ОЦЕНИВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАЗВИТИЯ ОБЪЕКТОВ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Соколова Н.А., Петров К.Э.
Херсонский национальный технический университет,
кафедра экономической кибернетики,
E-mail: sokol@ist.com.ua
Харьковский национальный университет внутренних дел,
кафедра прикладной математики

Abstract
Sokolova N.A., Petrov K.E. Estimation of economic activity objects development stability. *There is offered conditions identification of economic activities objects on the basis of the OEA conditions complex estimation, allowing to take into account industrial - financial activity OEA, the industrial side of activity ОХД, quality of production, cost of a fixed capital, perfection of management and innovative the sides of activity OEA. The concept of methodology of the analysis of stability of development of subjects of economic activities which includes a line of consecutive stages is proved and developed: a choice of basis and rules of an estimation, formation of information model of a control system by the finance, definition and the analysis of separate parameters of financial condition OEA, conditions of manufacture and perspectivity of development.*

Введение. Проблема обеспечения устойчивого, стабильного развития экономики как на национальном уровне, так и на уровне отдельных социотехнических и социально-экономических объектов, которые в дальнейшем будем называть объектами хозяйственной деятельности (ОХД), очень важна. Вместе с этим указанная проблема характерна для всех классов искусственных целенаправленных систем. В связи с этим имеется необходимость развития как общесистемной теории устойчивости, так и проблемно ориентированных ее разделов, позволяющих учитывать специфику различных классов объектов.

Основное содержание. Основы общей теории устойчивости и базовая терминология были заложены при исследовании технических динамических систем как объектов автоматического управления. При этом под динамической системой понимают механическую, электрическую, тепловую и т.п. системы, процессы в которых с достаточной точностью описываются системой обыкновенных дифференциальных уравнений.

Вопросы устойчивости состояний равновесия динамических систем изучается при решении многих прикладных задач в области теории автоматического регулирования, гироскопической стабилизации, радиотехники, электротехники и т. д. Состояния равновесия понимаются здесь в обобщенном смысле. Например, режимы движения с постоянной угловой скоростью, постоянным током и т.д., рассматриваются как равновесные режимы или как состояния равновесия. Такие состояния равновесия часто называют установившимися движениями по Раусу и Ляпунову [1].

Точное математическое определение устойчивости движения было дано А.М. Ляпуновым в 1892 г. Задача оценивания устойчивости состоит в том, чтобы узнать, «можно ли начальные значения функций x_s, характеризующих отклонение координат движения от нулевых значений), не делая их нулями, выбирать настолько численно малыми, чтобы за все время движения, следующее за начальным моментом, функции эти оставались численно меньшими некоторых заранее заданных» [1].

Рассмотрим систему, описываемую системой дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{cases} \dot{x} = f(t,x) \\ x(t_0) = x_0 \end{cases}. \qquad (1)$$

Допустим, что функция $f(t,x)$ обладает необходимыми свойствами, чтобы система (1) имела единственное решение

$$x(t) = \varphi(t, t_0, x_0)\,. \quad (2)$$

Тогда состояние системы x_e называется состоянием равновесия, если

$$f(x_e t) = 0, \forall t \quad (3)$$

или

$$\varphi(t, t_0, x_e) = x_e\,.$$

Это определение означает, что система сама по себе (при отсутствии внешнего воздействия) не покинет состояния равновесия.

Состояние равновесия x_e динамической системы (1) называется устойчивым стабильным по Ляпунову, если

$$\forall \varepsilon > 0,\ \exists \delta(\varepsilon, t_0) > 0 : \|x_0 - x_e\| < \delta \Rightarrow \|\varphi(t, t_0, x_0) - x_e\| \le \varepsilon, \forall \ge t_0\,. \quad (4)$$

Отсюда следует, что всегда можно выбрать такое начальное положение системы x_0, отличающееся от состояния равновесия менее, чем на δ, что все точки траектории системы будут находиться от состояния равновесия не далее ε.

Точка равновесия x_e динамической системы называется асимптотически устойчивой, если она является устойчивой по Ляпунову и выполнено

$$\forall m > 0,\ \exists T(m, t_0, x_0) > 0 :$$
$$\|x_0 - x_e\| \le r(t_0) \Rightarrow \|\varphi(t, t_0, x_0) - x_e\| \le m, \forall t \ge t_0 + T,$$

где $r(t_0) > 0$ — константа.

Другими словами

$$\lim_{t\to\infty} \varphi(t, t_0, x_0) = x_\varepsilon\,.$$

Таким образом, к асимптотически устойчивой точке равновесия сходится при $t \to \infty$ любая траектория, начинающаяся существенно близко к ней.

