

О методах адаптивного управления в переходной экономике*

© К.А.Багриновский, 1999

В ходе реализации экономического процесса, происходящего в условиях неопределенности, обычно меняются параметры объектов-участников процесса и характеристик окружающей их среды. Поэтому алгоритм работы регулятора должен сам изменяться в ходе процесса, адаптируясь к изменениям таким образом, чтобы качество работы системы в целом удовлетворяло определенным критериям.

В предлагаемой статье в качестве основы реализации таких адаптивных регуляторов экономических процессов рассматривается способность их участников к самоорганизации, которая выражается прежде всего в стремлении группироваться вокруг наиболее выгодных (перспективных) направлений хозяйственной деятельности, изменяя тем самым параметры естественных регуляторов обратной связи. Немалую роль в способности к самоорганизации играет разнообразие институциональных и организационных форм взаимодействия экономических контрагентов, а также некоторая неясность и расплывчатость норм хозяйственного права.

При изучении и реализации многих динамических процессов к подсистеме управления (устройству, органу или лицу, принимающему решение) предъявляется требование эффективной работы в самых различных условиях, в том числе в обстановке неопределенности. Диапазон доступных знаний может простираться от весьма хорошей информированности до полного незна-

ния окружающей обстановки. Надежда на принятие рационального решения в подобной ситуации может быть связана с тем, что в ходе самого процесса в подсистему управления поступает дополнительная информация о реакции окружающей среды на принимаемые решения (Беллман, 1964).

Накопление и обработка этих данных могут быть осуществлены как автоматиче-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект 99-02-00016а)

ски, так и при помощи специальным образом организованного наблюдения (мониторинга), которое встраивается в подсистему управления. Благодаря этому и она, и сам объект преобразуют свои характеристики, приспособляясь (адаптируясь) к внешним условиям. Если в ходе данного процесса только меняются значения параметров подсистемы, то ее называют самонастраивающейся, а если в ней появляются новые элементы (в устройстве – блоки, в органе – структурные подразделения) или уничтожаются старые, то – самоорганизующейся.

В общем смысле целью адаптивного управления является обеспечение способности объекта эффективно функционировать в постоянно возникающих новых ситуациях.

Экономическая система, которая вкладывает мало усилий в собственное развитие, практически неизбежно оказывается в так называемом состоянии низкоуровневого равновесия, которое характеризуется тем, что большая часть производимой продукции расходуется на внутреннее потребление, оплату долгов и процентов по ним. При этом внутренний спрос в основном удовлетворяется, чем и достигается некоторое состояние равновесия, которое с формальной точки зрения статически достаточно устойчиво, поскольку оказывается практически безрисковым.

Однако такая система не может сохранить свое положение (рейтинговую позицию) среди аналогичных структур в динамическом аспекте, поскольку среди них всегда находятся такие, которые уделяют внимание развитию, благодаря чему улучшают многие свои характеристики и выходят на более высокие уровни экономического равновесия.

В этом соревновательном процессе в настоящее время важную роль играет повышение эффективности производства благодаря использованию наукоемких ресурсосберегающих технологий, применению новых видов конкурентных преимуществ, таких, как компьютерные информационные сети.

При этом непреложным фактом следует считать, что всякая попытка выхода из состояния низкоуровневого равновесия связана с необходимостью усиления динамической составляющей в хозяйственной деятельности, что в свою очередь приводит к требованию работы в условиях неопределенности. В самом деле, стремление к развитию означает, что весомые доли производимого продукта и полученного от его реализации дохода должны быть израсходованы на то, что не скоро даст результаты, да и эффективность такого вложения может быть оценена только в будущем. Имеются в виду, в первую очередь, затраты на поддержание и модернизацию существующих основных производственных фондов (активов), на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области создания новых технологий и новых видов оборудования, а также на приобретение патентов и лицензий на производство наукоемкой продукции внешнего происхождения. В области создания и развития базы для новых технологий должна быть предусмотрена и подсистема экономических методов стимулирования ресурсосбережения, что также способствует увеличению расходов динамического характера.

