
**К СТОЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
ЛЕОНИДА ВИТАЛЬЕВИЧА КАНТОРОВИЧА**

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ РОССИИ
НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ***

© 2011 г. **К.А. Багриновский**

(Москва)

Основное содержание настоящей работы тесно связано с трудами по высшему анализу и математическим методам организации и планирования производства покойного академика, лауреата Нобелевской премии Л.В. Канторовича. Его незабвенной памяти и посвящается эта статья.

В статье рассматриваются вопросы применения моделей и методов адаптивного управления в условиях возрастания неопределенности выработки и принятия решений в современной экономике России. В качестве основного объекта исследований избраны механизмы инновационного развития и их функционирование в меняющихся условиях. Представлен новый подход к моделированию механизма обновления продуктов и технологий, а также описание новых возможных объектов анализа на примере необходимого развития ИТ-инфраструктуры в экономике России.

Ключевые слова: адаптивные предприятия, информационные технологии, нанотехнологии, производство наноструктур, инновационная система.

Система адаптивного управления предприятием предназначена для того, чтобы обеспечить наиболее точное достижение поставленной цели производства, и в особенности организовать защиту производственной деятельности от неконтролируемых внешних влияний и помех.

Рыночная экономика является в сущности надежной базой для применения методов адаптивного управления. Основанные на законах рынка предприятия постоянно анализируют свое окружение и изменяются, концентрируя производственные ресурсы на самых полезных и прибыльных направлениях их использования. При этом в настоящее время в большинстве предприятий главную роль в развитии производства играет поддержание стабильности и контроль производства. Однако тщательный анализ развития многих успешных предприятий приводит к системе взглядов, которую можно представить как совокупность принципов создания и эффективной деятельности современного предприятия с адаптивным управлением. При этом следует иметь в виду, что разработка и применение специальной системы адаптивного управления на предприятии способствуют решительному ускорению достижения этой цели и освобождению целенаправленной работы предприятия от ненужных внешних влияний и разнообразных помех.

В общем смысле под механизмом инновационного (научно-технологического) развития понимается система взаимоотношений между государством, научно-технической средой и рыночными силами, которая обеспечивает постоянное совершенствование и обновление технологического вооружения национальной экономики (Багриновский, Бендиков, 2007). Этот механизм включает ряд основных компонентов – механизмов инновационного развития, которые предназначены для решения конкретных задач развития научно-технического прогресса реальной экономики.

В их число следует включить механизм освоения новых наукоемких технологий. Надежная работа этого механизма способствует правильному использованию такой важнейшей стороны

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского гуманитарного научного фонда (проект 11-02-00227а).

деятельности предприятия, как его рыночная мотивация, поскольку в результате его успешной работы предприятие более четко ориентируется на активное поведение на рынке, расширение своего присутствия на нем и усиление своей рыночной позиции.

Механизм управления технологическим развитием основан на сочетании и взаимодействии между государственным регулированием, инновационным бизнесом и его рыночной инфраструктурой, а также между фундаментальными и прикладными научными исследованиями в области высоких современных технологий.

Механизмы инвестирования в инновационное развитие являются важнейшей частью национальной инновационной системы (НИС) страны.

Серьезную роль в создании НИС играет механизм обновления продуктов и технологий, который основан, главным образом, на сокращении прямых затрат труда и материалов за счет заметного увеличения более сложных видов затрат, в особенности на НИОКР. Современные новые технологии, как правило, возникают в результате комплексного использования крупных достижений в области электроники, разработки новых материалов, компьютерного проектирования и т.п.

Создание новых видов продукции отличается от процесса обновления технологий прежде всего тем, что его успешность тесно связана с положением дел на соответствующем рынке. Процесс разработки принципиально новых изделий обычно активизируется с наступлением спада спроса на традиционные изделия. При этом происходит падение цен на такие изделия, продавцы широко применяют различные виды скидок, чтобы остановить падающий спрос, в результате чего снижается доходность таких изделий. Поэтому потенциальные производители будут более охотно поддерживать новое изделие. Важным элементом процесса создания нового изделия является исследование рынка, по возможности более точная оценка объемов продаж и разработка комплекса методов обслуживания нового изделия. Чтобы обеспечить стабильность производства и продаж нового изделия, большое значение следует придавать методам регулирования возможных колебаний спроса, вплоть до их полной ликвидации. Для решения этой задачи могут быть эффективно использованы методы адаптивного управления.

