

Кибернетика и вопросы методологии

Илья Новик

В статье разбираются вопросы оптимальной координации различных видов человеческой деятельности, характеризуется природа изофункционального подобия модели и оригинала, обсуждается проблема возможностей формализации критерия оптимизации.

В развитии современного научного познания все большую роль приобретает анализ методологических проблем. Сейчас, когда в связи с пятидесятилетней датой Великой Октябрьской социалистической революцией подводятся некоторые итоги и намечаются дальнейшие перспективы научного познания реальности, эти вопросы становятся особенно актуальными. Действительно, в условиях социалистического общества специальные науки получают наиболее плодотворную для их роста методологическую базу в виде мировоззрения и метода диалектического материализма.

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Современные достижения кибернетики дают мощное техническое средство для повышения эффективности всех форм управления в биологических, технических и социальных процессах. В силу этого союз творческого марксизма с кибернетикой играет важную роль в деле исторического прогресса в XX в.

Важнейший вклад кибернетики в научное познание связан, как известно, с тем, что она выработала объективные приемы относительно точного описания таких казавшихся ранее сугубо антропоморфными явлений как управление и информация. Это обстоятельство не только радикально расширило сферу человеческого познания, особенно сферу применимости точных количественных приемов анализа, но и имеет превостепенное практическое значение.

Для того чтобы разобраться в объективной природе управления, необходимо выяснить причины выдвижения на передний план в современном научном познании категории управления. Нам представляется, что прежде всего в факте

радикального усиления внимания науки к проблемам управления находит свое отображение значительное возрастание могущества самой человеческой деятельности. Действительно при современном состоянии техники человек оперирует все большими количествами вещества и энергии. Однако, как и прежде, человеческая деятельность дифференцирована на различные, часто весьма отдаленные, но тем не менее взаимосвязанные виды.

И чем масштабнее становится каждый вид деятельности в отдельности, тем более сложный характер приобретает задача стыковки их в единое успешно прогрессирующее целое в технологических и социальных процессах.

Так, например, все больший размах преобразования природной среды делает исключительно острой проблему учета отдаленных (как в пространстве, так и во времени) последствий масштабного вмешательства человека в природные процессы. Точно также растущие масштабы тех или иных производств ставят в повестку для вопросы более четкого координирования их взаимных влияний.

Наконец, всякого рода технико-экономические просчеты в силу самих больших масштабов операций становятся особенно нагубными. В силу такой опасности приходится учитывать, например, при разработке развития того или иного экономического района множество факторов.

Причем все эти факторы, влияющие на развитие технических и экономических процессов, должны быть учтены не только в качественном, но и в точном количественном плане. Таким образом, изменение масштабов технологических процессов (рост класса точности, скоростей и т.п.), резкое увеличение „параметроемкости“ технико-экономических процессов порождают объективную потребность в создании строгой теории управления, в создании средств, помогающих человеку вести процессы управления на основе точных расчетов, а не „вкусных“ решений.

При таком строгом подходе к управлению необходимо учесть его как *объективную* сторону, связанную с антиэнтропийными процессами, так и четко определить его так сказать *субъективную* сторону, связанную с реализацией некоторой, наилучшей в данных условия цели. Таким образом высшие формы человеческой деятельности (целеполагание и целереализация) превращаются в объект извлеченных от субъективистского произвола доказательных математических разработок.

Этот подход к управлению делает еще только первые шаги. Однако, его перспективность определяется самой логикой развития процессов управления.

Антисубъективистские строгие приемы анализа управления служат значительному повышению действительной (а не мнимой) мощи субъекта.

С эпохи первой промышленной революции основной вещественный элемент производительных сил — система машин — состоял из трех неотъемлемых элементов — энергетическое устройство, рабочий орган и передаточный механизм, связывающий первый и второй элементы. Четвертая структурная, составляющая машинного производства — блок управления — находилась

ранее в монополии рабочего, представляющего личный элемент общественных производительных сил.

Именно техническая потребность в механизации функции управления машинной индустрии, потребность в развитии автоматизации определила создание замкнутых кибернетических систем с обратной связью, в которых электронный блок управления посылает команды управляемой системе, со-размеряясь с информацией о фактическом исполнении своих предшествующих управляющих сигналов. Электронные кибернетические системы управления составляют важнейшую материальную базу всей научно-технической революции в целом. Прогресс химизации, радиотехники, современных форм массового производства в значительной мере определяется степенью развития автоматизации этих областей промышленности.

В свою очередь совершенство систем управления непосредственно зависит от успехов науки, в результате новые пути автоматического производства зарождаются в стенах исследовательских лабораторий. Именно определяющая роль естествознания в прогрессе производства составляет важнейшую черту современной научно-технической революции. Научные разработки очень быстро входят в самую производственную практику, повышая производительность труда.