Таким образом, развитие экономической системы, как правило, требует отвлечения немалых средств на инвестиции, неизбежно обуславливает усиление неопреде-

ленности в реализации принимаемых решений и увеличение меры риска в достижении намеченных результатов. В связи с этим встает вопрос о страховании (хеджировании) данных операций и способах его осуществления.

На мой взгляд, здесь следует исходить из того, что всякая динамично развивающаяся система является структурой с обратной связью. В технических терминах это означает, что в ней помимо исполнительного ядра (собственно процесса производства) и управляющего устройства существует механизм обратной связи. Назначение данного элемента в том, чтобы на основе измерения получаемых результатов и их сравнения с планируемыми вырабатывать определенные рекомендации для базового устройства управления.

В экономических приложениях получаемая таким образом информация относится в большинстве случаев к области стратегических и тактических решений в сфере расходов на прямые инвестиции в активы, на финансирование мероприятий по стимулированию научно-технического прогресса, в особенности на разработку и освоение новых технологий и проведение ресурсосберегающих акций. Кроме того, устройство обратной связи позволяет получать постоянную информацию об эффективности принимаемых решений и оценку возможных вариантов их изменения.

Обычно устройство обратной связи называется регулятором, совокупность управляемого объекта, устройства управления прямой связи и регулятора – основным контуром управления, процесс управления с помощью обратной связи – алгоритмом работы регулятора (или алгоритмом регулятора).

Наиболее распространенным способом использования информации в цепи обратной связи является схема жесткого управления, в которой рекомендации по изменению решений прямо связаны с отклонениями фактических результатов от планируемых при помощи фиксированных коэффициентов (параметров обратной связи). Применение данной схемы оказывается достаточно эффективным, если состояние внешней среды (рынков труда, сырья и материалов, сбыта продукции и т. п.), а также самого объекта остаются стабильными или сравнительно мало и предсказуемо изменяются, т. е. обстановка является достаточно определенной.

Однако, очень часто характеристики окружающей среды или самого объекта являются недостаточно точно предсказуемыми и возникает ситуация неопределенности. Это случается, например, когда предложение товаров или спрос сильно колеблется, скажем, под воздействием конкурентов или вследствие форс-мажорных обстоятельств (изменения мировых цен, ужесточения или ослабления экспортных или импортных правил и т. п.).

С точки зрения теории управления это означает, что параметры объекта и окружающей среды будут изменяться в ходе процесса управления, поэтому устройство управления (УУ) должно быть в состоянии решать три задачи:

проводить мониторинг объекта с целью идентификации (определения) меняющихся значений его параметров,

осуществлять синтез алгоритма работы регулятора (синтез регулятора) при известных значениях параметров с целью обеспечить требуемое качество деятельности системы,

конструировать регулятор, реализующий синтезированный алгоритм.

Данные задачи должны выполняться автоматически, без участия человека. Другими словами, если параметры объекта заранее неизвестны, но постоянны, они (задачи) реализуются еще на стадии проектирования, а если его характеристики варьируются во времени, они должны решаться в естественных для него (объекта) условиях и ритме деятельности. Это означает, что алгоритм регулятора должен сам трансформироваться в процессе функционирования системы, приспособливаясь (самонастраиваясь, адаптируясь) за достаточно короткое время к изменяющейся среде и параметрам объекта так, чтобы качество работы последнего оставалось неизменным.

Для иллюстрации приведенных положений рассмотрим пример.

Пусть в некоторый период t система имеет следующие характеристики:

K_t – стоимость производственных фондов,

x_t – валовая выручка,

I_t – инвестиции в основной капитал.

В качестве основных соотношений динамики системы примем:

$$x_t = f K_t, \quad (1)$$

где f – коэффициент фондоотдачи;

$$K_t = (1 - m) K_{t-1} + I_t, \quad (2)$$

где m – коэффициент выбытия фондов.

Здесь I_t – управляющее воздействие, влияющее на ход процесса (т.е. алгоритм регулятора).

Предположим, что целью управления является поддержание постоянной величины валовой выручки на заданном уровне h .