Исследованием вопросов устойчивости нелинейных систем занимались Даламбер, Лагранж, Максвелл, Томсон, Тэт, Вышнеградский и др. Однако Ляпунову А.М. удалось сформулировать и теоретически обосновать условия устойчивости, основанные на анализе корней характеристического уравнения системы.

Анализ корней характеристического уравнения приводит к хорошо известным условиям Рауса-Гурвица [2]. Если предположить, что начало координат перенесено в рассматриваемое состояние равновесия системы, то характеристическое уравнение для рассматриваемого состояния равновесия имеет вид:

$$y^n + p_1 y^{n-1} + \ldots + p_n = 0, \quad (5)$$

А условие Рауса-Гурвица выражается в виде неравенств

$$D_1 = p_1 > 0,\ D_2 = \begin{vmatrix} p_1 & 1 \\ p_2 & p_1 \end{vmatrix} > 0,\ D_3 = \begin{vmatrix} p_1 & 1 & 0 \\ p_3 & p_2 & p_1 \\ p_5 & p_4 & p_3 \end{vmatrix} > 0 \ldots,$$

$$D_n = \begin{vmatrix} p_1 & 1 & 0\ldots & 0 \\ p_3 & p_2 & p_1\ldots & 0 \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots \\ p_{2n-1} & p_{2n-2} & p_{2n-3}\cdots & p_n \end{vmatrix} > 0 \quad (6)$$

($P_j = 0$ если $j > u$).

Условие Рауса-Гурвица выделяет области значений параметров системы, соответствующие устойчивости состояния равновесия. Так как условия Рауса-Гурвица, в особенности для систем с многими степенями свободы, приводят к очень громоздким неравенствам, то часто вместо детерминантных условий Рауса-Гурвица пользуются критерием Найквиста.

Областью Рауса-Гурвица, относящейся к данному состоянию равновесия, обычно называют совокупность значений параметров системы, для которых все корни характеристического уравнения соответствующей линейной системы имеют отрицательную действительную часть. Величина этой области характеризует степень грубости системы.

Для некоторых прикладных систем представляет интерес выяснение поведения системы, если точка, изображающая ее в пространстве параметров, лежит на границе области устойчивости.

В общем случае для таких систем вопрос об устойчивости состояния равновесия решается исследованием нелинейных уравнений, полученных путем отбрасывания в правых частях исходных уравнений всех членов порядка выше третьего для точки границы области Рауса-Гурвица, соответствующей двум чисто мнимым корням характеристического уравнения, и путем отбрасывания всех членов порядка выше второго для точки границы, соответствующей одному нулевому корню.

При этих предположениях границы Рауса-Гурвица могут быть двоякой природы.

Безопасные (не критические) границы — достаточно малое, нарушение которых влечет за собой лишь весьма малые изменения состояния системы. Координаты системы претерпевают лишь весьма малые периодические изменения, накладывающиеся на равновесное (теперь неустойчивое) положение системы.

Опасные (критические) границы — сколь угодно малое, нарушение которых влечет переход системы в новое стояние, которое мы не можем приблизить к исходному выбором достаточно малых нарушений границы.

Эта классификация границ области Рауса-Гурвица на опасные и безопасные, представляет интерес при исследовании качественной картины разбиения фазового пространства на траектории, в частности для теории зависимости качественной структуры такого разбиения от параметра.

Метод функций Ляпунова представляет собой метод получения информации о семействе решений уравнения $x = f(x)$ без действительного вычисления численных значений этих решений. В этом методе задача численного решения уравнений заменяется задачей построения функций Ляпунова.

Теоретически аппарат анализа устойчивости по Ляпунову разработан для изолированных (замкнутых) систем и не применим для анализа открытых, т.е. обменивающихся с внешней средой ресурсами, систем, к которым относятся все социально-экономические системы, в том числе ОХД. В этом случае можно сохранить только терминологию и ее семантику, но методология анализа устойчивости должна быть принципиально иной.

Принципиальное отличие заключается в том, что для ОХД необходимо формирование скалярной многофакторной оценки состояния в многомерном пространстве состояний и определение на этой основе устойчивости состояния как степени удаленности от границ области устойчивости, которые более корректно интерпретировать как границы области допустимых состояний. Таким образом для оценки устойчивости можно воспользоваться обобщенным (комплексным) показателем.