Роль кибернетических принципов в современной промышленности наглядно видна при анализе трех стадий в усовершенствовании массового производства:

1. Поточная линия — функция исполнительного механизма жестко закреплена в структуре этого механизма. Для перехода на другую продукцию необходима перестройка всей линии станков, перестройка кинематической схемы, кулачковых, рычажных и зубчатых механизмов.

2. Копировальные системы — функция исполнительного механизма закреплена в устройстве модели. Менее жесткая связь функции и структуры — для перехода на другую продукцию необходимо заменить модель, по которой ходят специальные шупы, движения которых повторяет режущий инструмент.

3. Станок с программным управлением — численные данные о необходимом движении резца, фиксируются на специальной ленте и с помощью этой ленты вводятся в станок. Функция станка непосредственно жестко не определяется внутренним устройством самого станка, а зависит от программной ленты, введенной в блок управления станком. Для перехода на новый тип продукции достаточно сменить ленту, фиксирующую те цифры, которые характеризуют работу станка.

В блоке (узле) программы имеются специальные устройства, которые считывают программную ленту и передают информацию станку. В перспективе получают распространение еще более совершенные самопрограммирующиеся и самообучающиеся устройства, способные в зависимости от конкретной ситуации находить оптимальный технологический режим.

Современная научно-техническая революция вызывает коренные изменения в технологическом способе производства, то есть в способе объединения человека и техники и тем самым существенно влияет на экономические и социальные отношения.

Если первая промышленная революция была связана с появлением механизмов, машин, оборудования, заменивших в известной мере руки человека, то современная революция в технике позволяет поставить в центр индустрии автомат, осуществляющий производственные операции вообще без непосредственного участия человека. Производство материальных благ в результате наудотехнической революции может превратиться в полностью автоматизированное производство в масштабах всего общества. В этой второй промышленной революции, в отличие от первой, индустриализация начинает распространяться и на сельское хозяйство, которое становится сначала механизированным, а в дальнейшем должно стать и автоматизированным. Здесь же появляется и автоматизация жилищного строительства и труда в сфере бытового обслуживания. Вторая индустриальная революция, в отличие от первой, носит всемирный или, как говорят, глобальный характер, постепенно охватывает все новые страны и континенты.

Принципиальной чертой современных сдвигов в производстве является механизация и автоматизация не только физического, но и умственного труда, которым в наши дни занимаются все большие массы людей. Историческое значение кибернетики прежде всего в том и состоит, что она с помощью электронно-вычислительных машин вызвала подлинную революцию в умственном труде. Как пишет академик В. М. Глушков [1]: „Принципиально новый шаг был сделан в связи с созданием *универсальных электронных цифровых машин*. Как показал подробный анализ, эти машины, подробно мозгу, являются универсальными инструментами для информационного моделирования: на них (при условии наличия достаточного объема памяти) может быть реализована любая динамическая информационная модель. Не следует, конечно, думать, что строение современных электронных цифровых машин копирует строение человеческого мозга“.

Вопрос соотношения человеческого мозга и кибернетической машины мы коснемся несколько дальше, сейчас же подчеркнем, что, возникнув первоначально для целей рационализации вычислительных операций, электронные системы в дальнейшем со все возрастающим успехом применяются для решения все более сложных логических задач невычислительного характера (поиск оптимальной стратегии, доказательство теорем и тому подобные информационные процессы).

Исключительно велика роль электронных машин в разработке путей оптимального управления производством, для конструирования математических моделей все более сложных общественных явлений.

Все это имеет особое значение для социалистических стран, осуществляющих

экономические реформы, направленные на более полное использование объективных законов общества в интересах социального прогресса, в интересах всех трудящихся.

О ПРИРОДЕ КИБЕРНЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ЯВЛЕНИЯМ

Возникновение кибернетики, как известно, явилось одним из наиболее существенных выражений общей синтетической тенденции современного научного познания. В то же время расширение сферы применимости приемов и методов кибернетики и в первую очередь кибернетического моделирования ведет к дальнейшему усилению тенденции к синтезу научных дисциплин.

Таким образом, с усовершенствованием и расширением сферы применимости кибернетического подхода к явлениям связана одна из наиболее существенных перспектив прогресса науки. Этот подход тем более важен, что представляет собой один из важных элементов той научно-технической революции, которая все шире разворачивается на наших глазах. В силу этого философский анализ природы кибернетического подхода к явлениям имеет принципиальное значение для всей методологии современной науки.