Методы анализа и синтеза дискретных адаптивных систем динамических объектов достаточно полно и точно изложены в книгах (Срагович, 1981; Деревницкий, Фрадков, 1981). Там же рассмотрены различные способы постановки задач адаптивного управления и приведены примеры решения практических задач. Процесс управления называется самоорганизующимся, если уменьшение априорных неопределенностей, приводящее к эффективному управлению, достигается за счет информации, которая получается в ходе управления на основе последовательных наблюдений доступных входных и выходных сигналов.

Самоорганизация достигается различными способами, из которых следует выделить: снижение степени неопределенности описания динамики объекта (самоорганизующийся процесс параметрической адаптации) и неопределенности, непосредственно связанной с улучшением качества системы (функционально-адаптивный самоорганизующийся процесс). При этом получаемая от объекта управления информация используется управляющим устройством и соответствующим блоком оценки качества работы системы. В работе (Багриновский, 1999) представлен процесс самонастройки на примере решения задачи о поддержании постоянной величины валовой выручки на заданном уровне для динамической экономической системы.

Разработке практических принципов управления, способствующих созданию адаптивного предприятия, посвящена значительная часть книги (Майер, Дэвис, 2007).

1. АЛГОРИТМЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Общая постановка задачи адаптивного управления имеет следующий вид. Рассматривается объект управления (ОУ), на динамику которого влияют управляющие воздействия $u = u(t)$, измеряемые возмущения $r = r(t)$ и недоступные измерению возмущения $v = v(t)$. Доступные измерению выходные переменные объекта обозначаются $y = y(t)$. Предполагается также, что динамика объекта зависит от ряда неизвестных параметров, совокупность которых обозначается ξ . Задано

множество Ξ возможных значений ξ , определяющее класс допустимых объектов. Кроме того, задана цель управления, определяющая желательное поведение объекта.

Требуется определить алгоритм управления (адаптивный регулятор), использующий измеряемые величины, не зависящий от ξ , принадлежащему Ξ , так, чтобы для любого ξ из Ξ обеспечить достижение заданной цели управления (Деревицкий, Фрадков, 1981, с. 13).

Данная постановка задачи охватывает также традиционные, “неадаптивные” задачи управления. В “неадаптивном” случае параметры объекта ξ предполагаются известными, т.е. множество допустимых объектов Ξ состоит из одного элемента. Специфика задач адаптивного управления состоит в том, что класс Ξ содержит “много” объектов, поэтому и цель управления должна достигаться в условиях неопределенности. Правда, четкую границу между адаптивными и неадаптивными задачами провести трудно, поскольку традиционные решения зачастую являются “грубыми”, нечувствительными к отклонению параметров объекта от известных значений. Нетривиальные задачи адаптивного управления возникают тогда, когда “размер” множества Ξ (уровень неопределенности) достаточно велик и традиционные методы синтеза регуляторов оказываются непригодными.

Следует заметить, что в число неизвестных параметров, кроме параметров объекта, могут входить также характеристики возмущений. При этом множество Ξ будет определять класс допустимых объектов и возмущений.

Особенность работы адаптивного регулятора состоит в *одновременном* изучении объекта и управлении им. При адаптивном подходе правило определения управляющих воздействий может автоматически изменяться в ходе работы. Адаптивный регулятор имеет двухуровневую структуру (Деревицкий, Фрадков, 1981, с. 14, рис. 1.4). Алгоритм первого уровня зависит от вектора параметров c и при известном ξ из Ξ должен обеспечивать (при соответствующем выборе $c^* = c^*(\xi)$) достижение цели управления. Алгоритм второго уровня должен изменять (настраивать) в ходе итеративного процесса вектор c таким образом, чтобы приспособиться к неизвестной ситуации и обеспечивать при неизвестном априори ξ из Ξ достижение поставленной цели.

Алгоритм первого уровня называется *алгоритмом регулирования*, а устройство, в котором он реализуется, – *регулятором*. Алгоритм второго уровня называется *алгоритмом адаптации*. Устройство, в котором он реализуется, называется *адаптером*. Объект управления и регулятор образуют основной контур адаптивной системы. Цель обратной связи, включающая адаптер, называется *контуром адаптации*. Приведенная постановка относится к самонастраивающимся системам, где настройке подвергаются только параметры регулятора – конечный набор числовых величин.

Антиградиентными алгоритмами адаптации будем называть алгоритмы, в которых направление изменения настраиваемых параметров противоположно градиенту скорости изменения заданной оценочной функции, обусловленного уравнением объекта (Деревицкий, Фрадков, 1981, с. 35).

В ходе управления детерминированными объектами случайное блуждание по множеству правил может отсутствовать; такого рода алгоритмы называются *беспоисковыми*.

Следует иметь в виду, что рынок в любой момент может предъявить различные требования к расходованию конкретных видов ресурсов. Поэтому адаптивное управление процессом должно быть в значительной мере автоматизировано, а параметры регулятора – вычисляться при помощи адаптера.

