал Крон, скорее искусство, чем наука.

Этим искусством займемся в следующей статье.

Литература

1. Петров А.Е. Тензорная методология в теории систем. — М.: Радио и связь, 1985. — 152 с.
2. Петров А.Е. Тензорный метод двойственных сетей // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. — М.: МИФИ, 1998. — 32 с.
3. Петров А.Е. Тензорный метод двойственных сетей. — М.: ООО ЦИТиП, 2007. — 496 с.
4. Петров А.Е. Тензорный метод двойственных сетей. Дополненное Интернет-издание (2009) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.uni-dubna.ru//images/data/gallery/70_971_tenzorny_method25_02.pdf, свободный. — 602 с.
5. Крон Г. Исследование сложных систем по частям — диакоптика. — М.: Наука, 1972. — 544 с.
6. Крон Г. Тензорный анализ сетей. Пер. с англ. / под ред. Л.Т. Кузина, П.Г. Кузнецова. — М.: Сов. Радио, 1978. — 720 с.
7. Петров А.Е. Тензорный метод двойственных сетей // Сб. трудов научно-технической конференции с международным участием «ТИПД – 2004». — Ижевск, 2005. — С. 109-128.
8. Попков В.В. Двойственность // Философские исследования: №3 (32), 2001. — С. 158-197.
10. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. Учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2001. — 327 с.: ил.
11. Большаков Б.Е., Шамаева Е.Ф. Мониторинг и оценка новаций: формализация задач в проектировании регионального устойчивого инновационного развития. — Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2012. — 219 с.
12. Кутергин В.А. Искусственные объекты и конструктивные процессы. Введение в методологию и теорию. — Ижевск: Изд-во ИПМ УрО РАН, 2007. — 551 с.
13. Щукарев А.Н. Опыт обоснования системы структурного реализма // Государственная библиотека СССР им. В.И. Ленина, музейное собрание, ф. 178, 1934, пост. № 11.
14. Менский М.Б. Законы сохранения. Большая советская энциклопедия. — М.: Советская энциклопедия, 1969-1978.
15. Фридман А.А. Мир как пространство и время. — М.: Наука, 1965. — 112 с.

16. Кант И. Прологомены ко всякой будущей метафизике, могущей появиться как наука // Сочинения. Т. 4, ч. 1. — М.: Мысль, 1965.
17. Веблен О., Уайтхед Дж. Основания дифференциальной геометрии. — М.: ГИИЛ, 1949. — 135 с.
18. Веблен О. Инварианты дифференциальных квадратичных форм. — М.: ГИИЛ, 1948. — 140 с.
19. Гареев Ф.А., Гареева Г.Ф. Концепция универсальности принципа резонансной синхронизации Гюйгенса, модель структурных особенностей молекул живых систем и новая интерпретация сверхпроводимости // Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, концепции / ред. М.М. Лаврентьев. — Новосибирск: Изд-во ИМ, 2001. — С. 161-192.