Методологическая характеристика кибернетических моделей на базе диалектического материализма продолжает ту критику современных форм идеализма, которую осуществил Ленин в своей классической работе „Материализм и эмпириокритицизм“. Творческая диалектико-материалистическая позиция в анализе методологии кибернетики не только показывает несостоятельность обвинений кибернетического моделирования в идеализме, но и всесторонне обосновывает всю плодотворность этого научного приема для исследования сложных динамических систем. Точно также жизнь показала полную необоснованность попыток выдать метод кибернетических моделей за „современный механицизм“, как это например, пытался сделать западногерманский философ Э. Васмут в книге „Человек и думающая машина“ [2], изданной в Кёльне еще в начальный период развития кибернетики — в 1955 г.

Вполне понятно, что тенденция универсализации кибернетического моделирования в ее рациональном понимании не ведет к противопоставлению кибернетики материалистической диалектике. Кибернетика не создает никакой противостоящей диалектике методологии. Напротив, именно единство кибернетики с диалектикой позволяет раскрыть саму сущность метода кибернетических моделей, как и вообще всех специальных методов знания.

Как известно, по своему существу кибернетические модели носят функционально-формализованный характер, то есть они описывают функции (поведение) некоторой сложной системы в виде некоторого формализма, благодаря которому содержание исследуемой системы мы отображаем с помощью определенных фиксированных элементов формы.

При этом кибернетические модели, опираясь на функциональные зависимости „выхода“ и „входа“ системы (входно-выходной механизм) отвлекаются от характеристики внутренних причинно-следственных связей элементов самой моделируемой системы. Такой абстрактно обобщенный подход, естественно, универсализируется по широте охвата моделируемых явлений, но он, конечно, неуниверсален по глубине охвата исследуемых процессов и объектов.

Однако, в качестве первого подхода к анализу сложных динамических систем такой подход совершенно оправдан, он дает относительную объективную истину, которая может быть развита в ходе дальнейших разработок.

Важно подчеркнуть, что функциональный подход кибернетики не предполагает отрывать причинные связи от функциональных зависимостей-просто здесь идет речь о системах, настолько сложных, что в них функциональные взаимоотношения опираются на целый ансамбль сходных причинных структур.

Обобщенная характеристика предметов отвлекается в кибернетическом моделировании и от вещественных субстратов тех или иных систем. Тем самым достигается значительная широта охвата в одной модели целого класса разнородных по своим вещественным субстратам объектов-например, водопроводный кран, нейрон и диод выступают в качестве представителей класса функционально сходных предметов, действующих в известной аппроксимации по принципу „все или ничего“.

С учетом неизбежного при моделировании сложных динамических систем элемента разумной аппроксимации решается и вопрос о взаимоотношении кибернетической модели и моделируемого объекта. Это взаимоотношение может быть охарактеризовано на основе понятия *изофункционализма* как некоторого обобщения фундаментального понятия изоморфизма для случая функционального подобия модели и оригинала.

Еще одно существенное обобщение традиционных приемов познания в кибернетическом моделировании связано с самим характером формализации. Вследствие сложности объектов кибернетического моделирования в общем случае не удастся найти аналитическое решение задачи с достаточной степенью общности, и для новых явлений приходится искать новые формализмы. Выход из этой ситуации заключается в переходе от более частного аналитического описания к более общему алгоритмическому подходу. В таком случае формализованной моделью явления будет не обязательно некоторое уравнение, но алгоритм, описывающий последовательность операций в исследуемой системе.

Таким образом, аналитический подход обобщается в алгоритмическом способе описания явлений в кибернетике.

Специфические черты кибернетического моделирования находят свое весьма полное отображение в кибернетических моделях психических явлений.

В этом свете решается и вопрос о возможностях кибернетических машин в моделировании человеческого мышления и вообще психики.

В отличие от „классических“ машин, преобразующих вещество и энергию, кибернетические машины принимают, хранят и перерабатывают информацию. Первоначально электронные машины применялись для рационализации крайне важной операции счета, и в этом плане они явились как бы продолжением тех многочисленных приспособлений, которые применялись издавна людьми (счеты, арифмометр). Конечно, „электронный арифмометр“ оказался несоизмеримо производительнее, чем обычный арифмометр. Однако, на первых порах это различие представлялось лишь количественным.

Положение резко усложнилось в методологическом плане, когда машины стали решать задачи „невыхислительного типа“. Машины стали применяться для оптимизации различных технологических и экономических процессов, для доказательства логических теорем, для перевода с одного языка на другой и тому подобных операций, которые ранее представлялись монополией человека.

Современной науке неизвестны какие бы то ни было принципиальные границы, непреодолимые в кибернетическом моделировании психических явлений. Но из этого вовсе не следует, что человечеству грозят вытеснение „обществом машин“ и тому подобные пессимистическо-фантастические ситуации.