В решении конкретных задач управления технологическим прогрессом обычно используются различные целенаправленные алгоритмы параметрической и функциональной адаптации, а также применяются встроенные регуляторы. К их числу относятся:

- а) снижение процентной ставки по банковским кредитам при необходимости дополнительного прироста инвестиций;
- б) снижение налоговой ставки на добавленную стоимость (НДС) в случае возникновения дополнительной потребности в поставках сырья и материалов;
- в) повышение НДС на товары, пользующиеся высоким спросом;

- г) дополнительная эмиссия акций на уровне предприятия при нехватке капиталов;
- д) снижение выплат дивидендов и т.п.

Далее рассмотрены схематические примеры применения некоторых беспоисковых алгоритмов адаптивного управления.

2. РАСЧЕТ ПРИБЛИЖЕНИЯ К ЗАДАННОМУ ЗНАЧЕНИЮ ВЫПУСКА ПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ НАЛИЧИЯ НЕКОНТРОЛИРУЕМЫХ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Пусть $u(t)$ – внешнее задающее воздействие (например, расход основного производственного ресурса), $v(t)$ – внешнее неконтролируемое возмущение (например, отклонение от нормы поступления основного ресурса, которое определяется на основе экспертных оценок), $y(t) = f(u)$ – производственная функция, которую применяют для расчета объема выпуска продукции, y^* – заданный конечный объем.

Таким образом, основное уравнение функционирования объекта имеет вид $y(t) = f(u(t) + v(t))$. Требуется обеспечить процесс приближения $y(t)$ к y^* при определенном законе изменения $u(t)$ и при любом возмущении $v(t)$, принадлежащем ограниченному множеству V . Для достижения этой цели строится оценочная функция $Q(t) = (y^* - y(t))^2$ и определяется ее минимальное значение, равное нулю, методом антиградиентного спуска по параметрам производственной функции (Деревицкий, Фрадков, 1981).

В данном примере полагаем, что функция $f(u)$ может быть выражена при помощи введения одного параметра a и имеет вид $y = a\sqrt{u}$. В этом случае оценочная функция примет следующий вид: $Q(t) = (y^* - a\sqrt{u+v})^2$.

Далее определяется производная от $Q(t)$ по параметру a :

$$dQ(t)/da = -2(y^* - a\sqrt{u_t + v_t})\sqrt{u_t + v_t}.$$

Расчетная формула метода спуска имеет вид

$$a_{t+1} = a_t + 2h(y^* - a\sqrt{u_t + v_t})\sqrt{u_t + v_t}.$$

Здесь величина $h > 0$ является шагом по времени (t), а функция возмущения $v(t)$ определяется условиями конкретной задачи.

Процесс расчета продолжается до тех пор, пока величина $Q(t)$ не станет достаточно малой.

3. ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДСТАВЛЕННОГО ВЫШЕ ПОДХОДА К РАЗРАБОТКЕ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ, РАЗВИТИЕ КОТОРЫХ ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫМИ МОДЕЛЯМИ

Например, рассмотрим задачу оптимизации предприятия, работающего в условиях ограниченности важнейших производственных ресурсов в количестве m . Пусть все главные технологические способы могут быть выражены как $(m+1)$ -мерные векторы затраты–выпуск $L_j = (y_j, a_{1j}, \dots, a_{mj})$, где y_j отражает объем продукции, производимой таким способом при единичной интенсивности его применения. Величины a_{kj} представляют количества расходуемых производственных ресурсов в тех же условиях.

Задача максимизации выпуска продукции имеет вид:

$$\sum_{j=1}^n y_j \rightarrow \max \text{ при условиях } \sum_{j=1}^n a_{kj} x_j \leq s_k, \quad k = 1, \dots, m, \quad x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n.$$

Здесь величины x_j представляют искомые интенсивности технологических способов, а величины s_k – заданные объемы производственных ресурсов. Известно, что при неотрицательных значениях коэффициентов технологических способов эта задача имеет решение и суммарный выпуск продукции предприятия может быть выражен через объемы расходуемых ресурсов по формуле

$Y = \sum_{j=1}^n y_j = \sum_{k=1}^m p_k s_k$, где p_k – “теневые цены” ресурсов, определяемые как решение задачи, двойственной к основной.

Таким образом, имеется прямая связь между расходом ресурсов и объемом выпуска продукции, аналогичная той, которая была представлена выше для случая одного ресурса.

Пусть y^* – заданный конечный объем. Тогда для построения адаптивной системы можно действовать согласно плану, намеченному выше в задаче с одним ресурсом.

