

CONCEPTUAL APPROACH TO THE SOLVING OF STRUCTURE AND PARAMETRIC IDENTIFICATION PROBLEM

For the purpose of construction of adaptive model of economic dynamic conceptual approach for the solving of the structure and parametric identification problem is proposed in the article.

Keywords: real process; model; model operator; structure identification; parametric identification; performance criterion of identification; loss function; admissible set; explicit method; iteration method.

О. Н. Поддубная
кандидат физико-математических наук, доцент
БГЭУ (Минск)

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ СТРУКТУРНОЙ И ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

В статье предложен концептуальный подход решения задачи структурной и параметрической идентификации для построения адаптивных моделей экономической динамики.

Ключевые слова: реальный процесс; модель; оператор модели; структурная идентификация; параметрическая идентификация; критерий качества идентификации; функция потерь; допустимое множество; явные методы; итерационные методы.

Изучение и управление реальными объектами и процессами с помощью математических методов начинается с построения их моделей. Предмет теории идентификации — решение задачи построения математических моделей динамических систем по данным наблюдений за их поведением [1]. На первом этапе выявляют общую структуру исследуемого процесса и определяют класс моделей, пригодных для его описания (решают задачу структурной идентификации), на втором этапе необходимо определить неизвестные параметры модели выбранного класса по результатам измерения определенных входных и выходных величин в течение некоторого интервала времени, что составляет сущность задачи параметрической идентификации. Следует отметить, что на этапе параметрической идентификации может быть опровергнута предполагаемая структура процесса. В книге [2] впервые систематически изложены многообразные алгоритмы и способы идентификации. В работе [3] дан аналитический обзор современных научных исследований по идентификации и управлению в различных областях, в том числе и в социально-экономических науках. Эффективные алгоритмы идентификации позволяют для реальных процессов синтезировать адаптивные модели, способные использовать получение новой информации для приближения своего поведения и структуры к оптимальным в новых условиях.

Опишем концептуальные подходы решения задачи структурной и параметрической идентификации. На рисунке представлена схема наблюдения при идентификации некоторого объекта или процесса.

Выходные данные могут быть получены в результате пассивного или активного эксперимента. В пассивном эксперименте исследователь не влияет на процедуру регистрации (изменения) данных, в ходе активного эксперимента — самостоятельно формирует программу эксперимента. Следует отметить, что при изучении и моделировании экономических процессов чаще всего речь идет о пассивном научном эксперименте, когда

объект находится в условиях нормального функционирования и параметры модели определяют по результатам статистической обработки наблюдений.

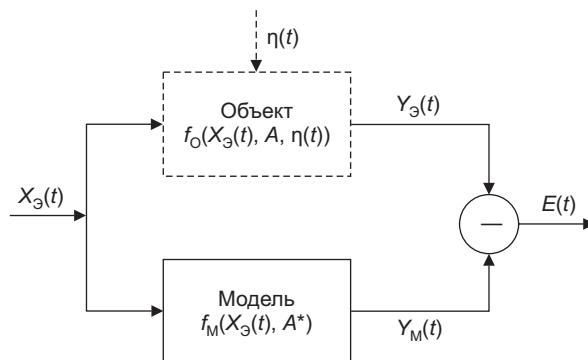


Схема наблюдения за поведением объекта для его идентификации:

$X_3(t)$ — входные экспериментальные данные; $\eta(t)$ — неконтролируемое случайное воздействие; $Y_3(t)$ — выходные экспериментальные данные (выходное воздействие объекта); $Y_M(t)$ — выходные расчетные данные (выходное воздействие модели); A — матрица параметров объекта; A^* — матрица параметров модели (матрица оценок параметров объекта); $E(t)$ — разность (невязка) между выходами объекта и модели

Источники: разработано автором.

Этапы идентификации реального объекта или процесса в соответствии со структурной схемой наблюдения (см. рисунок) состоят в следующем. На входы объекта и модели подаются входные данные $X_3(t)$. В реальных условиях взаимодействия объекта со средой выходные данные объекта искажены случайными возмущениями, которые определяются спецификой функционирования самого объекта, погрешностями методов и неконтролируемыми воздействиями внешней среды. Будем полагать, что все отклонения измеренных значений от истинных воздействий характеризуются обобщенной помехой $\eta(t)$. Обычно в результате эксперимента получают наблюдения входа и выхода, т.е. реализации случайных функций $X_3(t)$ и $Y_3(t)$. Поскольку объект связывает вход $X_3(t)$ с выходом $Y_3(t)$, то эту связь формально можно представить некоторым оператором f_0 :

$$Y_3(t) = f_0(X_3(t), A, \eta(t)). \quad (1)$$

Отметим, что элементы неизвестной матрицы параметров объекта A непосредственному наблюдению недоступны. Чаще всего информация об операторе f_0 также отсутствует, тем самым блок, изображенный на рисунке пунктирной линией, фактически является «черным ящиком».