Как бы ни возрастала в будущем эффективность электронных машин (хотя здесь нельзя априори исключить возможные технические ограничения), последние останутся помощниками человека, вызывающими революцию в умственном труде.

Что же касается способностей машин, то они не имитируют мир, тождественный психике человека, а реализуют „мышление-подобные“ операции, иными словами машины „мыслят“ с точностью до изофункционализма.

В свете этих соотвжений можно методологически оценить значение кибернетического подхода к явлениям объективного мира.

Важнейший вклад кибернетики в прогресс научного познания и практики связан с разработкой обобщенного формализованного функционального подхода к явлениям, различных классов, причем к таким явлениям, которые прежде „побивали нас своей сложностью“, по выражению У. Эшби. Те сложные динамические системы, которые еще не полностью познаны в плане характеристики их внутренних причинных механизмов с помощью кибернетических моделей оказываются управляемыми.

В этой тактике управления еще не полностью познанными сложными системами заключена главная методологическая ценность кибернетического подхода к сложным динамическим системам.

ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ

Кибернетические модели выступают в практическом отношении в качестве моделей оптимизации моделируемых объектов. В силу этого выяснение специ-

фики кибернетических моделей перазрывно связано с особенностями современных задач оптимального управления.

В современной теории выделяют 2 типа задач оптимального управления. К 1-му типу относятся задачи программирования оптимальных траекторий. Траектория — это намеченная заранее программа поведения системы. Точно задавая начальные и конечные граничные условия, мы можем находить эту траекторию для определенной постановки задачи — можно, например, ставить задачу, чтобы заданного количества горючего хватило на максимально большой путь. Это будет траектория оптимального расхода горючего.

Сложнее обстоит дело с задачами оптимального управления 2-ого типа. В этих задачах заранее рассчитанная программа поведения автомата не реализуется из-за неточности определения начальных условий. Вследствие этого с течением времени фактическая траектория будет все больше и больше отличаться от заранее вычисленной (заданной).

В этом более сложном случае регулятор будет получать информацию о фактическом состоянии объекта и направлять управляющие воздействия на объект с тем, чтобы сгладить расхождение фактической траектории и вычисленной с тем, чтобы компенсировать возмущающие воздействия на систему. Причем задача заключается в том, чтобы отладить фактическую траекторию ценой минимальных затрат в регуляторе (ибо энергетические и информационные ресурсы регулятора конечны, ограничены).

К такому типу задач относится например задача оптимизации посадки самолета с помощью автопилота. Это задачи синтеза оптимальных регуляторов, синтеза программы и регулятора.

Интересно отметить, что еще в прошлом веке Жан Понселе предложил принцип компенсации, при котором возмущение на регулятор передавалось бы мгновенно, а на саму управляемую машину с запаздыванием. Тогда получалось бы жесткое предварение возмущения. Но эта идея осталась чисто умозрительной, поскольку технически не удавалось реализовать запаздывание силового воздействия на машину.

Выход в этой ситуации обнаруживается в соответствии с общей тенденцией науки XX в., связанной с возрастанием роли статистической закономерности.

Предсказание, по Н. Винеру, возможного силового воздействия на управляемую машину осуществляется не жестко, а статистически путем предварения сигнала об этом силовом воздействии в регуляторе. Таким образом вместо а) жесткого, б) силового предварения и компенсации возмущения в современном регуляторе осуществляется а) статистическое, б) сигнально-информационное управление сложной динамической системой.

В процессе управления сложно-динамическими системами осуществляется диалектический переход от жесткого процесса к статистическому процессу, при котором допускаются ошибки, погрешности.

Итак, 1-ая особенность управления высокоразвитыми сложными динамическими системами связана со статистичностью их поведения.

2-я определяющая особенность сложно-динамических систем заключается в том, что их поведение (а следовательно управление) зависит в общем случае от бесконечного числа параметров, связанных к тому же существенно нелинейными соотношениями.

Проводя философский анализ исключительно важной для теории сложно-динамических систем процедуры сведения задачи о функции с бесконечным числом параметров к случаю с конечным числом переменных, необходимо, на наш взгляд иметь в виду одно весьма существенное обстоятельство, на котором мы останавливались в предыдущем разделе. Дело в том, что процедуру замены бесконечной величины большой, но конечной величиной нельзя абсолютизировать, трактовать ее в духе прямолинейного буквального устранения бесконечного из познания. Бесконечное проявляется в процессе смены конечны величин и перехода от одной из них к другой. Приближенная замена бесконечного числа параметров конечным может, конечно, осуществляться в процессе развития познания и практики. Однако, эту замену никогда нельзя считать абсолютной, окончательной, навсегда устраняющей бесконечность из практики и познания. В этой операции имеются противоречивые, парадоксальные моменты. Парадоксальность ситуации со сложными динамическими системами выражается, хотя бы в том, что необходимо осуществлять регулирование системы с бесконечным, вообще говоря, числом параметров за счет конечных энергетических и информационных ресурсов.