4. ПРОЦЕСС АДАПТАЦИИ ГРУППЫ ПРЕДПРИЯТИЙ

Пусть E_1, \dots, E_n – объекты, y_j – соответствующие объемы выпуска продукции, R_j – затраты основного ресурса (энергии), a_j – технологический коэффициент производственной функции $y_j = a_j R_j$, $j = 1, \dots, n$. Общий расход ресурса выражает соотношение $R = \sum_{j=1}^n R_j$. Средний технологический коэффициент группы равен $a = \sum_{j=1}^n y_j / R$. Возможные отклонения от этого коэффициента представлены функцией времени $v(t)$.

Рассмотрим случай, когда происходит сбой в работе одного предприятия (с номером j_s): $z_{j_s} = y_{j_s} - q_{j_s}(t_r)$, где $q_{j_s}(t_r)$ – потеря, или ущерб, в момент t_r . Предположим, что компенсация ущерба происходит путем увеличения общего расхода ресурса в следующий момент в размере $d_s R(t_r + 1) = q_{j_s}(t_r) / a_j$.

Пусть Y^* – планируемый выпуск продукции группой предприятий в течение определенного периода $[t_0, t_f]$. Тогда оценочная функция имеет вид $Q(t) = \left(Y^* - \sum_{t=t_0}^{t_f} y_{jt} \right)^2$. Она должна стремиться к 0 при t , стремящемся к ∞ . С учетом введенных обозначений получаем $Q(t) = \left(Y^* - \sum_{t=t_0}^{t_f} (a + v(t)) R \right)^2$.

4.1. Имитационные модели механизмов инновационного развития. На основе моделей, подобных представленным выше, могут быть разработаны имитационные системы. Эти системы используются для решения различных задач управления исходными объектами. Они также могут быть включены в общий процесс превращения исходного объекта в адаптивное предприятие как рабочий инструмент.

В качестве примера приведем построение имитационной системы адаптивного управления механизмом обновления.

Действие механизма обновления продуктов и технологий в рыночных условиях направлено на максимально возможное увеличение конечного продукта и минимизацию отклонений от принятого плана развития производства. Соответствующая имитационная система строится на основе аналогичной системы, разработанной для представления действия механизма обновления в условиях ограниченности важнейших производственных ресурсов в работе (Багриновский, Исаева, 2006).

Система также имеет дискретный характер и состоит из ряда взаимосвязанных частей – блоков. Первый – блок прогнозирования и формирования пакета производственных ресурсов, необходимых для выполнения намеченной программы, – создается на основе информации, поступающей с ресурсных рынков, а также сведений о финансовых средствах, которыми может располагать предприятие для приобретения указанных ресурсов. В результате работы этого блока формируется ограничительный вектор ресурсного наполнения $R = \{R_i\}_{i=1, \dots, m}$.

Основной раздел второго блока имитационной системы предназначен для определения значений расходных коэффициентов a_j ($j = 1, \dots, n$), которые характеризуют технологии, применяе-

мые как для производства старых изделий, так и предполагаемых для производства новых изделий. При этом с участием экспертов и ЛПР вырабатываются коэффициенты b_j ($j = 1, \dots, n$), которые характеризуют затраты на НИОКР, направленные на совершенствование старых изделий и разработку новых технологий.

Третий блок имитационной системы используется для расчетов и определения (совместно с ЛПР) основных параметров оптимизационной модели получения максимума конечного продукта. Здесь рассчитываются значения всех ценовых показателей для всех видов продукции предприятия на основе информации о состоянии продаж на соответствующих рынках и возможных прогнозах и расчетах. Для дальнейших расчетов тем самым подготавливаются цены продуктов p_j ($j = 1, \dots, n$), где n – число изучаемых изделий.

В оптимизационной модели в качестве искомым величин применяются объемы производства всех рассматриваемых изделий – как старых, так и инноваций.

В упрощенном варианте оптимизационная задача на такте (t) имеет вид

$$F = \sum_{j=1}^n (p_{jt} - a_{jt})x_{jt} - \sum_{j=1}^n b_{jt}x_{jt}^2 \rightarrow \max \text{ при условиях } \sum_{i=1}^m q_{ijt} < R_{jt}, \quad x_{jt} > 0, \quad j = 1, \dots, n.$$

Здесь $q_{ijt} > 0$ обозначает расходный коэффициент ресурса i при производстве товарной единицы продукта j . Пусть вектор $z_t = \{z_{jt}\}_{j=1, \dots, n}$ является решением оптимизационной задачи на такте (t). Тогда величина $I_{jt} = b_{jt}z_{jt}^2$ ($j = 1, \dots, n$) представляет собой объем финансирования НИОКР, направляемый на совершенствование старого или на разработку нового изделия с номером j .

