

УДК 303.732[65.012]

МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВОМ «ПОДВИЖНОГО РАВНОВЕСИЯ» ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ С АКТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

В.Н. Волкова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Россия, 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
E-mail: violetta_volkova@ilist.ru

А.В. Логинова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Россия, 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
E-mail: alexandra-lo@yandex.ru

Ключевые слова: модель, подвижное равновесие, пространство состояний, теория систем, системный анализ, эквифинальность, эмерджентность, энтропийно-неэнтропийные тенденции.

Аннотация: Для исследования социально-экономических систем предлагается отобразить их как открытые самоорганизующиеся системы с активными элементами, находящиеся в состоянии подвижного равновесия и разработать модели, позволяющие управлять этим состоянием. Предлагается два вида моделей: 1) модели оценки состояния подвижного равновесия на основе степени целостности системы и свободы ее элементов, необходимой для возникновения негэнтропийных процессов, для развития системы; 2) модели анализа ситуаций подвижного равновесия с учетом взаимного влияния учитываемых компонент, значимых для существования и развития системы. Предлагаемые модели позволяют контролировать состояние подвижного равновесия социально-экономического пространства, проводить системный анализ возникающих ситуаций с учетом взаимного влияния учитываемых в модели компонент, исследовать сохранение устойчивого развития системы при внедрении инноваций.

1. Введение

Идею об особой роли пространства и времени в социально-экономических системах впервые сформулировал А.А. Богданов, который для представления состояния такого пространства предложил понятие «подвижное равновесие» [1]. Суть подвижного равновесия объяснил Л. фон Берталанфи, который связал это понятие с понятием эквифинальности – предельным уровнем развития системы в конкретный период ее развития. Для исследования сложных открытых систем термин «пространство состояний» предложил использовать М. Месарович, который ввел этот термин, объясняя суть терминального подхода [2, с. 168].

В статье характеризуются особенности пространства подвижного равновесия и предлагаются модели управления состоянием и развитием этого пространства.

2. Проблема управления пространством подвижного равновесия

Термин «подвижное равновесие» ввел Александр Александрович Богданов (Малиновский) [1]. При введении этого понятия А.А. Богданов опирался на «закон равновесия», сформулированный в физико-химических науках А.Л. Ле-Шателье, объяснял свои идеи с помощью специфических терминов (ассимиляции – десимиляции, т. е. уподобления – разуподобления, общеорганизационных методов ингрессия, эгрессия, дегрессия [1], которые до сих пор вызывают дискуссии. Суть подвижного равновесия объяснил Л. фон Бергаланфи, который предложил закономерность, противоречащую второму закону термодинамики, обеспечивающую «способность противостоять энтропийным (разрушающим систему) тенденциям» и объяснять развитие мира. Бергаланфи связал понятие *подвижного равновесия* с понятием *эквифинальности* – предельным уровнем развития системы, комфортным для определенного периода ее развития [3, с. 42].

Термин «подвижное равновесие» имеет особый смысл, который сложно передать другими терминами. Термин «подвижное равновесие» имеет особый смысл, который сложно передать другими терминами. В английском языке нет термина, передающего сложное понятие «*подвижное равновесие*» (moving equilibrium – движущееся равновесие; state of mobile equilibrium – состояние мобильного равновесия). Л. фон Бергаланфи использует несколько терминов: *Fließgleichgewicht* (нем., дословно «равновесие потока»), “(quasi-)state equilibrium” (квазистатическое равновесие). Точнее всего передает смысл этого термина “movable equilibrium”, применяющееся в ситуациях движения ресурсов (напр., movable of financial resources – движимая часть финансовых средств, movable property – движимое имущество), т. е. когда движение осуществляется не в координатах псевдоевклидова пространства.

При нахождении объекта в состоянии подвижного равновесия движения не происходит, если связывать движение с системой координат пространства–времени. Происходит изменение соотношения энтропийно-негэнтропийных тенденций, т.е. имеет место принципиально *другая координата*.