Как уже отмечалось, парадоксы бесконечности применительно к сложно-динамическим системам находят свое разрешение в моделировании. В процессе кибернетического моделирования достигается определенное упрощение сложной динамической системы.

При этом система так преобразуется, что в ней большинство переменных делаются несущественными. С этой целью выделяют 2 этапа оперирования с такой функцией:

1. Сначала проводят учет существенных параметров системы.
2. Затем так перестраивают систему, что часть существенных параметров переводится в несущественные путем добавления к системе некоторых нейтрализующих параметров. От такого добавления система станет более громоздкой, но вместе с тем и более простой так как число существенных рабочих параметров уменьшится. Поскольку существенные и несущественные факторы соотносительны, нам представляется, что для сложных систем целесообразно ввести коэффициент управляемости, который будет характеризоваться не числом существенных параметров самих по себе, а отношением числа параметров, ставших несущественными в результате добавления к ним нейтрализующих параметров к числу параметров, ставших существенными после преобразования системы для потребностей данной задачи.

Вполне очевидно, что в зависимости от практики постановки конкретной задачи меняется соотношение чисел существенных и несущественных параметров и следовательно меняется величина коэффициента управляемости. Что приводит, в свою очередь, к диалектическому тезису: система плохо управляемая или неуправляемая в одной постановке задачи может быть хорошо управляемой в другой задаче. Можно полагать, что в конечном счете для любой сложной системы можно так оптимально подобрать или перестроить условия задачи, что она станет хорошо управляемой. Этот тезис служит конкретизацией центральной диалектико-материалистической идеи об отсутствии в перспективе принципиальных преград для моделирования и управления сложными динамическими системами любого типа. Всегда можно вычлениить то, что именно для данной задачи необходимо.

В фундаментальной работе И. М. Гельфанда и М. Л. Цетлина „О некоторых способах управления сложными системами“ [3] подчеркивается, что для сложных систем типичной является ситуация, когда сам способ описания данной системы диктуется формулировкой задачи, которая с помощью такого описания решается. В силу чего для решения задач о сложных системах имеет смысл говорить о качестве решения, о степени удовлетворительности. В отношении исследования сложных систем существенно, на наш взгляд, сформулировать методологическое положение: в этих исследованиях двумерность решения („задача решена или не решена“) недостаточна, необходимо учитывать многомерность решения и для ее характеристики вводить специальное понятие „мера“ решения задачи о сложнодинамической системе. Эта „мера“ решения непосредственно вытекает (является функцией) из диалектического комплекса практической потребности к практической возможности. Причем из этих 2-х противоречивых сторон практики как процесса практическая потребность играет побудительную двигательную роль, а практическая возможность — консервативную.

Практика в данных конкретный момент ее развития именно потому способна конструировать „меру“ решения задачи о сложной системе, что ею определяется и сама формулировка задачи и соответствующий этой формулировке критерий оптимальности. Не может быть оптимизации „вообще“, а возможна лишь оптимизация по отношению к некоторой обоснованной практической потребностью постановке задачи. Например, если решается технологическая задача получения некоторого продукта, то оптимальной будет стратегия, учитывающая максимально возможное число существенных параметров (и качество сырья, и дальность его перевозок, и квалификация рабочих, и производительность оборудования и др.). Исключительно существенным является, конечно, во всех оптимальных стратегиях фактор времени. В упоминавшейся работе И. М. Гельфанда и М. Л. Цетлина, справедливо, говорится, что сравнительно неточное, приближительное решение, получаемое быстро, может оказаться предпочтительнее чем точное, но запоздалое решение. Именно современные практические

и теоретические средства кибернетики позволили разрешить парадокс оптимизации, сформулированный в афоризме Ричардсона „Вычислить погоду на завтра можно точно, но для этого нужен месяц“. Как известно одно из центральных мест среди задач, решаемых с помощью принципа максимума Л. С. Понтрягина занимает специальный класс задач на преследование одним объектом другого (например ракетой самолета); в этих задачах достигается оптимизация быстрогодействия.

Подчеркнув определяющую роль практики в разделении переменных, перейдем к анализу некоторых гносеологических черт этого рода процессов. В этом плане прежде всего сделаем одно предварительное замечание. Как справедливо заметил У. Эшби, теория сложных систем „заключается в том, чтобы найти пути их спрощения“ [4].