В качестве характеристики эффективности данной работы в имитационной системе используется обратная связь между третьим блоком на такте (t) и вторым блоком на такте ($t+1$). Эта связь отражает влияние результатов НИОКР на снижение величин расходных параметров и в простейшей форме имеет вид: $a_{j,t+1} = a_{jt} \exp\{-k_{jt}I_{jt}\}$, $j = 1, \dots, n$, где $k_{jt} > 0$ – коэффициент эффективности НИОКР.

Четвертый блок адаптивной имитационной системы содержит главные элементы управления производственной единицей в условиях адаптивного управления. Далее приводится пример разработки адаптивной системы управления на предприятии, который во многом основан на материалах книги (Деревицкий, Фрадков, 1981).

Пусть объектом управления является некоторое машиностроительное предприятие, занятое производством запасных частей (деталей) для сельскохозяйственных машин. В определенные моменты времени t_k ($k = 0, 1, \dots$) на предприятие поступают сырье, имеющее качество f_k , и дополнительные материалы u_k . Будем считать, что количество y_k продукции, которое получается в момент времени t_k , зависит от количества сырья, подготовленного для производства деталей, причем величина x_{k+1} определяется значениями x_k, f_k, u_k . Пренебрегая действием неуправляемых возмущений, можно записать математическую модель производства в следующем виде:

$$x_{k+1} = F(x_k, f_k, u_k), \quad y_k = h(x_k). \quad (1)$$

Конкретный вид функций в соотношении (1) определяется производственной функцией предприятия, а также уравнением подготовки сырья для дальнейшей обработки. Величины y_k, f_k считаются доступными измерению, а количество дополнительных материалов u_k является управляющим воздействием, при помощи которого можно влиять на ход процесса производства.

Пусть далее целью управления является поддержание количества выходного продукта на заданном уровне y^* . Обычно для целей управления уравнения (1) линеаризуют в окрестности расчетного режима, заменяя (1) линейными уравнениями

$$x_{k+1} = ax_k + bu_k + df_k, \quad y_k = hx_k. \quad (2)$$

Если значения коэффициентов a, b, d, h известны точно, то можно достаточно просто построить алгоритм, обеспечивающий достижение цели (идеальный закон управления). Этот закон задается равенством

$$u_k^* = (y^* - ay_k - dhf_k)/(bh). \quad (3)$$

Однако в общем случае коэффициенты a , b , d , h в соотношении (2) зависят как от расчетных значений переменных, так и от параметров процесса производства, в частности, от качества сырья, правильности подбора дополнительных материалов, надежности оборудования и т.п. При этом часть факторов, от которых зависит изменение свойств объекта, недоступна непосредственному измерению. Поэтому реальным процессом производства приходится управлять в условиях неопределенности, когда идеальным законом управления (1) пользоваться нельзя. Средством решения подобных задач может служить адаптивная система управлений. В такой системе применяется закон управления с переменными коэффициентами. Изменение (настройка) коэффициентов осуществляется с помощью алгоритма адаптации на основе обработки текущей информации о состоянии процесса, которую получают в ходе нормальной работы предприятия.

Алгоритм адаптации строится таким образом, чтобы приспособиться к конкретной ситуации и обеспечить достижение цели управления при любом возможном значении неизвестных параметров объекта.

Применительно к рассматриваемой задаче построение адаптивной системы может быть выполнено следующим образом. Идеальный закон управления заменяется реальным законом, который имеет следующий вид

$$u_k = c_{1k}y^* + c_{2k}y_k + c_{3k}f_k, \quad (4)$$

где c_{1k} , c_{2k} , c_{3k} – настраиваемые коэффициенты, образующие вектор $c_k = (c_{1k}, c_{2k}, c_{3k})$. (Заметим, что закон (4) совпадает с идеальным законом (3) при $c_{1k} = 1/(bh)$, $c_{2k} = -a/(bh)$, $c_{3k} = -d$.) Исходная цель управления задается равенством $y_{k+1} = y^*$.

Для построения алгоритма адаптации вводится оценочная функция

$$Q(t) = (y^* - y_{k+1})^2. \quad (5)$$

Теперь цель управления может быть задана как минимизация функции (5) на каждом шаге процесса расчетов. Для нахождения решения этой задачи здесь применяется антиградиентный метод в конечных разностях, позволяющий учитывать изменение состояния объекта во времени.