Установить в явном виде зависимость обобщенного показателя оценки устойчивости ОХД от большого числа частных невозможно, если не использовать ряд допущений и метод декомпозиции. С этой целью разобьем множество частных показателей на основные $F_{осн}$ и дополнительные $F_ц$. Из множества возможных показателей, характеризующих состояние объекта F, необходимо выбрать подмножество $F(x) \subset F$, которое достаточно полно характеризует траекторию развития ОХД. Каждый показатель состояния ОХД $F_j \in F$ является функционалом, определенным на множестве параметров X, вида

$$F_j = F_j(X), \tag{7}$$

где X — множество независимых переменных, характеризующих деятельность ОХД.

Будем считать, что некоторые конкретные значения частных показателей определяют границы выпуклого множества устойчивых состояний в n-мерном пространстве $F_j(x)$, $j=\overline{1,n}$.

По аналогии с областью устойчивости замкнутых систем разделим множество границ, т.е. показателей $F_j(x)$, $j=\overline{1,n}$ на два подмножества — критических $F^{KP}(x)$ и не критических $F^{HK}(x)$ показателей. Они отличаются тем, что в близких окрестностях некритической границы области устойчивости ОХД изменение частного показателя происходит линейно, т.е. малым вариациям $\Delta F_j^{HK}(x)$ соответствуют пропорционально малые вариации изменения эффективности деятельности предприятия. В отличие от этого окрестности критической границы (показателя) являются зоной бифуркации, и нарушение границы приводит к катастрофическому нелинейному изменению эффективности функционирования, например, к банкротству.

К сожалению, в настоящее время для социально-экономических объектов отсутствует строгий математический аппарат оценки критичности границ области устойчивости, аналогичный теории устойчивости по Ляпунову. Поэтому для ОХД можно сформировать только эвристические оценки устойчивости. Для решения этой задачи предлагается следующий подход.

Обобщенный критерий устойчивости развития ОХД выражается через критические показатели, а на некритические показатели накладываются ограничения. В обобщенный показатель должны входить показатели производственной, финансовой и инновационной деятельности ОХД. Таким образом:

$$K_{об} = F(x) = F(\Phi,\lambda) = \lambda_1\Phi_1 + \lambda_2\Phi_2 + \lambda_3\Phi_3, \qquad (8)$$

где $K_{об} = F(\Phi,\lambda)$ — обобщенный критерий оценки развития ОХД; $\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3$ — весовые коэффициенты; Φ_1 — составляющая, учитывающая факторы финансового состояния ОХД; Φ_2 — составляющая, учитывающая производственную сторону деятельности ОХД: качества продукции, стоимость основных фондов, совершенство управления; Φ_3 — составляющая, учитывающая инновационную сторону деятельности ОХД.

Весовые коэффициенты λ выбираются экспертным путем, причем $\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3=1$.

Все остальные показатели, влияющие на развитие ОХД, такие как рентабельность работы ОХД $P_{ПР}$, рентабельность основной деятельности $P_{осн}$, период окупаемости собственного капитала $T_{ОК}$, оборачиваемость основного капитала ($ООК$), коэффициент маневренности $K_м$, коэффициент ликвидности $A\ell$, коэффициент обеспеченности собственными средствами K_1 отнесены к некритическим показателям.

Исходя из вышеизложенного, математическая формулировка задачи оценки качества устойчивости системы может быть сведена к следующей: определить показатели и характеристики системы, ее компонентов, которые обеспечивают

$$F(x) = F_1(\Phi_i,\lambda_i) = \max(\lambda_1\Phi_1 + \lambda_2\Phi_2 + \lambda_3\Phi_3) \qquad (9)$$

при условии, что выделенные показатели не превышают допустимых значений:

$$P_{ПР} \ge P_{ПР_{min}};\ P_{осн} \ge P_{осн_{min}};\ T_{ОК} \le T_{ОК_{доп}};\ ООК \le ООК_{доп};\ K_М \ge K_{М_{min}};\ A\ell \ge A\ell_{min};\ K_1 \ge K_{1min}.$$

Рассмотрим более подробно составляющие Φ_1, Φ_2 и Φ_3.

Показатели финансового благополучия Φ_1 может быть соотнесен со степенью устойчивости развития ОХД. Если эволюция развития ОХД приводит к состоянию финансового благополучия ОХД, то можно говорить об устойчивости развития на уровне составляющей Φ_1. Схема измерения составляющей Φ_1 обобщенного показателя оценки устойчивости развития следующая.

