

**А.Каценелинбойген**

**К созданию унифицированной теории  
исследования больших нелинейных систем.**

Большие системы – это системы, в которых имеется большое число переменных и уравнений (неравенств), которые нельзя непосредственно охватить как целое, как скажем в статистически анализируемых системах. Большие системы– это системы, в которых отношения между большим числом имеющихся в них элементов настолько динамичны, что их исследование требует декомпозиции системы, ее разбиения на части (к примеру, это может выразиться в построении иерархической структуры системы), а затем «сшивки» этих частей в единое целое. Более того, большие системы можно считать сложными, если в них имеется многообразие условий и их исследование не удастся охватить одним методом. В частности, нелинейность и даже невыпуклость в феноменологическом представлении такого рода систем может быть следствием многообразия условий в ее подсистемах\*.

Такого рода требования, которые определяют большие сложные системы, характерны не только для социальных и биологических систем (и возможно также для физических систем на микроуровне), но и для создаваемых сейчас новых типов искусственных, т.е. инженерных систем. Последние могут стать в обозримом будущем столь изощренными, что будут включать даже управляющие объекты, поведение которых в некотором смысле подобно субъективному поведению человека, т.е. включать объекты, которые с одной стороны, имеют присущие им способности для выполнения различных операций, а с другой стороны имеют свою меняющуюся по мере накопления опыта особенную систему ценностей, необходимую для

---

\* Простейшим примером этого является система, нелинейное невыпуклое представление которой является следствием того, что в ней имеются подсистемы, в которых значения параметров меняются дискретным образом и подсистемы с непрерывно меняющимися значениями параметров

осуществления выбора из множества возможных действий по преобразованию входящих в систему ингредиентов.

В связи с данной выше характеристикой больших сложных систем их исследование требует нахождения методов их декомпозиции с учетом специфики требований к функционированию соответствующих подсистем, разработки многообразных методов функционирования этих подсистем и наконец выработку путей интегрирования этих подсистем в единую систему.

В имеющейся литературе исследуются преимущественно большие системы с однородными подсистемами. Найденные методы их исследования, к примеру, декомпозиционные методы типа метода Данцига-Вулфа или динамического программирования Беллмана или Понтрягина, представляют весьма важный класс таких единообразных методов. Не требует особого доказательства утверждение, что разработано огромное множество различного рода методов исследования применительно к отдельным типам подсистем.

Вместе с тем нам неизвестны попытки разработки типологии различных методов исследования отдельных подсистем, которые можно было бы затем унифицировать в единой системе функционирования большой сложной системы.

Цель настоящего исследования разработка теоретических принципов декомпозиции больших сложных систем и унифицированного подхода к синтезу ее подсистем. Основным средством для достижения поставленной цели является разработка нового метода исследования, который может быть назван потенцированием. Методологически такого рода исследование напоминает попытки физиков создать единую теорию поля путем уяснения единого корня, из которого выросло многообразие различных сил.\*

---

\* Согласно теории Биг Бенг гравитация явилась такого рода корнем и в процессе эволюции вселенной возникали три другие силы; электромагнитные, сильные и слабые взаимодействия. Возможно такого рода методология напоминает также попытки создания единой теории физиологического поля на основе изучения путей дифференциации исходной клетки и интеграции возникающих в процессе развития специализированных клеток.

Предлагаемый подход к исследованию больших и сложных систем является совершенно новым и поэтому пока могут быть высказаны лишь некоторые соображения в пользу его плодотворности.

В прилагаемой таблице дана типология методов функционирования больших сложных систем, которая унифицируется через метод потенцирования. Проще говоря, можно показать, что иные чем потенцирование методы функционирования подсистем являются проявлениями этого метода, его частными случаями (подобно тому как определенность является предельным вырожденным случаем вероятности).

Как видно из таблицы рассматриваемое многообразие методов исследования можно разбить на два больших класса: реактивные и селективные. Реактивные методы основаны на выявлении программ, которые являются повторением прошлых программ поведения. В свою очередь реактивные методы могут быть основаны на полном и неполном (частичном) установлении непосредственного соответствия между сложившейся ситуацией и аналогичными ситуациями в прошлом. К числу методов установления такого полного соответствия относится метод запоминания ситуаций, нашедший свое выражение даже в таких методах обучения как «изучение случаев».\* Неполное установление соответствия выражается преимущественно в отдельных эвристиках, в правилах «большого пальца», которые касаются лишь связей отдельных параметров подсистемы. В свою очередь эти правила могут касаться указаний, что надо делать и что не надо делать (т.е. создание области возможностей, в рамках которых любые действия допустимы).\*

При всей своей важности реактивные методы ограничены тем, что они могут лишь повторять ситуации в целом или иметь дело с изолированными связями

---

\* Здесь, в частности, возникают вопросы быстрого распознавания ситуации и методов запоминания действий, связанных с функционированием в данной ситуации.