Тогда в обстановке полной определенности, т.е. при известных значениях параметров f и m , алгоритм работы регулятора имеет вид:

$$I_t = f^{-1}(h - f(1 - m)K_{t-1}). \quad (3)$$

При этом если в технических системах необходимое количество управляющего фактора поступает из запаса автоматически, то в экономических данная операция требует либо специальных решений на уровне соответствующих инстанций, либо разработки и осуществления мер по привлечению средств.

В хозяйственной практике многие факторы, от которых зависят параметры f и m , либо недоступны для прямого измерения, либо могут варьироваться во времени неизвестным образом (так, фондоотдача может измениться при переходе на новое оборудование). Поэтому следует считать, что управление происходит в условиях неопределенности, и алгоритмом (3) с фиксированными параметрами нельзя пользоваться во избежание грубых ошибок в результатах. Его применение особенно недопустимо, когда рассматриваемый объект является звеном в некоторой производственной цепочке.

Для того чтобы учесть неопределенность, используются специальные методы оценки параметров, основанные на сравнении фактических и планируемых результатов работы объекта.

В основном применяются две группы методов:

идентификация параметров при помощи прямого наблюдения за деятельностью объекта, сбор и накопление данных и последующая разработка системы регресси-

онных уравнений для определения новых значений параметров;

прямые методы адаптивного управления, предназначенные для изменения характеристик самого алгоритма управления в зависимости от текущего значения некоторого критерия качества работы объекта.

Примем следующее определение (Саридис, 1980): процесс управления называется самоорганизующимся, если уменьшение априорных неопределенностей, приводящее к эффективному управлению, достигается за счет информации, получаемой в ходе процесса управления из последовательных наблюдений доступных входных и выходных сигналов.

Самоорганизация достигается:

снижением степени неопределенности описания динамики объекта (самоорганизующийся процесс параметрической адаптацией),

уменьшением неопределенности, непосредственно связанным с улучшением качества системы (функционально-адаптивный самоорганизующийся процесс). При этом получаемая от объекта управления информация используется непосредственно управляющим устройством и соответствующим блоком оценки качества работы.

Рассмотрим процесс самонастройки на представленном выше примере (см. (1)-(3)). Преобразуя формулу (3), получим для управляющего воздействия следующее выражение:

$$I_t = f^{-1}h - (1-m)K_{t-1} . \quad (4)$$

Далее будем исходить из того, что величины x , K и I во все моменты времени доступны для измерения и параметры (коэффициенты закона управления) определяют-

ся при помощи измерения входных и выходных величин, а также путем использования основного уравнения поведения системы (1), которое примет вид:

$$x_t = f(1-m)K_{t-1} + f I_t . \quad (5)$$

Для разработки идентификационного алгоритма адаптивного управления введем обозначения:

$$a_1 = f(1-m), \quad a_2 = f$$

и запишем алгоритм управления (4) как функцию неопределенных параметров:

$$I_t = a_2^{-1}h - a_2^{-1}a_1K_{t-1} . \quad (6)$$

Измеряя величины x , K и I при $t = 0, 1, 2$ получим систему уравнений для нахождения значений параметров:

$$\begin{aligned} x_1 &= a_1K_0 + a_2I_1 , \\ x_2 &= a_1K_1 + a_2I_2 . \end{aligned} \quad (7)$$

Определенные таким образом значения (a_1, a_2) подставляются в формулу (6), и тем самым задается закон адаптивного управления с учетом реальных условий.

Необходимо отметить, что при решении конкретных задач следует учитывать возможность появления ограничителей, поскольку даже при малых вариациях параметров системы могут существенно измениться значения управляющих воздействий.

Проиллюстрирую данное замечание для рассматриваемого примера на конкретных числах – скажем, $K_0 = 500$, $f = 0,4$, $m = 0,05$, $h = 220$. Здесь при уменьшении

фондоотдачи f на 5% управляющее воздействие I (поток капиталовложений) следует увеличить на 38,5%, что, конечно, представляет собой непростую задачу.

Прямой алгоритм адаптивного управления предназначен для непосредственного изменения параметров в ходе процесса в зависимости от текущего значения критерия качества работы системы.

Пусть, по-прежнему, уравнение регулятора имеет вид (3), но для удобства дальнейшего изложения запишем его в следующей форме:

$$I_t = b_{1t}h + b_{2t}K_{t-1} \quad (t = 0, 1, 2, \dots), \quad (8)$$

где b_{jt} – настраиваемые параметры.