1. Полное множество состояний А ОХД разбивается на пять (в общем случае пересекающихся) нечетких подмножеств вида:

А1 — нечеткое подмножество состояний «предельного неблагополучия (фактического банкротства)»;

А2 — нечеткое подмножество состояний «неблагополучного развития»;

А3 — нечеткое подмножество состояний «среднего качества устойчивости развития»;

А4 — нечеткое подмножество состояний «хорошей устойчивости развития»;

А5 — нечеткое подмножество состояний «отличной устойчивости развития».

То есть, терм-множество лингвистической переменной «Финансовое состояние ОХД» представлено состоящим из пяти компонент. Каждому из подмножеств $A1,\ldots,A5$ соответствуют свои функции принадлежности $\mu 1(\Phi_1),\ldots,\mu 5(\Phi_1)$, где Φ_1 — составляющая комплексного показателя финансового состояния ОХД, причем, чем выше Φ_1, тем «благополучнее» состояние устойчивости развития ОХД.

2. Осуществляется выбор базовой системы показателей X_i и производится нечеткая классификация их значений.

Пусть $D(X_i)$ — область определения параметра X_i, множество точек оси действительных чисел. Определим лингвистическую переменную «Уровень показателя X_i» с введением пяти нечетких подмножеств множества $D(X_i)$:

B1 — нечеткое подмножество «очень низкий уровень показателя X_i»;

B2 — нечеткое подмножество «низкий уровень показателя X_i»;

B3 — нечеткое подмножество «средний уровень показателя X_i»;

B4 — нечеткое подмножество «высокий уровень показателя X_i»;

B5 — нечеткое подмножество «очень высокий уровень показателя X_i».

Задача описания подмножеств $\{B\}$ — это задача формирования соответствующих функций принадлежности.

3. Построение функций принадлежности $\{\mu\}$ нечетких подмножеств $\{A\}$.

4. Оценка значимостей показателей для обобщенной оценки Φ_1. Каждому i-му показателю k-уровня состояния ОХД можно сопоставить оценку значимости локального показателя характеризующего уровень состояния ОХД. Например, банк, анализируя кредитоспособность заемщика, присваивает большую значимость показателям финансовой устойчивости и ликвидности, и меньшую — показателям прибыльности и оборачиваемости. Построение системы весов должно проводиться по каждому ОХД индивидуально.

Систему оценок значимостей $\{p\}$ целесообразно пронормировать следующим образом:

$$\sum_{i+1}^{N} p_{ik} = 1,\ k = 1,\ldots,5 .$$

Если значения предпочтений одних показателей другим неизвестны, то показатели принимаются равнозначными.

5. Построение показателя Φ_1. Показатель Φ_1 строится как двумерная свертка по совокупности показателей X_i с весами p_i и по совокупности состояний с весами $\{I\}$.

6. Распознавание текущего состояния ОХД. Правило для распознавания состояния ОХД представлено в виде таблицы 1. Одновременно, в соответствии с результатом распознавания по таблице оценивается степень риска банкротства ОХД. Интервал значений Φ_1 для различных подмножеств определялся на основании экспертных оценок.

Таблица 1 — Правило распознавания финансового состояния ОХД

Интервал значений $Ф_1$	Классификация уровня благополучного развития
$0 < Ф_1 < 0.15$	«критическое неблагополучие»
$0.15 < Ф_1 < 0.25$	«сильное неблагополучие»
$0.25 < Ф_1 < 0.35$	«неблагополучие»
$0.35 < Ф_1 < 0.45$	«удовлетворительное состояние»
$0.45 < Ф_1 < 0.55$	«среднего качества»
$0.55 < Ф_1 < 0.65$	«удовлетворительное благополучие»
$0.65 < К_{об} < 0.75$	«относительное благополучие»
$0.75 < Ф_1 < 0.85$	«хорошее благополучие»
$0.85 < Ф_1 < 1.0$	«предельное благополучие»

Рассмотрим теперь определение составляющей $Ф_2$, учитывающей производственную сторону деятельности ОХД. В настоящее время как в отечественной практике так и за рубежом в качестве подобного критерия используется наиболее часто [3] абсолютная прибыль предприятия, которая характеризуется разницей между выручкой от реализации продукции и затратами (полная себестоимость продукции и производственные расходы).

Прибыль отражает результат действия трех основных показателей развития производства: роста объема выпускаемой продукции; улучшение качества продукции; снижение себестоимости продукции.

Однако сама по себе абсолютная величина прибыли еще не характеризует эффективность производственной деятельности ОХД, поскольку отражает только лишь величину текущих издержек производства и не учитывает объема изменения производственных фондов.