На основании сведений об объекте формируется модель, под которой понимается некоторый оператор f_M , преобразующий пространство наблюдаемых входных воздействий $X_3(t)$ в пространство ее реакций $Y_M(t)$ (оценок $Y_3(t)$):

$$Y_M(t) = f_0(X_3(t), A^*). \quad (2)$$

Полагается, что помехи не нарушают инвариантность структуры оператора, т.е. сохраняется описание функциональных взаимосвязей объекта в его модели. Выходная величина модели $Y_M(t)$ зависит от матрицы параметров модели A^* , которые рассчитываются на основе алгоритма, обрабатывающего вектор всех наблюдений.

Для нахождения матрицы параметров модели A^* необходимо определить оптимальный в смысле подобию объекту способ корректировки модели. При таком подходе задача

идентификации заключается в построении модельного оператора f_M из некоторого класса операторов (задача структурной идентификации) и определении по наблюдениям $X_{\mathcal{D}}(t)$ и $Y_{\mathcal{D}}(t)$ матрицы таких параметров модели A^* (параметрическая идентификация), чтобы выход модели в некотором смысле был наиболее близок к выходу объекта.

Таким образом, критерий задачи идентификации формируется на основе сравнения искаженного помехой $\eta(t)$ выхода объекта (1) с выходом модели (2) с помощью некоторой нормы вектора рассогласования (невязки или потерь) вида

$$Cr(f_M, A^*) = \|f_M(X_{\mathcal{D}}(t), A^*) - Y_{\mathcal{D}}(t)\| = \|E(t)\|. \quad (3)$$

В результате можно сделать вывод, что задача идентификации (структурной и параметрической) сводится к обобщенной задаче оптимизации с минимизацией критерия (целевой функции) Cr :

$$\min_{(f_M, A^*) \in (f^{\text{доп}}, A^{\text{доп}})} Cr(f_M, A^*), \quad (4)$$

где пара $(f^{\text{доп}}, A^{\text{доп}})$ определяет множества $f^{\text{доп}}$ возможных вариантов математического описания реального объекта (например, предполагаемых механизмов экономического процесса) и экономически обоснованного диапазона параметров $A^{\text{доп}}$.

Таким образом, минимизация функционала идентификации, соответствующая улучшению качества идентификации, осуществляется путем надлежащего выбора структуры модели и изменением значений ее параметров. В зависимости от практической реализации абстрактного понятия нормы вектора в правой части формулы (3) можно по-разному трактовать критерий качества идентификации, характеризующий адекватность модели реальному объекту. Например, если (3) трактовать как средние потери, то суть (4) в том, что чем меньше средние потери, тем выше качество идентификации.

Пусть задача структурной идентификации решена, т.е. модельный оператор f_M , описывающий механизмы экономического процесса, выбран. Тогда функция потерь (3), в любой момент времени не зависящая от структуры оператора f_M , но зависящая от выхода объекта $Y_{\mathcal{D}}(t)$ и модели $Y_M(t)$, определяемого параметрами модели A^* , имеет вид

$$Cr(A^*) = \|Y_M(t) - Y_{\mathcal{D}}(t)\| = \|E(t)\| = F(E(t)). \quad (5)$$

Функция невязки, как правило, является четной, т.е. $F(-E(t)) = F(E(t))$, для того чтобы избежать эффекта взаимного погашения потерь, имеющих противоположные знаки. Минимизация критерия Cr в задаче параметрической идентификации осуществляется только по множеству допустимого диапазона параметров $A^{\text{доп}}$

$$\min_{A^* \in A^{\text{доп}}} Cr(A^*). \quad (6)$$

Очевидно, что различные критерии оптимальности и имеющаяся априорная информация формируют разные алгоритмы оценивания параметров. Выбор критерия оптимальности в некоторой степени субъективен, а сама процедура оценивания задается принятым критерием. Приведенная норма вектора рассогласования (5) может рассчитываться любым из известных способов, например:

- l -норма $Cr(A^*) = \|E(t)\| = F(E(t)) = \sum_{i=1}^n |Y_M(i) - Y_{\mathcal{D}}(i)|$, тогда критерий (6) имеет вид

$$\min_{A^* \in A^{\text{доп}}} Cr(A^*) = \min_{A^* \in A^{\text{доп}}} \sum_{i=1}^n |Y_M(i) - Y_{\mathcal{D}}(i)| \text{ и носит название «критерий метода наименьших модулей»};$$

- Евклидова норма $Cr(A^*) = \|E(t)\| = F(E(t)) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_M(i) - Y_\Theta(i))^2}$, тогда критерий (6)

имеет вид $\min_{A^* \in A^{\text{доп}}} Cr(A^*) = \min_{A^* \in A^{\text{доп}}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_M(i) - Y_\Theta(i))^2}$ и носит название «критерий метода наименьших квадратов» (МНК);

- \max -норма, или m -норма, $Cr(A^*) = \|E(t)\| = F(E(t)) = \max_{1 \leq i \leq n} |Y_M(i) - Y_\Theta(i)|$, тогда критерий (6) имеет вид $\min_{A^* \in A^{\text{доп}}} Cr(A^*) = \min_{A^* \in A^{\text{доп}}} \max_{1 \leq i \leq n} |Y_M(i) - Y_\Theta(i)|$ и носит название «критерий минимаксного метода Чебышева».

(Здесь n — число экспериментальных значений измеряемых величин за время t .)

Следует отметить, что при более строгой записи критерия метода наименьших квадратов в него включают весовые коэффициенты α_i , характеризующие большую или меньшую точность описания конкретной i -й точки измерения

$$Cr(A^*) = \|E(t)\| = F(E(t)) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \alpha_i (Y_M(i) - Y_\Theta(i))^2}.$$

Сегодня параметрическая идентификация реализуется явными и итерационными методами, отличающимися способами обработки информации.

При использовании явных схем оценивание параметров осуществляется при помощи ретроспективных алгоритмов идентификации, когда решение получается в результате обработки всего массива предварительно накопленных данных путем выполнения конечного числа элементарных операций и не может быть получено как результат промежуточных вычислений. К недостатку этого метода следует отнести дополнительные затраты на накопление информации, к достоинству — то, что результат идентификации (матрица коэффициентов) получается сразу же в процессе вычислений за один шаг.

Итерационные методы параметрической идентификации еще называют методами с настраиваемой моделью, в которых используется принцип подстройки модели к объекту по признакам близости поведения. Нахождение неизвестных параметров настраиваемой модели осуществляется в результате бесконечного числа операций, при этом каждый промежуточный результат представляет приближенное решение. Первоначальная оценка параметров такой модели основывается на данных базового (исходного) временного ряда. На основе новых данных, получаемых на каждом следующем шаге, происходит корректировка параметров модели во времени, их адаптация к новым, непрерывно изменяющимся условиям развития явления. К достоинству этого метода относят отсутствие дополнительных затрат на накопление информации, т.е. вычисления осуществляются в режиме реального времени, тем самым оценки параметров модели уточняются со скоростью, близкой к скорости протекания самого процесса. Условием выхода из итерационного алгоритма параметрической идентификации является выполнение условия

$$\|A_{k+1}^* - A_k^*\| < \varepsilon, \quad (7)$$

где k — номер итерации; ε — заданная точность; норма матрицы $\|A_{k+1}^* - A_k^*\|$ расхождения параметров модели на $(k+1)$ -м и на k -м шаге должна быть согласована с нормой вектора невязки.

После того как задача параметрической идентификации решена, часто встает вопрос о коррекции параметров. Это обусловлено тем, что для решения ряда актуальных задач для объекта управления к нему целесообразно предъявить ряд требований, которые должны быть формализованы в терминах построенной модели. Очень часто эти требования накладывают дополнительные ограничения на параметры модели. Поэтому суть алгоритма коррекции состоит в том, что найденные параметры модели должны быть от-

корректированы так, чтобы они удовлетворили дополнительным ограничениям. Очевидно, что при использовании явных схем оценивания параметров блок коррекции завершает параметрическую идентификацию. Если говорить об итерационных схемах, то коррекция параметров может осуществляться как внутри каждой итерации, так и после завершения всех итераций. В первом случае блок коррекции, встроенный в саму итерацию, может как увеличить, так и уменьшить скорость сходимости алгоритма параметрической идентификации, определяемой количеством шагов для выполнения условия сходимости (7).

В заключение отметим, что автором в работе [4] предложен подход решения задачи структурной идентификации инновационно-инвестиционного цикла наукоемких производств, в рамках которого построена динамическая управляемая модель, описываемая матричной системой дифференциально-алгебраических уравнений с запаздывающим аргументом, являющаяся обобщением известных моделей Кейнса, Самуэльсона и Хикса.