Для нахождения закона изменения этих параметров введем критерий качества в виде функционала (Александров, 1989):

$$J_t = (x_t - h)^2 \quad (9)$$

и определим цель управления как его минимизацию на каждом шаге t .

Для решения этой задачи используем метод движения по антиградиенту в пространстве параметров b_1, b_2 . Применительно к такой ситуации выражение (9) имеет вид:

$$J_t = [a_1K_{t-1} + a_2(b_{1t}h + b_{2t}K_{t-1}) - h]^2 \quad (10).$$

Используя частные производные функционала по параметрам b_1 и b_2 , получим алгоритм настройки в форме:

$$\begin{aligned} b_{1,t+1} &= b_{1t} - 2d_t a_2 h (x_t - h) \\ b_{2,t+1} &= b_{2t} - 2d_t a_2 K_{t-1} (x_t - h), \end{aligned} \quad (11)$$

где d_t – коэффициент пропорциональности, шаг расчета.

При достаточно правильном выборе шага и $t \rightarrow \infty \lim J_t = 0$.

Таким образом, работа регулятора включает расчеты по формулам (8), (9), (10) и (11).

Если имеются помехи в измерении x_t , то требование стремления J_t к 0 можно ослабить, а цель управления сформулировать как $\lim J_t < \Delta$, где $\Delta > 0$ – достаточно малое число, согласованное с уровнем помех. Если помехи имеют стохастический характер, то цель управления задается в среднем $M[J_t] < \Delta$, т. е. как математическое ожидание.

В настоящее время наиболее актуальной для экономики России является проблема разработки и освоения наукоемких ресурсосберегающих технологий. Экономический механизм решения этой проблемы может быть представлен в виде адаптивной системы, работающей в условиях неопределенности.

Основное управляющее устройство осуществляет следующие действия:

а) предварительную оценку экономической эффективности предлагаемой ресурсосберегающей технологии;

б) оценку емкости рынка предлагаемой технологии;

в) уточненную оценку экономической эффективности с учетом локальных методов стимулирования;

г) системную (синергическую) оценку эффективности на рассматриваемом рынке.

Управляющее устройство обратной связи (регулятор) проводит сравнение расчетных оценок и следствий из них с реальными данными о спросе на рынке технологий и тем самым дает информацию о возможных финансовых поступлениях, кото-

рые может использовать основной блок.

Таким образом, регулятор преобразует цель управления (внедрение ресурсосберегающих технологий) в воздействие на «рабочий механизм» требований рынка в области конкретного улучшения (изменения) технологий. Его параметры зависят от многих факторов, различных требований и условий рынка. Регулятор как бы отражает влияние рынка на «производство» технологий, чтобы применение (положение) данной технологии (направления ресурсосбережения) осталось неизменным или улучшалось.

Так, если цены на топливо (нефть) высоки, то образуется большой спрос на нефтесберегающие технологии и финансирование разработок в этом направлении идет успешно. Однако если топливо дешевеет и нефтесбережение перестает быть актуальным для потребителей, тогда надо поддерживать ресурсосберегающие технологии налоговыми льготами.

Таким образом, сила влияния рыночных и прочих условий внешней среды выражается через параметры регулятора обратной связи, которые не являются постоянными, а сами меняются в ходе процесса внедрения и взаимодействия с рынком. Основная цель регулятора в данном случае состоит в том, чтобы поддерживать технологический прогресс в направлении ресурсосбережения.

Следует иметь в виду, что рынок в любой момент по тем или иным видам ресурсов может предъявить самые различные требования (по их сбережению или расходованию). Поэтому управление процессом должно быть в значительной мере автоматическим, а параметры регулятора должны рассчитываться при помощи адаптора.

Естественно, что в конкретных проектах по управлению технологическим прогрессом могут быть использованы как представленные выше алгоритмы параметрической или функциональной адаптации, так и другие аналогичные алгоритмы адаптивного управления.