\*\* В первом случае это напоминает юридическую доктрину, которая разрешает делать только то, что разрешено, во втором случае доктрину, которая разрешает делать все то, что не запрещено.

отдельных параметров. В противовес им селективные методы имеют дело с новыми ситуациями. Селективные методы являются более общими, так как они позволяют видеть при каких условиях верны реактивные, которые предстают таким образом частными случаями.\*\*

Селективные методы могут основываться, пользуясь терминологией Михаила Ботвинника (см. Ботвинник, М., 1979) на точных и неточных процедурах. Под точными, в отличие от неточных, понимаются процедуры, по отношению к которым доказана сходимость процесса. Далее специально будет оговариваться к какому из этих двух типов процедур относится рассматриваемая.

Селективные методы могут быть разбиты на два больших класса целостные и декомпозиционные. В связи с этим необходимо сделать замечание, касающееся уточнения используемых ниже системных понятий. Будем называть большую систему в целом надсистемой. Входящие непосредственно в нее подсистемы – системами. Термин подсистема будет относиться уже к частям таких систем.

Целостные методы основываются на поиске при охвате всей системы. Примером этому – методы линейного и нелинейного (в частности квадратичного) программирования, в центре которых стоит прямоугольная матрица коэффициентов всей задачи, где число столбцов превышает число строк) требуется отбросить некоторые столбцы матрицы и сделать матрицу квадратной, выполнив при этом некоторые условия.

Декомпозиционные методы могут в свою очередь делиться на параллельные, последовательные и параллельно-последовательные.

---

\*\*\* Здесь ситуация аналогична подходу к изучению жизни как отражению искусства, т.е. комбинации предлагаемые искусством могут быть самые разнообразные и среди них как частный случай может быть наблюдаемая жизненная ситуация. Такого рода замечание есть ни что иное как перефразировка известного афоризма Оскара Уайлда, что не искусство есть отражение жизни, а жизнь есть отражение искусства. Действительно, когда надо идентифицировать ситуацию, то на самом деле надо уметь строить гештальты и выяснять соответствие построенного гештальта ранее известному. Последнее в свою очередь требует выяснения критериев идентичности, т.е. критериев, которые позволяют считать, что отклонения соответствующих параметров идентифицируемой ситуации от сконструированной пренебрежимо малы и поэтому допустимо пользоваться прежней программой поведения в этой ситуации.

При параллельном методе система разбивается на подсистемы, которые, по определению, могут функционировать параллельно. Примерами такого рода точных методов являются методы, используемые в коллективном поведении автоматов без участия центра, которую начал разрабатывать Михаил Цейтлин. (См.Цейтлин,М.,1969).<sup>\*</sup> При последовательном методе функционирование системы организуется рекурсивным образом: решение задачи на одной ступени дает направляющую информацию для решения задачи на следующей ступени. Можно далее различать среди последовательных методы «идущие от конца» и методы «идущие от начала». К числу первых относятся, к примеру, точные методы, основанные на идеях динамического программирования или принципа максимума Понтрягина. Вторые сравнительно мало разработаны. Особо большой интерес заслуживает попытка Аткинса (Atkins,R.) построить точные методы функционирования при движении подсистем от «начала к концу», поскольку применяемые в этой области методы преимущественно неточные.

Примером параллельно-последовательных методов являются уже упомянутые выше блочные методы Данцига-Вулфа. Здесь наряду с последовательной выработкой «центром» управляющей информации для блоков и получением от блоков информации об их возможностях идет поиск оптимальных решений одновременно всеми блоками.

Между тем, учитывая эффективность декомпозиции систем (и даже ее неотвратимость в случае, если размер задачи больше возможностей средств по ее непосредственному целостному анализу) и вместе с тем ограниченность классов построения точных декомпозиционных методов, приходится развивать неточные декомпозиционные методы. Учитывая при этом преимущества и недостатки параллельных или последовательных путей поиска, желательно построение их комбинаций в виде параллельно-последовательных неточных методов. Эти

---

<sup>\*</sup> В СССР издательством «Наука» в 1983г. выпущена В.Варшавским и Д.Поспеловым книга, где под весьма интригующим названием, «Оркестр без дирижера», излагается в достаточно популярной форме проблематика коллективного поведения автоматов.