Более полно производственную деятельность предприятия отражает показатель рентабельности, рассматриваемый как отношение прибыли к сумме основных и оборотных средств. Преимущество излагаемого показателя состоит в том, что он увязывает воедино текущие затраты и объем общественного авансирования, отражает снижение себестоимости, рост прибыли, улучшение качества продукции, стоимость производственных фондов, совершенство управления и т.д.

Таким образом, функционал качества ведения производства может быть принят в следующей форме:

$$К = П/(Ф_0 + Ф_{об})$$

или

$$К = П/Ф_{\Sigma}\alpha_{оп}, \tag{10}$$

где $П$ — абсолютная величина прибыли за рассматриваемый период; $Ф_о$ — стоимость основный фондов; $Ф_{об}$ — стоимость оборотных средств; $Ф_{\Sigma}$ — средняя хронологическая сумма производственных основных и оборотных средств за отчетный период; $\alpha_{оп}$ — коэффициент, характеризующий продолжительность периода развития.

Функционал (10) в явной форме зависит от усредненных значений начального и планируемого состояний развития (X_0X), и в неявной — от качества управления, методов организации производственного процесса и учета факторов внешней среды.

Показатель рентабельности является наиболее обобщающей составляющей экономического показателя, характеризующего производственную деятельность ОХД, соответствует методам хозяйственного расчета и может быть принят в качестве составляющей $Ф_2$ как критерия оценки качества ведения производства. Из формулы (10) в частности следует, что основной путь повышения эффективности развития заключается во внедрении более совершенных технологических процессов; совершенствования организации производства; механизации и автоматизации производства; сокращении и ликвидации непроизводительных расходов и т.п. Следовательно, эффективность системы управления производством может быть оценена по математическому ожиданию приращения

$$Ф_2 = M(\Delta K) = M_{K_2} - M_{K_1} \qquad (11)$$

где M_{K_1} и M_{K_2} — математическое ожидание значения функционала качества ведения производства в начале и в конце исследуемого периода развития.

Третью составляющую $Ф_3$ обобщенного критерия оценки устойчивости развития ОХД предлагается определять следующим образом

$$Ф_3 = \alpha \frac{S_ф}{П}, \qquad (12)$$

где $S_ф$ — объем фонда развития, выделяемый на развитие; П — абсолютная величина прибыли ОХД, α — некоторый коэффициент, зависящий от особенностей ОХД.

$$0 \le \frac{S_ф}{П} \le 1.$$

В результате проведенных экспертиз получена следующая экспертная оценка весовых коэффициентов λ_i:

$$\lambda_1 = 0.33;\ \lambda_2 = 0.5;\ \lambda_3 = 0.17;$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1.0$$

Таким образом, для оценки развития ОХД предлагается следующее выражение

$$K_{об} = 0.33Ф_1 + 0.5Ф_2 + 0.17Ф_3 \qquad (13)$$

где $Ф_1$ — экспертная оценка финансового состояния; $Ф_2$ — экспертная оценка производства; $Ф_3$ — экспертная оценка перспективности ОХД.

Заключение. Выполненный анализ методов оценки устойчивости функционирования и развития различных объектов показал, что методы Ляпунова, Лагранжа, Рауса-Гурвица не применимы к анализу объектов хозяйственной деятельности. Сохраняется только терминология и семантика.

Предложена идентификация устойчивости состояний ОХД на основе комплексной оценки состояний, позволяющей учитывать производственно-финансовую, производственную деятельность ОХД, улучшение качества продукции, стоимость основных фондов, совершенство управления и инновационную деятельность ОХД. Разработана и приведена модель финансового анализа работы ОХД, позволяющая идентифицировать состояние и развитие ОХД. Обоснована и разработана методология оценивания производственно-финансового анализа устойчивости развития объектов хозяйственной деятельности, которая включает в себя ряд последовательных этапов: выбор базиса и правил оценки, формирование информационной модели системы управления финансами, определение и анализ отдельных показателей финансового состояния ОХД, состояния производства и перспективности развития.

Предложен обобщенный показатель оценки устойчивости развития ОХД на основе идентификации состояния ОХД, учитывающего производственную, финансовую составляющие ОХД и составляющую инновационной деятельности по развитию ОХД.

Литература

1. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. М. — Л.: ОНТИ, 1935. — 386 с.
2. Г. Дж. Кушнер. Стохастическая устойчивость и управление. — М.: Мир, 1969. — 200 с.
3. Гранберг А.Г. Моделирование социалистической экономики. — М.: Экономика, 1986. — 487 с.