Понятно, что измерить положение системы на этой координате вряд ли возможно. В то же время контролировать состояния подвижного равновесия возможно на основе применения закономерностей теории систем и введение некоторых количественных измерений на основе информационных оценок, предложенных А.А. Денисовым [6].

3. Модели для управления состоянием подвижного равновесия

А. Холл и Р. Фейджин [5], исследуя процессы в Bell Telephone Laboratories, поняли, что ни одна реально сложная система не может существовать как абсолютно целостная и устойчивая и является в определенном состоянии, называемом А.А. Богдановым и Л. фон Бергаланфи состоянием подвижного равновесия. А. Холл предложил для оценки изменения этого состояния использовать предложенные Л. фон Бергаланфи закономерности *прогрессирующей факторизации* – стремлением системы к состоянию со всё более независимыми элементами, и *прогрессирующей систематизации* – стремлением системы к уменьшению самостоятельности элементов, т.е. к большей целостности.

Для оценки состояния подвижного равновесия (т.е. соотношения энтропийно-негэнтропийных тенденций) А.А. Денисовым было предложено связать их проявление с оценками степени целостности и степени свободы элементов системы, поскольку негэнтропийные тенденции проявляются при наличии в системе достаточной свободы элементов. Любая развивающаяся система находится, как правило, между состоянием

абсолютной целостности и абсолютной аддитивности, и выделяемое состояние системы (ее «срез») можно охарактеризовать степенью проявления одного из этих свойств или тенденций к его нарастанию или уменьшению. На основе информационного подхода А.А. Денисов [6] ввел сравнительные количественные оценки системы с точки зрения степени целостности:

$$\alpha = -C_v/C_o,$$

и коэффициента использования элементов в целом

$$\beta = C_c/C_o,$$

где C – оценка информационной сложности системы; $C = J \cap H$; J – информация восприятия; H – информационная сущность (потенциал); C_c , C_o , C_v – системная, собственная и взаимная сложности системы. $C_c = C_o + C_v$. J и H могут измеряться вероятно и детерминировано [6].

При этом

$$\alpha + \beta = 1.$$

Это означает, что невозможно одновременно обеспечить и большую целостность (устойчивость экономики, безопасность и т.п. общесистемные свойства), и беспредельную свободу элементов системы.

А.А. Денисов использовал результаты своих исследований в политической деятельности в период избрания народным депутатом СССР и членом Верховного Совета СССР в период первого поиска «перестройки» путей развития экономики России 1988-1990 гг. [7].

Исследования показали, что степень целостности, необходимая для устойчивости системы, и степень свободы её элементов, необходимая для её развития, зависят от вида структуры системы [6]. При этом целостность обеспечивается не только регулированием «сверху», но и усилением связности, ограничивающей свободу элементов. Например, в компьютерных сетях в результате увеличения связности проявляются негативные процессы, ограничивающие свободу компонентов сети.

Закономерности, регулирующие энтропийно-негэнтропийные процессы в системе, полезно учитывать также при управлении инновационной деятельностью предприятий в условиях внедрения технологических инноваций. На основе учета этих закономерностей следует принимать решение о целесообразности внедрения инноваций, которые в соответствии с исследованиями Й. Шумпетера и В. Зомбарта [8] создают ситуацию «креативного разрушения» или по К. Кристенсену [9] представляют собой особый вид «подрывных инноваций». Поэтому необходимо разрабатывать и применять модели управления устойчивым развитием предприятий и организаций (например, [10, 11]).

4. Модели анализа пространства подвижного равновесия с учетом взаимного влияния компонент

Основываясь на изучении энтропийно-негэнтропийных процессов, А. Холл показал, что факторизация может быть двух типов:

- 1) разрушение системы (износ, старение);
- 2) разработка системы на основе разграничения функций на основе внедрения новых технологий и формирования новых подсистем.