Однако, мнение, что в теории управления задача о сложной системе сводится к задаче о простой системе, представляется нам слишком прямолинейным. Здесь, на наш взгляд, следует иметь в виду, что не говоря уже о том, что ничего абсолютно простого не существует, сама диалектика сложного и простого вне конкретных условий, определяемых к вонечному счету практикой, теряет всякий смысл. То, что можно принять за простое в одних условиях, будет сложным в других и наоборот. Поэтому, возможно, целесообразное в методологическом отношении сказать, что мы сводим в процессе управления задачу о весьма сложной системе к задаче о менее сложной системе. Здесь происходит как бы разбиение непрерывной в своей сложности системы на исходные „системные кванты“, а затем осуществляют переход от решения задачи для этих „системных квант“ к решению задачи для всей системы в целом. Ясно, что при решении этой же задачи на ином более глубоком уровне могут обнаруживаться системные „субкванты“ итд. Тенденция представления непрерывной системы в виде некоторой серии прерывных „системных квант“ идет в плане современного развития диалектики прерывного и непрерывного, в плане развития одной из центральных идей естествознания 20 века — идеи квантования.

Можно сделать вывод, что все рассмотренные специфические черты систем сложного динамизма находят свое концентрированное выражение в весьма важной в методологическом отношении особенност и практического подхода к этим системам.

Эта фундаментальная особенность заключается в том, что определяющим условием управления системами сложного динамизма служит разделение переменных на существенные и несущественные для данной задачи. Необходимость такого разделения определяется тем обстоятельством что вообще говоря, в системах сложного динамизма мы сталкиваемся с бесконечным множеством переменных, из которых необходимо выделить некоторую конечную часть.

При подходе к системам сложного динамизма мы сталкиваемся с дилеммой — в силу бесконечности числа переменных нам необходимо так много исходной информации, что конечный результат делается информационно

534 нерентабельным, а то и попросту нереализуемым. Но, как известно гордиев узел, к которому приводят построения „чистой“ теории, успешно разрубается практикой.

В тенденции и сама система и окружающая ее среда действительно бесконечны по числу переменных, но для каждой данной конкретной задачи мы можем считать их конечными, ибо для нас в данных условиях важно конечное число их существенных переменных. Мы судим о бесконечном мире на основании представлений о конечных автоматах. Так в известной модели управления М. Л. Цетлина система рассматривается в качестве конечного детерминированного автомата, а среда — в качестве конечного, но вероятностного автомата, генерирующего случайную помеху.

На основе практики ставится и важнейшая проблема уровня, на котором решается задача. Развитие практики предъявляет новые требования к уровню задачи. Чем больше условий мы учли, тем более глубоким и полным будет решение нашей проблемы. Например, учет влияния атмосферы на свободное падение тела существенно усложняет а в то же время углубляет решение данной проблемы.

Число учтенных параметров, необходимая мера их существенности для данной задачи, так сказать „параметроемкость“ решения определяются человеком на основе практической потребности. В зависимости от конкретных условий практики решения одной и той же задачи могут иметь большую или меньшую параметроемкость. Практика, развиваясь, определяет необходимость перехода от решения задачи на одном уровне (который ранее был достаточным) к более глубокому, более параметроемкому решению учитывающему и те параметры, которые ранее представлялись несущественными.

Вполне очевидно, что само разграничение переменных на существенные и несущественные, во первых, имеет смысл лишь для данной конкретной задачи, а не вообще и, во-вторых приобретает доказательную силу лишь на основе практики. Конечно, вообще говоря, нахождение в какой-то сложной системе параметра, подлежащего оптимизации можно поручить машине, но чтобы машина это поручение могла выполнить ей необходимо некоторым кодом сообщить, что человек ожидает от данного процесса управления. В конечном счете, поставщиком исходных критериев оптимизации для технических задач оказывается человек с его практическими потребностями.

Вполне понятно, что процесс автоматического управления сложными динамическими системами был бы неосуществим, если бы для данной задачи потребность человека нельзя было в какой-то мере формализовать, представить ее в виде формализованного критерия оптимизации. Этот критерий оптимизации связан с самой практической потребностью, ради которой решается данная задача. Вне критерия оптимальности обосновать выбор невозможно — подчеркивает А. А. Фельдбаум в работе Оптимизация в теории и технике автоматического управления [5]. Этот критерий оптимальности зависит как от

задающего воздействия X^* , так и от действительных значений X . Критерий оптимальности (Q) — это функционал от процесса X^* и некоторого процесса X , задающего воздействия

$$Q = Q(X; X^*).$$

Именно критерий оптимизации показывает и какие переменные существенны в данном процессе, и как они будут достигать экстремальное значение. Практическая потребность непосредственно входит в формализованный аппарат теории оптимизации. При этом функционал выступает в качестве некоторой формализованной модели данной конкретной практической потребности человека. Поэтому критерий оптимизации может быть назван „параметром конкретизации задачи“.