Вычисляя частные производные оценочной функции (5) по настраиваемым параметрам, получим алгоритм адаптации в виде

$$c_{1,k+1} = c_{1,k} - r_k(y_{k+1} - y^*)y^*, \quad c_{2,k+1} = c_{2,k} - r_k(y_{k+1} - y^*)y_k, \quad c_{3,k+1} = c_{3,k} - r_k(y_{k+1} - y^*)f_k.$$

Множитель r_k обычно называется *шагом алгоритма* по времени, его выбор осуществляется по специальным правилам. Работа алгоритма обычно продолжается до тех пор, пока значение оценочной функции (5) не станет достаточно малым с учетом уровня возможных помех. Сам алгоритм является необходимой частью имитационной системы адаптивного управления и может быть использован в различных обстоятельствах.

Результаты работы четвертого блока (величины u_k, f_k) на такте (t_k) поступают в блок расчета основных показателей (формула (1)) и используются при вычислении показателей следующего такта расчетов (t_{k+1}).

4.2. Направления возможного внедрения методов адаптивного управления. В заключение опишем ряд направлений возможного развития методов разработки имитационных систем адаптивного управления (принципов, мемов), используя которые, сами промышленные предприятия могут продвигаться по пути создания адаптивного предприятия (Майер, Дэвис, 2007, с. 144).

1. *Изучение и моделирование запуска процесса самоорганизации.* Для этого необходимо иметь ясное представление о системе управления предприятием снизу вверх. При этом следует разрабатывать правила, которые влияют на индивидуальный выбор работников, а не на поведение организации в целом. На предприятии, которое следует принципам самоорганизации, лидеры прекращают управлять людьми и начинают управлять правилами. В качестве примера можно привести работу "системы такси" на улицах большого города. Каждая машина – агент системы, действующий по правилам. Правила агентов (такси) адаптивны, они меняются в зависимости от времени года и по мере застройки районов, а также изменения дорожного движения. Они сами

находят клиентов и самостоятельно выполняют работу (заказ). В результате каждый потребитель может “поймать” такси за приемлемое время.

2. *Исследование и описание различных способов рекомбинации.* Усиление взаимосвязей облегчает рекомбинацию различных компонентов – компьютерных программ, свойств продуктов, людей и рынков. Превращение бизнеса в открытую систему позволяет оценить достоинства и новизну растущего многообразия.

Адаптивное предприятие концентрируется на рекомбинации по трем причинам. Во-первых, рекомбинация – ключ к быстрым и оригинальным инновациям. Во-вторых, она расширяет разнообразие, что, в свою очередь, делает предприятие более жизнеспособным и расширяет спектр его реакций во времена резких перемен. В-третьих, она помогает талантливым людям развиваться быстрее, потому что они испытывают на себе влияние множества разнообразных идей и им приходится решать множество самых разнообразных проблем. Это дает предприятию, а также каждому его сотруднику самые лучшие шансы на создание продукта, практики или стратегии, которых никогда не существовало раньше.

3. *Изучение и оценка способности предприятия воспринимать и реагировать на внешние воздействия.* Сети снижают затраты на получение информации в режиме реального времени. Датчики позволяют фильтровать новую информацию, действовать в соответствии с ней и в зависимости от результатов прогнозирования, добиваться оснащения предприятия всем необходимым для восприятия изменений и формирования немедленной, точной и адекватной реакции на них.

При разработке имитационной модели следует учесть тот факт, что воспринимать изменения рынка и реагировать на них быстрее и точнее предприятиям помогают три новые тенденции. Первая состоит в том, что стоимость датчиков быстро падает, позволяя предприятиям встраивать обратную связь в каждый продукт. Вторая – в том, что технологическое развитие самих датчиков позволяет воспринимать новые типы данных и делать это более точно, требуя меньше места и энергии. Согласно третьей тенденции, беспроводные сети делают новые данные доступными в любом месте и в реальном времени.

4. *Развитие направления “Учиться и адаптироваться”.* Активное использование обратной связи дает возможность знать, что произошло после того, как система управления “восприняла и среагировала”. Этот опыт и новая информация добавляются в ее набор реакций. Такая петля обратной связи создает непрерывную адаптацию, которая должна быть представлена как необходимый элемент имитационной системы.

Теперь, когда датчики становятся вездесущими и взаимосвязанными, появилась возможность создавать компьютерные программы, которые извлекают новые знания в результате того, что воспринимают всю систему, одновременно ее совершенствуя.

Обратную связь, которая делает возможным процесс обучения, можно создавать постепенно. Знания и навыки, необходимые для обучения, могут исходить либо от менеджмента, либо из эффективности таких технологий, как нейронные сети. Этот процесс может начинаться на фабриках как часть системы управления взаимодействия с клиентами, в финансах, налогово-административной системе или как часть системы информации и менеджмента. Датчики стали дешевыми. Интеграция разумной реакции и способности к обучению остается важной проблемой, но во многих случаях технологии для этого уже существуют и постоянно появляются новые. Непременным условием получения серьезных результатов является желание и готовность адаптироваться.