Например, имеется система уравнений:

$$(1) \quad \begin{aligned} a_1x_1 + a_2x_2 &= c_1, \\ b_1x_1 + b_2x_2 &= c_2. \end{aligned}$$

Предполагается, что взаимные или «переносные» члены a_2 и b_1 являются функциями времени. Если эти члены уменьшаются, стремясь к нулю, т. е. $a_2 \rightarrow 0$ и $b_1 \rightarrow 0$, то в итоге получаются две независимые системы, представленные вышеупомянутыми уравнениями, и окружающая система, состоящая из двух уравнений (1), станет «факторизованной», т. е. распадется. Тогда анализ состояния переходных членов можно считать критерием сохранения системы, т. е. критерием устойчивости в определенном смысле.

По аналогии с этой идеей можно отобразить пространство состояний совокупностью параметров с учетом их взаимного влияния:

$$(2) \quad \begin{aligned} H_1 &= f(H_{11}, H_{12}, H_{13}, \dots), \\ H_2 &= f(H_{21}, H_{22}, H_{23}, \dots), \\ H_3 &= f(H_{31}, H_{32}, H_{33}, \dots), \\ &\dots \end{aligned}$$

где H_1, H_2, H_3, \dots – значимость (сущность) 1-го, 2-го, 3-го и т. д. параметра, учитываемого при моделировании пространства состояний; $H_{11}, H_{22}, \dots, H_{ii}, \dots$ – собственная значимость 1-го, 2-го, i -го, ... параметра при отсутствии других параметров; $H_{12}, H_{13}, \dots, H_{21}, H_{23}, \dots, H_{ij}, \dots$ – изменение значимости i -го параметра при учете влияния j -го параметра.

На основе этой модели, по аналогии с моделью (1) оценивать переходные члены и предложить критерий оценки сохранности целостности системы в виде матрицы:

$$(3) \quad \left\| \begin{array}{cccc} H_{11}, H_{12}, \dots, H_{1j}, \dots, H_{1n} \\ H_{21}, H_{22}, \dots, H_{2j}, \dots, H_{2n} \\ \dots \\ H_{n1}, H_{n2}, \dots, H_{nj}, \dots, H_{nn} \end{array} \right\|,$$

Тогда, если H_{ij} возрастает, то возникает тенденция постепенной систематизации, т. е. стремление к большей целостности, а следовательно, стабильности и устойчивости пространства. А если H_{ij} уменьшается, то существует тенденция прогрессивной факторизации, т. е. распад системы территориального управления.

Можно в модели (2) пространства по А.А. Денисову учесть кинематику и динамику ситуации. Такую модель можно получить на основе формализованного представления законов диалектической логики, предложенных в [6]:

$$(4) \quad \begin{aligned} H_1 &= J_1/n_{11} + J_2/n_{12} + \dots + \tau_{11}dJ_1/dt + \tau_{12}dJ_2/dt + L_{11}d^2J_1/dt^2 + L_{12}d^2J_2/dt^2 + \dots, \\ H_2 &= J_1/n_{21} + J_2/n_{22} + \dots + \tau_{21}dJ_1/dt + \tau_{22}dJ_2/dt + L_{21}d^2J_1/dt^2 + L_{22}d^2J_2/dt^2 + \dots, \\ &\dots \\ H_i &= J_i/n_{ii} + J_j/n_{ij} + \dots + \tau_{ii}dJ_i/dt + \tau_{ij}dJ_j/dt + L_{ii}d^2J_i/dt^2 + L_{ij}d^2J_j/dt^2 + \dots, \\ &\dots \\ H_m &= J_1/n_{m1} + J_2/n_{m2} + \dots + J_m/n_{mm} + \tau_{m1}dJ_1/dt + \tau_{m2}dJ_2/dt + \dots + \tau_{mm}dJ_m/dt + \\ &L_{m1}d^2J_1/dt^2 + L_{m2}d^2J_2/dt^2 + \dots + L_{mm}d^2J_m/dt^2. \end{aligned}$$