методы оказываются не только пригодными для более широкого класса ситуаций, но и требуют весьма сложного анализа и синтеза системы на совершенно иных принципах, чем это делается в точных методах. Один из таких новых принципов, как ниже будет показано, связан с введением нового класса расчлененных параметров для подсистем. Эти расчлененные параметры могут быть как новым типом двойственных переменных по отношению к имеющимся исходным переменным, либо совершенно новым типом как исходных, так и двойственных независимых переменных. Необходимость введения расчлененных параметров вызвано тем обстоятельством, что неточные методы являются программами, которые в определенной мере неполны и противоречивы. Вместе с тем точные методы за счет полноты и непротиворечивости позволяют исследовать систему с меньшим числом конденсированных параметров.

Ниже будет дано пояснение сказанного применительно к неточному параллельно-последовательному методу декомпозиционного исследования систем, который нами назван потенцированием.

Следуя системной методологии, рассмотрим процесс потенцирования одновременно с четырех разных аспектов функционального, структурного, процессуального (см. Gharajedaghi, J., 1985) и генетического.

С функциональной точки зрения задача потенцирования состоит в том, чтобы наращивать потенциал системы, т.е. повысить возможности системы для развития (для развития, а не только для выживания и даже роста) именно возможности, а не вероятности непосредственного достижения некоторой цели). Критерием измерения роста потенциала является рост бьютропии, которая в отличии от энтропии является функцией двух аргументов – разнообразия и порядка.\* Для того, чтобы выполнить эту общую функцию система должна развить по крайней мере следующие более

---

\* Данное представление о бьютропии опирается на работу Гаравджедахи, Д., в которой развитие рассматривается как функция от дифференциации и интеграции.

конкретные функции: индуцировать среду в заданном направлении, абсорбировать непредвиденные события в желательном направлении и уменьшать влияние непредвиденных событий, отрицательно воздействующих на выбранное направление.

Со структурной точки зрения потенцирование связано с введением четырех типов элементов для характеристики состояния подсистемы:

1) материальных объектов, каждый из которых характеризуется достаточным множеством аттрибутов, которые можно назвать также материальными параметрами, т.е. показателей, с помощью которых можно выделить объект (сделать его дискретным) в общем континуальном поле мироздания)

2) идеальных оценок (весов) каждого этих объектов, т.е. безусловных, неситуационных оценок)

3) новых независимых (контролируемых) переменных в виде параметров отношений между материальными объектами) параметры отношений в свою очередь состоят по крайней мере из трех типов параметров: структурных параметров (пропорций между значениями материальных объектов), функциональных параметров (они выражаются в лингвистических переменных, подобно принятым в теории размытых множеств) эти переменные можно уподобить фазовым переходам в изменении структурных параметров, поскольку им соответствуют определённые методы воздействия на материальные объекты) и конфигураций (пространственного расположения объектов) крайне важно заметить, что общее количество параметров отношений является бесконечным, поскольку неисчерпаемо множество ракурсов, с позиций которых можно исследовать взаимоотношения между материальными объектами)

4) нахождение оценок (весов) различного рода параметров отношений.

---

\*<sub>7</sub> Вообще нужно заметить, что предлагаемый нами метод потенцирования тяготеет к концепции размытых множеств, предложенный Зале,Л., 1965. Их прежде всего объединяет подход к поиску возможностей, а не вероятностей. См. Зале,Л.

С процессуальной точки зрения потенцирование связывается с синтезом всех указанных материальных параметров и параметров отношений. Собственно говоря, формирование столь развитой структуры параметров и направлено на то, чтобы интегрировать систему, связывать между собой (во времени и пространстве) различные подсистемы.

С генетической точки зрения потенцирование связано с введением иерархии порождающих метапрограмм. Программа, которая непосредственно характеризует поведение подсистемы, имеет порождающую ее программу; эта порождающая программа имеет в свою очередь свою порождающую программу и т.д. Глубина процесса потенцирования связана с тем, на каком уровне мета программ останавливается этот процесс; широта процесса потенцирования определяется мерой его полноты и непротиворечивости. Данная иерархия программ напоминает систему обучения и действительно с ней тесно связана в том смысле, что в результате обучения (на собственном опыте и «размышлениях», равно как на опыте и «размышлениях» других) программы данного уровня изменяют программы соседнего уровня. Между тем акцент в данной иерархии сделан на особенностях глубины и широты самих программ, выражающиеся в возможности построения точных или неточных методов решения.