5. *Изучение и моделирование процессов типа “посеять, отобрать и усилить”.* Тестирование множества разнообразных возможностей выбора и усиление наиболее удачных из них способствуют созданию полезной базы данных для дальнейшей работы предприятия. Такая база дает возможность экспериментировать, а не планировать.

Следует исходить из того, что в создаваемом адаптивном предприятии работают независимые самоорганизующиеся люди, готовые воспринимать бизнес-ситуацию и экономический климат и желающие осуществить задуманные планы. Для того чтобы не допустить напрасной траты ресурсов и не получить хаос, следует применять направленный отбор вариантов развития.

В настоящее время многие предприятия идут по пути использования новых технологий тестирования. Дело в том, что современные способы рекомбинации создают большие запасы потенциальных решений, которые следует сортировать в очень больших масштабах. Это тестирование производится с помощью компьютерных моделей, чтобы экспериментировать с многочисленными альтернативами. Таким образом, принцип “сеять, отбирать и усиливать” становится средством проведения испытаний потенциальной ценности разнообразных экономических возможностей. Он позволяет выбирать победителей самому рынку и принять высокий процент неудач. Можно считать, что “сеять, отбирать и усиливать” – адаптивный принцип репродуктивного выбора. При этом восприятие и реакция, обучение и адаптация – принципы успешного развития предприятия уже после его становления.

6. *Возможный подход к радикальной реорганизации предприятия на основе “дестабилизации”*. Современный уровень изменений окружающей среды может потребовать создания внутренней нестабильности для выживания в ней. Для этого нужно разрушать стабильные элементы своей организации.

Исследователи теории сложных систем часто говорят о “границе хаоса”. Они признают, что “слишком много стабильности” опасно для развития так же, как и “слишком мало порядка”.

Трудно точно подсчитать, сколько нужно нестабильности для того или иного предприятия. Это связано с тем, что в настоящее время нет достаточно надежных способов ее измерения. Однако становится все более ясно, что рост нестабильности внешнего окружения требует снижения стабильности внутри предприятия. Дело в том, что жизненный цикл продуктов становится все короче. Время, за которое новым предприятиям необходимо стать прибыльными, уменьшается. Предприятия, способные завершать цикл развития быстрее других, смогут создавать нестабильное рыночное окружение и использовать его в своих целях.

4.3. О некоторых актуальных проблемах развития экономики России. Методы адаптивного управления найдут применение для решения современных проблем развития информационно-телекоммуникационной (ИТ) инфраструктуры в России.

На российском рынке ИТ-технологий заметны позитивные тенденции. Но на полное восстановление после кризиса потребуется еще один–два года. Данные Минэкономразвития показывают, что в 2010 г. российский рынок ИТ-технологий вырос только на 3% – до 565 млрд руб. (с учетом инфляции), при том что в кризисный 2008 г. он опустился на 13% по сравнению с 2009 г. По предварительным данным международной аналитической компании IDC, расходы на ИТ в России выросли на 17% (в абсолютных показателях). Можно считать, что объем продаж и новых сделок значительно вырос во всех трех основных отраслях рынка ИТ-технологий: программном обеспечении, оборудовании и услугах. По данным IDC, в России на 45% увеличились продажи корпоративных аппаратных средств – одно из главных показателей роста рынка. Нынешний рост связан с тем, что парк оборудования по существу является рабочим инструментом бизнеса, его необходимо регулярно модернизировать и развивать.

Одним из быстро восстанавливающихся секторов ИТ-рынка стала поставка персональных компьютеров частным пользователям. Всего за 2010 г. в розничную продажу поступило 11 млн ПК, общий рост поставок по сравнению с предыдущим годом составил около 60%. Уже сейчас продажи персональных компьютеров для частных лиц превысили докризисный уровень. При этом в секторе ПК продолжает расти доля мобильных компьютеров – в 2010 г. она составила 70% всех проданных ПК, превысив средний мировой уровень, равный 59%.

Основными потребителями ИТ-услуг в России стали финансовый, нефтегазовый и телекоммуникационный секторы. Обрабатывающая промышленность была мало заинтересована в развитии своих ресурсов, а больше занималась поддержкой существующих. Государственный сектор также не вел активной работы, направленной на приобретение новых ПК. В отличие от государственных структур средние предприятия стали заказывать и закупать программное обеспечение в сегменте систем управления предприятием, систем для работы с аналитикой, что помогает предприятию выжить в кризисных условиях.