где J_i – информация восприятия об i -м параметре отображаемого пространства; $i = \overline{1, m}$, J может измеряться детерминировано $J = A/\Delta A$, A – материальная сущность параметра; ΔA – единица измерения параметра; или вероятностно $J = \log p_i$, p_i – вероятность влияния данного параметра на ситуацию (применяется в тех случаях, когда параметр не может быть измерен с использованием количественных единиц; m – число параметров, учитываемых при отображении пространства состояний; d символизирует отрицание «не»; это формализм понятия об изменении объекта самого по себе во времени; n_{ii} – собственный объем влияния i -го параметра на исследуемую ситуацию, а n_{12}, n_{13} и т. д. – взаимные влияния параметров 1 и 2, 1 и 3 и т. д.; τ_{11} – собственное информационное сопротивление параметра изменениям, τ_{12} и τ_{13} и т. д. – взаимные с

параметрами 2, 3 и т. д. информационные сопротивления;; L_{11} – собственная ригидность объекта 1, характеризующая в широком смысле собственную инерционность параметра; а L_{12} , L_{13} и т.д. – взаимные ригидности объектов 1 и 2, 1 и 3 и т. д.; dJ/dt – скорость изменения параметра; d^2J/dt^2 – ускорение изменения параметра.

При исследовании конкретных ситуаций модели будут иметь не такой сложный вид (4). Не все компоненты влияют друг на друга, и эти оценки взаимодействия и взаимовлияния будут исключены из моделей.

5. Заключение

Предлагаемые модели могут помочь исследовать ситуации подвижного равновесия, выявлять управляемые параметры. Ситуации раньше анализировались на основе интуиции и опыта лиц, принимающих решение. Приведенные модели, хоть и не являются строго формальными, могут помочь оценивать состояние подвижного равновесия, проводить коллективное обсуждение выявляемых проблем, контролировать состояние подвижного равновесия социально-экономического пространства, анализировать возникающие ситуации с учетом взаимного влияния учитываемых в модели компонент, исследовать сохранение устойчивого развития системы при внедрении инноваций, выбираемых для развития системы.

Список литературы

1. Богданов А.А. Всеобщая организационная наука: Тектология. В 2-х кн. — Берлин — Санкт-Петербург, — 1903—1922. (Переиздание: В 2-х кн. М.: Экономика, 1989).
2. Месарович М., Мако Д., Такахага И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 344 с.
3. Бергаланфи Л. фон. Общая теория систем: критический обзор // Исследования по общей теории систем. М.: Прогресс, 1969. С. 23-82. С. 42.
4. Bertalanffy L. von. General System Theory. Foundations, Development, Applications. New York: GEORGE BRAZILLER. 1968.
5. Холл А. Опыт методологии для системотехники. М.: Сов. радио, 1975. 448 с.
6. Денисов А.А. Современные проблемы системного анализа: учебник. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2008. 304 с.
7. Денисов А.А. Глазами народного депутата СССР. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. 660 с.
8. Шумпетер Й. Теория экономического развития / Пер. с англ. М.: Прогресс, 1982.
9. Christensen, Clayton M. The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail. — Boston, Massachusetts, USA: Harvard Business School Press, 1997.
10. Volkova V.N., Loginova A.V., Chernenkaja L.V., Romanova E.V., Chernyy Y.Y., Lankin V.E. Problems of Sustainable Development of Socio-Economic Systems in the Implementation of Innovations // Proceedings of the 3rd International Conference on Human Factors in Complex Technical Systems and Environments, Ergo 2018 3. 2018. P. 53-56.
11. Volkova V., Loginova A., Kudriavtceva A. Management of enterprise cyberphysical systems sustainable development while undergoing a digital transformation // OP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 940(1), 012009.