Реализация метода потенцирования, с учетом сказанного, представляет собой причудливую смесь объективных и субъективных операций. Субъективность вытекает хотя бы уже из того факта, что, с одной стороны, не удается объективизировать все множество параметров отношений, которые необходимо учитывать при формировании потенциала, а также их оценки; с другой стороны, реализация потенциала зависит от характера и способностей исполнителя, его уверенности, что он сумеет реализовать потенциал в заранее неизвестном будущем, т.е. сумеет после того как будет сделано некоторое количество заранее неизвестных шагов найти способ резкого повышения числа и разнообразия конституирующих систему материальных объектов.



С учетом всего сказанного можно полагать, что рассмотренный метод потенцирования восходит к эстетическому методу, к попытке дать аналитическое представление холистическому эффекту эстетического воздействия. Правдоподобно, что требования предъявляемые к категории красоты и методы ее верификации напоминают то, что было выше сказано по поводу измерения потенциала. В этой связи представляет большой интерес работа выдающегося американского математика Д.Биркхофа, посвященная эстетическим измерениям. Структура рассматриваемых показателей потенциала весьма близка к совокупности показателей, рассматриваемых Биркхофом. Вместе с тем имеются и заметные различия в предлагаемом подходе, которые относятся не только к виду функции, синтезирующей эти показатели, но и к путям нахождения оценок отдельных параметров.

Итак, как-же соотносится метод потенцирования с другими методами исследования больших сложных систем.

Прежде всего по поводу их отношения к точным методам. В тех случаях, когда удается найти полную и непротиворечивую связь между элементами в программе функционирования системы, рассмотренный метод потенцирования сводится к точному методу. В этом случае нет надобности в построении идеальных оценок материальных параметров, нахождении параметров отношений как независимых переменных и их оценок. Все эти параметры заменяются совокупностью операций по преобразованию элементов и если это целесообразно, то с участием двойственных значений этих элементов, т.е. оценок, в которых содержится конденсированная информация о значении каждого отдельного материального параметра для развития системы в целом. Более того, если в точном алгоритме и фигурируют параметры отношений, то они не являются независимыми переменными: они могут быть использованы как ориентиры для поиска упрощенных постановок общей задачи, выделения в ней решающих областей. Такого рода процедуры можно назвать квазипотенцированием, поскольку в них явно присутствуют параметры

отношений, но в тоже время они не являются независимыми переменными, чьим численным значением можно непосредственно управлять.

Что касается параллельности и последовательности осуществляемых процедур, то метод потенцирования ничем не отличается от точных методов: этот метод также может основываться на иерархизации подсистемы, по отношению к которой будут как параллельные и последовательные процедуры, так и их комбинации.

Теперь по поводу отношения потенцирования к реактивным методам. Метапрограммы в случае невозможности или нецелесообразности формирования потенциала на всем множестве независимых переменных, могут находить значение отдельных параметров с помощью реактивных методов типа эвристик, указывающих что надо и что не надо делать. К примеру, эвристики, направленные на то, что не надо делать, являются по существу идеальными оценками материальных параметров в условиях, когда значение последних не только не дифференцируются, но считается, что эти значения сколь угодно одинаково большие для всех этих параметров и поэтому значение этих параметров не надо варьировать. Эвристики, направленные на то, что надо делать, отражают замену поиска потенциала, в котором совместно ищутся значения всех материальных параметров и параметров отношений как неизвестных величин, введением методов сепаратного нахождения значений отдельных материальных параметров или параметров отношений (преимущественно по прошлому опыту). Когда входные и выходные параметры системы и участвующие в ней технологии по их преобразованию регулярно повторяются и нет возможности изменить программу поведения системы в силу фиксации метапрограммы (или разрыва связей между иерархией программ, но при запоминании скажем программы поведения), то решение проблемы сведется к использованию целостного реактивного метода.

Суммируя сказанное, можно заметить, что намеченная программа работ является достаточно одиозной. Врядли можно с большой вероятностью ожидать ее полной

реализации и особенно в обозримое время. Тем не менее такая общая постановка вопроса позволяет вскрыть новые подходы к старым и новым типам больших сложных систем. Пусть малая толика обещанного будет выполнена, но она может стать важным шагом на новом пути исследования весьма интересного класса систем.

Таблица 1. Методы исследования больших систем