Государство остается самым крупным заказчиком для ИКТ-предприятий. Например, ИБС выполняет серию проектов для государственной корпорации “Росатом” (проект создания информационной системы управления капитальным строительством), участвует в проектах для

“Газпрома” (создание системы управления персоналом, системы автоматизированного документооборота и др.).

Также заметно повысился спрос на мобильные решения для бизнеса. В особенности востребованы специальные мобильные приложения для владельцев мобильных телефонов iPhone и планшетов iPod. Пользуясь ими, можно в любой момент получать отчеты о деятельности подразделений предприятия, проводить мониторинг запасов на товарных складах и т.п.

В настоящее время в России наблюдается повышенная “облачность”. Этот термин означает предоставление различного вида сервиса на удалении, обычно на основе оборудования провайдера. По прогнозам, в России скоро начнется бум спроса на такие “облачные” услуги. Если в 2009 г. совокупный объем таких услуг составил у нас всего 5 млн долл., то в 2014 г. этот показатель превысит 160 млн долл.

Имеется другая сложность – слабое развитие ИТ-инфраструктуры. Чтобы адаптировать инфраструктуру к меняющимся требованиям, необходимо оперативно внедрять современные технологии. В противном случае низкая адаптивность ИТ-инфраструктуры, в том числе дата-центров, может стать заметным сдерживающим фактором развития новых услуг на рынке (Эксперт, 2011). Следует иметь в виду, что с этой проблемой западные предприятия сталкивались уже в 1990-е годы.

В мире также отмечается рост популярности модели аутсорсинга, когда предприятия не покупают в собственность дорогое оборудование, а арендуют его, что даст заметную экономию на инвестициях.

Общий объем российского рынка телекоммуникаций в 2010 г. достиг 1808 млрд руб. – на 9% больше, чем годом ранее. На период до 2014 г. прогнозируются более скромные темпы прироста – 7–8%. Это гораздо ниже темпов докризисной динамики. В период 2006–2008 гг. рынок телекоммуникаций ежегодно прибавлял 21–26%. По-видимому, наблюдаемое снижение показателей обусловлено тем, что рынок сотовой связи практически достиг насыщения, а фиксированная междугородная и международная связь продолжают терять доходы от конкуренции с IP-телефонией. Ожидается также, что в ближайшие годы начнут насыщаться и такие наиболее активно растущие сейчас сегменты, как интернет и платное телевидение.

К 2014 г. в мире поставки портативных компьютеров, включая ноутбуки, нетбуки и мультимедийные планшеты, вырастут до 503,8 млн штук. Причем планшеты займут 35% рынка.

На российском ИТ-рынке в 2011–2015 гг. темпы роста дойдут до 10–15% в год, и он сможет достигнуть докризисного уровня в этом или в следующем году (Ходырев, 2011).

Необходимость решения многих проблем, связанных с развитием ИТ-технологий в России, потребует использования новых средств в теории и практике управления предприятиями. Важную роль в этом процессе может сыграть применение теории механизмов инновационного развития в сочетании с методами адаптивного управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Багриновский К.А. (1999): О методах адаптивного управления в переходной экономике // *Экономическая наука современной России*. № 2.
- Багриновский К.А., Бендиков М.А. (2007): Методы моделирования и анализа свойств механизмов инновационного развития // *Экономика и мат. методы*. Т. 43. № 3.
- Багриновский К.А., Исаева М.К. (2006): Методы анализа и моделирование механизма обновления продуктов и технологий // *Экономическая наука современной России*. № 3 (34).
- Деревицкий Д.П., Фрадков А.Л. (1981): Прикладная теория адаптивных систем управления. М.: Наука.
- Эксперт (2011): Еще не выздоровел, но уже пошел на поправку // *Эксперт*. № 7. 21–27 февраля.
- Майер К., Дэвис С. (2007): Живая организация. М.: Добрая книга.
- Срагович В.Г. (1981): Адаптивное управление. М.: Наука.
- Ходырев А. (2011): По прежней траектории // *Эксперт*. № 16.

Поступила в редакцию
10.06.2011 г.

Models and Methods for Improving the Mechanisms of Innovation Development in Russian Economy Based on Adaptive Control

C.A. Bagrinovsky

The paper deals with the use of models and methods of adaptive control under the conditions of increasing uncertainty for decision in the modern Russian economy. The main object of study is the selected mechanisms of innovation development and their functioning in changing environment. A new approach to modeling the mechanism for updating the products and technologies, as well as the possible new objects of analysis on the example of the IT-infrastructure in the Russian economy proposed.

Keywords: adaptive enterprise, information technology, nanotechnology, production of nanostructures, innovation system.