Следует отметить, что моделирование наукоемких и высокотехнологичных отраслей производств обладает рядом особенностей:

1. В качестве оценочного критерия инновационного потенциала и роста отраслей высоких технологий примем величину и динамику объемов реализованной продукции, созданной с использованием высоких технологий (емкость рынка). Результат любого высокотехнологичного производства можно разделить на две составляющие: непосредственно материальный продукт, который однозначно имеет стоимостную оценку, и множество дифференцированных продуктов, определяемых как знания. Специфика изучаемой проблемы выделяет самостоятельную компоненту знаний как основу для формирования взаимосвязанных и взаимозависимых сегментов рынка продуктов и объектов интеллектуальной собственности, а также как самостоятельный источник получения дохода инвестора. Таким образом, ВВП высокотехнологичной отрасли будем рассматривать как вектор

$$V(t) = [v_1(t) \ v_2(t)]^T,$$

где $v_1(t)$ — объем выпускаемых товаров и услуг; $v_2(t)$ — объем коммерческих сделок по торговле ОИС.

2. Достижения целей исследований и разработок высокого научно-технического уровня сопровождаются интенсивным инвестиционным процессом. С учетом специфики ВВП высокотехнологичной отрасли инвестору крайне важно разукрупнять общий поток инвестиций и оценивать каждую его компоненту. Объем чистых инвестиций высокотехнологичной отрасли будем рассматривать как вектор

$$I(t) = [i_1(t) \ i_2(t)]^T,$$

где $i_1(t)$ — общие затраты сектора рынка высокотехнологичных производств, за исключением затрат на НИОКР; $i_2(t)$ — инвестиции в новые знания (затраты на НИОКР).

Оба фактора — ВВП высокотехнологичной отрасли $V(t)$ и объем инвестиций $I(t)$ — будем считать в модели эндогенными.

3. Для осуществления политики формирования благоприятной среды стимулирования высокотехнологичных секторов экономики государство применяет различные инструменты.

Экзогенные управляющие воздействия описывает вектор

$$U(t) = [u_1(t) \ u_2(t) \ u_3(t) \ u_4(t)]^T,$$

где $u_1(t)$ — объем налоговых льгот и таможенных преференций; $u_2(t)$ — объем амортизационных отчислений; $u_3(t)$ — денежно-кредитная политика; $u_4(t)$ — уровень патентно-правовой защиты.

$$\begin{aligned} \frac{dV(t)}{dt} &= A V(t) + B I(t) + C U(t), \\ I(t) &= G V(t) + K I(t-h) + L U(t), \\ t &\geq h, \quad h = \text{const}. \end{aligned} \quad (8)$$

Здесь $V(t), I(t) \in \mathbb{R}^2, U(t) \in \mathbb{R}^4$ — факторы модели, являющиеся векторными функциями от временного аргумента, выраженные в каждый момент в денежных единицах. Соответствующие элементы матриц $A, B, G, K \in \mathbb{R}^{2 \times 2}, C, L \in \mathbb{R}^{2 \times 4}$ задают вес каждого компонента отрасли, инвестиционной программы, управленческой политики в процессе высокотехнологичного производства, которые можно назвать структурными характеристиками системы. Следует отметить, что размер матриц A, B, G, K, C, L определяется размерностями параметров $V(t), I(t), U(t)$ модели, которые в случае необходимости могут быть уточнены, т.е. система может быть «настроена» исследователем с помощью расширения векторов $V(t)$, и/или $I(t)$, и/или $U(t)$ и соответственно добавления в (8) одностепенных уравнений, что, тем не менее, не скажется на общем виде матричной системы. Матричные системы очень удобны, если в дальнейшем предполагается агрегирование или дезагрегирование экономических категорий, входящих в модель.

Начальные условия для системы зададим в виде

$$V(h) = V_h, \quad I(\tau) = \psi(\tau), \quad \tau \in [0, h]. \quad (9)$$

С точки зрения экономики начальные условия (9) могут быть интерпретированы следующим образом. В момент времени t от 0 до h осуществляются инвестиции в технологические инновации, закладывающие основу будущего рынка. Особенностью кардинальных инноваций, запускающих механизмы инновационного скачка, можно считать то, что в большинстве случаев они возникают после паузы, необходимой для превращения фундаментальных научных идей в прикладные или технологические разработки. $V(h) = V_h$ — объем потенциальных инноваций, который необходим для инновационного скачка. Стадия принятия решения относительно коммерциализации инновации — подготовительная — характеризуется тем, что на формирующихся рынках высокотехнологичной продукции первоначальный спрос, с одной стороны, может присутствовать в неявном виде — в ожидании технических и технологических решений, способных его удовлетворить, а с другой — система или социальная среда во многих случаях может оказаться совершенно не готовой к восприятию инноваций. На этой стадии осуществляющиеся инвестиции в технологические инновации, закладывающие основу будущего рынка, являются абсолютно затратными и способными окупиться только на последующих временных интервалах.