Теория функционалов, вариационное исчисление непосредственно внедряется в технику именно в нашу эпоху автоматического регулирования, хотя эта математическая теория существовала с конца XVII в. Именно современные системы автоматического управления, способные не только перерабатывать вещество и преобразовать энергию, но и учитывать информацию о самой потребности, ради которой затрачиваются вещество и энергия, нуждаются в более конкретной теории экстремальных процессов.

Чтобы охарактеризовать своеобразие современных задач вариационного исчисления, связанных с теорией оптимального управления, целесообразно кратко рассмотреть эволюцию математических воззрений на экстремальные процессы. Л. Эйлер [6] подчеркивал всеобщность экстремальных процессов писал, что „в мире не происходит ничего в чем не был бы виден смысл какого-нибудь максимума или минимума“.

Можно проследить возрастание роли параметра конкретизации в ходе развития математических теорий экстремальных процессов.

Как только математика начинает охватывать процессы оптимизации с того момента уже нельзя резко противопоставлять абстрактное и конкретное — потеряло всякую почву утверждение, что математические формулы выражают лишь идеальные абстракции, а не реальные движения со всем их многообразием. Формализованная модель становится не антиподом конкретного знания, а включает в себя во все большей мере элементы учета подробных условий реальных задач.

В этом процессе возрастание конкретности в математических моделях экстремальных процессов можно выделить 3 этапа:

1. Теория экстремумов математического анализа — ищется экстремум функций, что может служить абстрактным инструментом решения задачи оптимизации в общей простейшей форме (оптимизации по одному параметру, без учета других), без учета всего многообразия зависимостей динамической системы.

2. Вариационное исчисление — ищется экстремум функционалов, формируемых в зависимости от выделения того или иного параметра оптимизации системы с учетом ее других основных параметров.

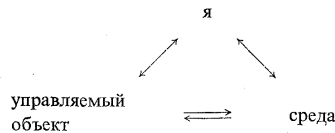
3. Математическая теория оптимальных процессов — ищется экстремум не только с учетом зависимостей внутри системы и практических потребностей ориентации на определенный оптимизируемый параметр, но и учитывается в более полной форме зависимость системы от среды. При этом полное учитывание именно объективные условия технической практики и полное раскрывается объективная природа процессов управления, отнюдь не определяемых субъективистским произволом управляющего оператора. В оптимизации управления решающая роль, конечно, принадлежит не самой по себе воле человека, а объективным законам природы, открыв которые человек может рассчитать способ их наилучшего сопряжения. Необходимо полное вычленять за антропоморфной-волевой субъективной формой управления его объективную антиэнтропийную природу как процесса приведения системы в состояние, при котором имеет место оптимальное для данной задачи сочетание действующих в ней объективных законов. Эта объективная природа управления вскрылась уже в первой задаче о брахистохроне, где требовалось наилучшим образом сочетать объективное движение под действием силы тяжести с быстроедействием. Само волевое усилие человека (которое, конечно, имеет место в управлении) будет иметь в процессах управления реальный смысл, т. е., будет реализовываться лишь в том случае, если этот волевой акт отражает объективные законы, действующие в данной динамической системе и ее среде.

Человек, хотя он создает динамические системы управления и активно изменяет среду в некотором смысле выступает в качестве дополнительного регулятора управления (устраняемого в ряде задач, почему и возможна автоматизация функции управления). Человек, участвуя в управлении, выступает в качестве как бы арбитра, регулирующего соотношение системы и среды. (Например, в случае, когда шофер ведет машину по неровной извилистой дороге, его главная задача состоит в том, чтобы уравновесить машину на меняющейся дороге и не свалить ее в кювет.)

В силу этого более полная схема участия человека в управлении выглядит не так:

управляемый объект $\rightleftharpoons$ я,

а вот таким образом:



Именно поэтому успешность управляющей деятельности зависит в существенной мере от того насколько полно в математической модели будут отражены конкретные объективные условия данной технико-практической задачи. Как уже отмечалось, принципиальным достоинством математической теории оптимальный процесс является именно более конкретный учет объективных условий управления.

Мы видим в математической модели оптимизации важное проявление общей закономерности процесса познания — восхождение от абстрактного к конкретному. Сами формализованные модели, учитывая все больше требований практики, приобретая более конкретный характер, становятся моделями все большего числа измерений, все более многомерными. Таким образом формализованный аппарат логики систем сложного динамизма (логики автоматов) живет в своем развитии на важнейшей диалектической идее конкретности истины, определяемой практической потребностью.

