

УДК 338.45:519.876.2

ТОЧКИ БИФУРКАЦИИ В ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Титов В.А., Вейнберг Р.Р.

ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», Москва,
e-mail: vtitov213@yandex.ru, veynberg@gmail.com

Статья посвящена такому явлению, как бифуркация, и ее возникновению в динамических системах. Данный термин обозначает приобретение нового качества в движениях динамической системы при малом изменении её параметров. Значения параметров, при которых происходит изменение качества установившихся режимов движения в системе, называются бифуркационными значениями параметра (или точкой бифуркации). Точка бифуркации – одно из наиболее значимых понятий теории самоорганизации. Это такой период или момент в истории системы, в котором она становится неустойчивой к изменениям и возникает неопределенность: останется ли система хаотичной или перейдет на новый, более высокий уровень упорядоченности. Заметка будет интересна управленцам, аналитикам и всем интересующимся системной динамикой и теорией менеджмента самоорганизующихся систем.

Ключевые слова: точки бифуркации, менеджмент, управление сложными системам

BIFURCATION POINTS IN DYNAMIC SYSTEMS

Titov V.A., Veynberg R.R.

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, e-mail: vtitov213@yandex.ru, veynberg@gmail.com

The article is devoted to such a phenomenon as «bifurcation» and its appearance in dynamic systems. This term indicates the acquisition of new quality in the movements of the dynamic system with a small change in its parameters. The values of the parameters under which the quality of steady-state motion options in the system change is called the bifurcation values of the parameter (or bifurcation point). The point of bifurcation is one of the most significant concepts of self-organization theory. This is a period or a moment in the history of the system in which it becomes unstable to change and uncertainty arises: whether the system will remain chaotic or move to a new, higher level of order. This note will be of interest to managers, analysts and everyone who are interested in system dynamics and management theory of self-organizing systems.

Keywords: bifurcation points, management, complex systems management

Учитывая тот факт, что данное сообщение предполагает внесение вклада в изучение экономических систем на основе динамических моделей, целью исследования является разработка нового подхода к моделированию инновационных экосистем, принимая во внимание роль государства как регулятора инновационной активности.

Вначале необходимо рассмотреть простые примеры и их модели, которые в дальнейшем будут усложнены и усовершенствованы. Данные модели основаны на функциональных отношениях их элементов между собой, которые будут отражать причинно-следственные цепочки [5]. Поэтому будут приведены примеры моделей с обратной связью, выраженные через диаграммы обратных связей. Простейшим примером могут служить диаграммы влияния уменьшения издержек на рыночную экспансию какого-либо товара или услуги.

За последнее десятилетие наука менеджмента приобрела новый вектор развития в сторону анализа природных и социальных систем. Это подразумевает применение системного подхода. Поэтому системная динамика является необходимым инструментом, помогающим лучше понять механизмы

функционирования сложных систем. Одним из основателей системной динамики был Джей Форрестер из Массачусетского технологического института, внесший большой вклад в ее развитие в 1950-х гг. [3, 4].

Модели системной динамики основываются на дифференциальных уравнениях и берут свое начало в инженерных науках. Популярность системной динамики возросла в течение последних двух десятилетий с появлением новых компьютерных методов симулирования этих моделей.

Первым шагом в создании модели системной динамики является определение переменных, существующих в системе, а также их взаимосвязей. Эти связи и их элементы могут быть отображены в диаграммах причинно-следственных связей. Такая диаграмма состоит из переменных, связанных между собой стрелками, обозначающими их влияние друг на друга. Такие отношения обозначаются «+» либо «-» в зависимости от вида связи.

Диаграмма показывает свойства системы: типы компонент и их отношения. Диаграмма причинно-следственной связи помогает описать динамику поведения системы во времени, потому что поведение

системы в большей степени зависит не от сложности самих элементов, а от совокупности элементов и их связей в рамках единой системы [1]. Взаимозависимые элементы существуют в большинстве систем, они показывают эффект поведения или действий (позитивных или негативных) одного элемента на другие и систему в целом.

В позитивных связях любое изменение элемента вызывает изменение другого элемента в сторону увеличения, а в негативных – в сторону уменьшения. Когда такая диаграмма построена, намного легче обнаружить качественно альтернативные структуры и стратегии как внутри системы, так и в ее окружении, что может существенно улучшить систему.