Поскольку в экономической динамике производятся в основном качественные измерения, а информация поступает в весьма агрегированной форме (например, данные о курсах акций, о движении цен на различных рынках и т. п.), то здесь может оказаться эффективным применение в системе адаптивного управления так называемых встроенных регуляторов (Багриновский, 1993), к числу которых относятся:

- а) снижение процентной ставки по банковским кредитам при необходимости дополнительного прироста инвестиций,
- б) снижение налоговой ставки на добавленную стоимость (НДС) в случае потребности в дополнительных поставках сырья и материалов,
- в) повышение НДС на товары, пользующиеся высоким спросом,
- г) дополнительная эмиссия акций на уровне предприятия (фирмы) при нехватке капиталов,
- д) снижение выплат по акциям и т. п.

Создание механизмов, позволяющих вырабатывать управляющие воздействия, которые соответствуют новым значениям параметров, дает возможность сопрягать работу встроенных регуляторов с использованием имеющихся резервов и запасов при реализации управленческих решений. Для этого должно быть организовано постоянное наблюдение (мониторинг) процесса регулирования и подготовлена работа адаптора.

а) сформирован комплекс регрессионных моделей для параметрической адаптации,

б) создана методика прямого расчета управляющих воздействий, исходя из минимизации текущего отклонения от заданного или рассчитанного заранее с помощью эталонной модели значения выходного сигнала.

Еще раз напомним, что даже небольшие отклонения в параметрах могут привести к значительным изменениям в объемах управляющих воздействий, так как обычно наблюдается большая чувствительность управления по отношению к вариациям параметров объекта.

Однако в экономических процессах реакция на отклонение бывает как правило очень замедленной и растягивается на долгое время (если вообще произойдет). Здесь существенную роль должны сыграть естественные рыночные процессы:

а) выгодное производство или направление капиталовложений привлекает инвесторов,

б) конкуренция снижает прибыльность, что заставляет искать новые выгодные направления приложения капиталов.

В достаточно общем смысле это и есть процесс адаптации фирм и капиталов к меняющейся обстановке.

Адаптивный регулятор возникает всегда, когда нужно строго держать значение выходной величины, а условия внешней среды непредсказуемы. В этом случае в цепи обратной связи, как правило, возникают запаздывания по времени, которые в технических устройствах моделируются при помощи инерционных звеньев. Сам процесс достижения запланированного выходного сигнала носит характер асимптотического

приближения и растягивается во времени.

Этот феномен имеет место и в экономическом регулировании, поскольку всякого рода заимствования, специальные льготы, налоговые скидки, способы материального поощрения и другие методы стимулирования инвестиций требуют для своего осуществления определенного времени. Таким образом, происходит изменение параметров в экономической системе управления с обратной связью и, как результат, возникают запаздывания на выходе.

В частности, при внедрении прогрессивных технологий предполагается, что объект имеет определенный набор таких технологий, готовых для внедрения, и выбор одной из них зависит от параметров внешней среды (цен ресурсов). Если эти параметры меняются, то меняется и выбор. Поэтому в системе управления возникают временные задержки, что приводит, как правило, к появлению так называемых свободных вариаций, которые могут внести погрешность в результаты работы системы. В этой ситуации применение специальных встроенных регуляторов способствует повышению устойчивости динамики системы, уменьшая влияние свободных вариаций.

В плане адаптации в условиях переходной экономики интерес представляют rastворение и переплетение общественного и частного, скажем, через формирование сети перекрестной (рекомбинированной) собственности (Старк, 1996). В связи с этим полезно исследовать феномен переходной экономики не с помощью таких категорий, как «рынок», «государство», «фирма», а путем анализа складывающихся в обществе сетей.

С этой точки зрения способность экономики гибко адаптироваться к изменениям на мировых рынках во многом базируется

ся на перекрестных связях корпоративных групп и на соответствующих организационных формах. Исследования в данной области позволяют сделать вывод о том, что нужно разграничивать рыночную координацию и рыночную ориентацию. Большое количество организационных форм, не характеризующихся рыночной координацией, т.е. не имеющих внутренних взаимосвязей рыночного типа, могут иметь высокоэффективную рыночную ориентацию. Перекрестная собственность в этом случае может быть интерпретирована также как способ распределения риска, сглаживающий различия между фирмами.