Здесь мы подходим к характеристике коренной особенности логики автоматов.

В процессе развития математической и кибернетической теории оптимального управления в технике практическая потребность все полнее и непосредственнее входит в формализованный аппарат модели оптимизации.

Однако, несмотря на значительные успехи, достигнутые в теории оптимальных процессов, научное познание находится здесь по видимому еще в самом начале пути. Еще не создана общая аналитическая теория, которая бы охватывала и сложные случаи управления и была бы в достаточной мере практически применимой. Во многих задачах синтез программы и регулятора осуществляется для каждого отдельного случая по новому. Часто в сложных проблемах управления приходится прибегать к интуитивным соображениям из-за отсутствия аналитического решения проблемы. Недостатком многих методов в теории регулирования является то, что „они принципиально позволяют получить каждый раз только одно решение, а для нахождения другого частного решения все вычисления необходимо производить заново“ [7]. Сплошь и рядом аналитическое решение задачи осуществляется при таких сильных упрощающих допущениях, что нарушается „мера аппроксимации“, — практическая применимость такого решения резко снижается.

Можно сказать в заключение, что один из существенных корней нецелесообразности современной теории оптимизации заключен по видимому, в неспособности ее с достаточной полнотой учесть в формализме саму потребность.

Вполне понятно, что этот недостаток по мере разработки все более совершенных формализмов в теории оптимизации постепенно преодолевается. Однако, хотя критерий оптимизации для всякой задачи в конечном счете может быть обнаружен, тем не менее, по нашему мнению в полностью комплексной форме он не может быть до конца формализован.

Это обстоятельство объясняется не только тем, что каждый данный формализм всегда ограничен, но главным образом тем, что для углубления процесса оптимизации необходим учет ее содержательной стороны в максимально конкретной форме.

В силу этого для создания более совершенной теории оптимизации, более полно учитывающей целевой фактор в управлении сложными системами, необходимо все большее сближение в рамках единой *оптимологии* кибернетики организационно-функциональных связей и „физики“ внутренних содержательных процессов, протекающих в сложных динамических системах, во всей их специфичности.

(Поступило 19. июня 1967 г.)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. М. Глушков: Вопросы философии (1963), 10, стр. 14.
- [2] E. Wasmuth: Der Mensch und die Denkmachine. Köln—Olten 1955.
- [3] И. М. Гельфанд, М. Л. Цетлин: О некоторых способах управления сложными системами. Успехи матем. наук XVII (1962), 1.
- [4] У. Эшби: Системы и информация. Вопросы философии (1964), 3, стр. 74.
- [5] А. А. Фельдбаум: Оптимизация в теории и технике автоматического управления. Электричество (1962), 1, стр. 39.
- [6] Л. Эйлер: Метод нахождения кривых линий, обладающих свойствами максимума либо минимума или решение изопериметрической задачи. М.—Л. 1934, стр. 447.
- [7] Основы автоматического регулирования, Том 1. М. 1954, стр. 707—708.

VÝTAH

Kybernetika a metodologické otázky

ILJA NOVİK

V článku se kybernetika chápe jako technický prostředek umožňující efektivněji realizovat cíle společenského pokroku.

Při gnoseologické charakteristice kybernetického modelování se navrhuje zobecnit ideu izomorfismu na základě představ o *izofunkcionalismu*. Vyvozuje se statistická závislost příčinných struktur, vazeb elementů uvnitř systému a funkcionální vazby systému jakožto celku a určitého fragmentu prostředí. Přitom se ukazuje objektivní povaha funkcionálních vazeb a metodologická plodnost funkcionálního modelování složitých dynamických systémů.

Kybernetické modely složitých systémů se charakterizují jako modely optimalizace složitých systémů. Přitom se proces optimalizace uvažuje jako proces obsahový,

pragmatický, ne zcela formalizovatelný. Dochází se k závěru, že nejzávažnější obtíž teorie optimalizace souvisí s problémem nevýznačné přesné formalizace kritéria optimalizace. Uvádějí se tři etapy ve vývoji prostředků formalizace procesu optimalizace:

- a) teorie extrémů v matematické analýze,
- b) teorie funkcionalů ve variačním počtu,
- c) neklasická teorie extrémálních procesů (typu principu maxima L. S. Pontrjagina a jeho školy).

Nicméně proces formalizace zřejmě nemůže — bez ohledu na svůj progresivní vývoj — vést k úplné formalizaci kritéria optimalizace a proto vzrůstá role subjektivního faktoru v kybernetickém modelování.

Илья Новик, доктор философских наук, Академия Наук СССР, Ленинский пр. 14, Москва, СССР.