Термин бифуркация (от латинского *bifurcus* – «раздвоенный») – в широком смысле обозначает приобретение нового качества в движениях динамической системы при малом изменении её параметров. Таким образом, в условиях зависимости системы от какого-либо параметра его изменение приводит, в общем случае, к плавному изменению системы [8]. Однако оно может приобрести радикальный характер в случае, если параметры системы выходят за пределы некоторого критического значения. Значения параметров, при которых происходит изменение качества установившихся режимов движения в системе, называются бифуркационными значениями параметра (или точкой бифуркации).

Точка бифуркации – одно из наиболее значимых понятий теории самоорганизации. Это такой период или момент в истории системы, в котором она становится неустойчивой к изменениям и возникает неопределенность: останется ли система хаотичной или перейдет на новый, более высокий уровень упорядоченности. Такое радикальное изменение качественных характеристик при достижении точки бифуркации влечет изменение сущности всей системы. Механизм ее трансформации в период бифуркации обусловлен ветвлением системной траектории на конкурентные аттракторы.

В такие периоды способность системы гасить случайные отклонения от основного направления движения сменяется неустойчивостью, точнее устойчивостью двух или более новых состояний [2]. Выбор между ними определяет случай, а в явлениях общественной жизни – волевое решение. После этого переход в иное состояние становится затруднительным, так как в выбранном состоянии систему поддерживают механизмы саморегулирования [6].

Точки бифуркации могут иметь важное значение при изучении поведения моделируе-

мой динамической системы для определения интервалов между точками бифуркации, при которых развитие системы проходит по различным сценариям [7]. Как правило, реализация даже простых моделей аналитическим методом является трудноразрешимой задачей из-за их нелинейности и наличия большого числа связей, поэтому математические методы решения более сложных моделей имеют незначительную степень полезности. Тем более в системах, в которых присутствуют многочисленные связи элементов друг с другом, а также учитывая нелинейность модели, поведение системы трудно спрогнозировать. Например, в системах, обладающих многочисленными связями и нелинейностью, поведение системы может стать неожиданно нечувствительным к изменению большинства параметров системы. Это означает, что большинство входов в систему может быть изменено без существенного влияния на поведение системы. Это происходит частично ввиду ослабления влияния одного параметра среди большого набора других параметров. Такой вид поведения является аналогичным для сложных моделей. Тем не менее методы системной динамики могут показать, какие из параметров системы имеют достаточную силу влияния на всю систему таким образом, чтобы кардинально изменить ее поведение. Это – существенное преимущество системной динамики в изучении технических, социальных и экономических систем.

Выполнено в рамках научно-исследовательской работы по гранту Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых по договору № 14.Z56.16.6249-МК от 14.03.2016 г.

Список литературы

1. Аникина Е.А., Борисова Л.М., Ермушко Ж.А., Рыжкова М.В., Таран Е.А. Кризис как социально-экономическое явление в развитии сложных систем // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – № 6. Т. 315. – С. 24–28.
2. Вышинский А.А., Ибрагимова Л.С., Муртазина С.А., Юмагулов М.Г. Операторный метод приближенного исследования правильной бифуркации в многопараметрических динамических системах // Уфимский математический журнал. – 2010. – № 4. Т. 2. – С. 3–26.
3. Носырев М.А. Точка бифуркации современного менеджмента // Государственная власть и местное самоуправление. – 2011. – № 5. – С. 5–7.
4. Савинова В.М. Методология и средства повышения точности и качества краткосрочного прогноза показателей социальной сферы РФ // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2014. – Т. 186. – С. 311–316.
5. Титов В.А., Вейнберг Р.Р. Анализ существующих динамических моделей на базе системы уравнений лотки-вольтерры «хищник – жертва» // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 8–2. – С. 409–413.
6. Титов В.А., Хайрулин И.Г. Влияние согласованности экспертных суждений на принятие решения о выборе инвестиционных проектов по методу анализа иерархий // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – С. 448.
7. Forrester J.W. *Industrial Dynamics*. – Productivity Pr., 1961. – P. 479.
8. Forrester J.W. *Principles of Systems*. – Pegasus Communications, 1968. – P. 387.