Здесь важно иметь ответ на вопросы: ориентируются ли сети предприятий в России на мировой рынок и насколько успешной может быть такая ориентация? В частности, этот успех может быть измерен их вкладом в переход от плановой к рыночной экономике. Обычно полагают, что механизмом перехода может служить банкротство слабых хозяйственных структур. Однако современные российские условия привели к краю пропасти и многие предприятия, которые могли бы с помощью некоторой поддержки достичь высоких результатов. Перекрестная собственность позволила бы, на мой взгляд, спасти часть потенциально эффективных фирм.

Скажем, жертвуя эффективностью распределения ресурсов в рамках сети, можно было бы сохранить активы предприятий, обладающих реальным потенциалом для успешной работы в переходных условиях.

Большой интерес представляют механизмы распределения риска. Так, весьма высокая степень неопределенности в переходной экономике ведет к сокращению инвестиций, причем их стратегические цели

искажаются (фирма инвестирует, ожидая, что в условиях «вялой» экономики другие фирмы инвестировать не станут). Механизмы распределения риска, повышая стимулы в данной сфере через снижение его величины, могут помочь выбраться из ситуации низкоуровневого равновесия.

Экономическое развитие требует увеличения числа выходов и входов на рынок, что должно сопровождаться не только созданием новых организаций, но и порождением новых организационных форм. Организационные формы – это собрание (коллекция) различных вариантов деятельности, и сокращение их разнообразия означает потерю информации, которая может быть использована для организационных изменений.

С этой точки зрения, экономика, максимизирующая «эффективность распределения ресурсов», переводя все ресурсы в наиболее эффективную форму, теряет в достижении адаптивной эффективности. Полезные начинания могут потерпеть неудачу не только потому, что в переходной экономике отсутствует механизм отбора и ликвидации слабых производственных единиц, но и потому, что экономические ресурсы используются лишь в малом количестве организационных форм. Возникновение перекрестной собственности нужно оценивать не в аспекте воспроизводства старых форм или развития частной собственности, а с позиции вклада в рост адаптивной эффективности.

В развитых странах в условиях быстро меняющейся рыночной конъюнктуры или ускоренного технологического прогресса размывание границ предприятий является жизнеспособной стратегией повышения организационной гибкости. В результате этого возникает альтернатива обычному оттошению типа «купить-продать», а именно

кооперация. Появляется стратегия страхования (хеджирования), которая связана с перекрестной собственностью предприятий. При этом сложность взаимозависимости активов, нечеткое определение прав собственности (а именно их расплывчатость, двусмысленность) позволяют гибко адаптироваться к рыночным изменениям. Действительно, ведь в сети экономические агенты не разделяют между собой права на активы, их права перекрещиваются, что повышает устойчивость системы в целом.

В заключение следует указать на необходимость разработать методы экономической оценки эффективности формирования специальных механизмов адаптации. При этом нужно представить правила, согласно которым положительный эффект, получаемый от точного выполнения намеченных планов, должен быть сопоставлен с затратами, связанными с созданием специальных адаптационных организаций и устройств, с одной стороны, и с привлечением дополнительных материальных и финансовых ресурсов, с другой. По-видимому, решение такой задачи в общем виде весьма затруднительно, однако в нахождении удов-

летворительных результатов для конкретных проблем можно надеяться на успех.

ЛИТЕРАТУРА

Беллман Р. Процессы регулирования с адаптацией. – М.: Наука, 1964.

Саридис Дж. Самоорганизующиеся стохастические системы. – М.: Наука, 1980.

Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. – М.: Высшая школа, 1989.

Самоорганизация и наука. – М.: Институт философии РАН, 1994.

Багриновский К.А. Имитация процессов стабилизации экономической динамики // Имитационное моделирование на современном этапе. – М.: ЦЭМИ РАН, 1993.

Старк Д. Рекомбинированная собственность и рождение восточноевропейского капитализма // Вопросы экономики, 1996, №6. С. 4-24.

Рывкин А.А. В эпоху перемен спасают самоорганизация и контролируемые управляющие воздействия // Экономика и математические методы. 1995. Т. 31. Вып. 1.