Следующий этап для построенной модели — решение задачи параметрической идентификации на реальных статистических данных. Алгоритм коррекции может строиться с учетом требования управляемости или поточечной управляемости модели инновационно-инвестиционного цикла наукоемких производств.

Л и т е р а т у р а

1. Льюинг, Л. Идентификация систем. Теория для пользователя / Л. Льюинг. — М. : Наука, 1991. — 432 с.
L'uing, L. Identifikatsiya sistem. Teoriya dlya pol'zovatelya / L. L'uing. — М. : Nauka, 1991. — 432 с.
2. Эйкхофф, П. Основы идентификации систем управления / П. Эйкхофф. — М. : Мир, 1975. — 686 с.
Eykhoff, P. Osnovy identifikatsii sistem upravleniya / P. Eykhoff. — М. : Mir, 1975. — 686 с.
3. Идентификация систем и задачи управления: на пути к современным системным методологиям / И. В. Прангишвили [и др.] // Проблемы упр. — 2004. — Вып. 4. — С. 2—15.

Identifikatsiya sistem i zadachi upravleniya: na puti k sovremennym sistemnym metodologiyam / I. V. Prangishvili [i dr.] // Problemy upr. — 2004. — Вып. 4. — С. 2—15.

4. Поддубная, О. Н. Интенсивный экономический рост: проблемы моделирования / О. Н. Поддубная // Вестн. Перм. ун-та. Сер. Математика. Механика. Информатика. — 2016. — Вып. 2 (33). — С. 88—97.

Poddubnaya, O. N. Intensivnyy ekonomicheskiy rost: problemy modelirovaniya / O. N. Poddubnaya // Vestn. Perm. un-ta. Ser. Matematika. Mekhanika. Informatika. — 2016. — Вып. 2 (33). — С. 88—97.

Статья поступила в редакцию 08.12.2016 г.

УДК 336.773

V. Poznyakov
Zh. Bobrovskaya
BSEU (Minsk)

DEVELOPMENT PROSPECTS OF STATE SYSTEM OF PROMOTION ASSISTANCE OF BELARUSIAN EXPORT

In the context of influence of external shocks on small open economy of the Republic of Belarus the last decade of crisis changes of markets made significant adjustments to priorities, dominant vectors and milestones, as well as required the development of new departures of competitive growth of Belarusian export. This article characters prevailing conditions and problems, in which export-led economy of the Republic of Belarus operates; principal directions and tendencies of increasing export are elicited. Directions are proposed and perspectives of formation and development of export-enabling environment of Belarusian economy in the context of global transformations and deep integration of the Republic of Belarus into international economic community are assessed. Elicited vectors and measures of increasing export help to achieve milestones of the national program of export support and development of the Republic of Belarus for the period from 2016 to 2020.

Keywords: export; exported enterprises; institutional structure of export; export insurance agencies; Commercial Interest Reference Rate; export credit; importer's credit.

В. В. Позняков
кандидат экономических наук, доцент
Ж. В. Бобровская
кандидат экономических наук, доцент
БГЭУ(Минск)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ БЕЛОРУССКОГО ЭКСПОРТА

В условиях влияния внешних шоков на малую открытую экономику Республики Беларусь последнее десятилетие кризисных изменений рынков внесло существенные коррективы в приоритеты, доминирующие векторы и целевые ориентиры, а также потребовало разработки новых направлений повышения конкурентоспособности белорусского экспорта. В статье дана характеристика сложившихся условий и проблем, в которых функционирует экспортноориентированная экономика Республики Беларусь, выявлены основные направления и тенденции наращивания экспорта. Предложены направления и оценены перспективы формирования и развития экспортостимулирующей среды белорусской экономики в условиях глобальных трансформаций и глубокой интеграции Республики Беларусь в международное экономическое сообщество. Выявленные векторы и меры наращивания экспорта позволят достигнуть целевых ориентиров Национальной программы поддержки и развития экспорта Республики Беларусь на период с 2016 до 2020 года.