

КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Кочкаров А.А., Салпагаров М.Б.

*(Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша
РАН, г. Москва, Северо-Кавказский Государственный тех-
нический университет, г. Ставрополь)
azret_kochkarov@mail.ru*

Одним из распространенных подходов когнитивного моделирования является подход, основанный на представлении моделируемой системы в виде взвешенного ориентированного графа с распространяемым по нему импульсом. В настоящей работе этот подход используется для моделирования региональной социально-экономической системы в условиях внешних воздействий.

Ключевые слова: когнитивное моделирование, взвешенный ориентированный граф, импульсное воздействие

Введение

Моделирование – общенаучный инструмент познания окружающего мира. В зависимости от уровня детализации и применимости различают вербальное, когнитивное, качественное и имитационное моделирование. Когнитивное моделирование выделяется среди остальных видов моделирования своей открытостью для специалистов и экспертов различных областей науки. Это позволяет строить математические модели, результаты исследования которых легко интерпретируемы на практике.

Одно из центральных мест в исследованиях по управлению рисками [2] занимает анализ кризисов, то есть ситуаций, когда система оказывается не в состоянии в полном объеме выполнять возложенные на нее функции. Системы (технические, социаль-

но-экономические и т.п.), рассматриваемые в теории управления риском, могут быть подвержены внешнему влиянию (воздействию) на протяжении небольшого промежутка времени. Нередко такие воздействия являются внезапными и интенсивными, а поэтому рассматриваемые системы не всегда могут “противостоять” этим поражающим факторам. Поражающие воздействия, приложенные к системе, могут приводить к ухудшению ее функционирования, а порой и к кризисам. Живучесть системы, ее способность функционировать в условиях внешних поражающих воздействий будем называть *стойкостью* [4] системы.

Одним из распространенных подходов когнитивного моделирования является *подход, основанный на представлении моделируемой системы в виде взвешенного ориентированного графа с распространяемым по нему импульсом* [6,9]. Этот подход используется в настоящей работе для моделирования региональной социально-экономической системы в условиях внешних воздействий.

Моделирование региональной социально-экономической системы в условиях внешних воздействий

Под *системой* [1] обычно понимается объединение взаимодействующих элементов, рассматриваемых как связанное целое. Каждый элемент системы производит определенные действия, что позволяет всей системе выполнять возложенные на нее функции. *Структура системы* [3] – организация системы из отдельных элементов с их взаимосвязями. Структура любой системы наглядно представима в виде ориентированного графа $G = (V, E)$. Вершины (множество $V = \{v_i\}, i = \overline{1, n}$) графа соответствуют элементам системы, а ребра (множество $E = \{e = (v_i, v_j)\}, i, j = \overline{1, n}, i \neq j$) – связям между элементами этой системы. Ориентация ребер графа определяется направлением влияния одних элементов системы на другие. Для полного описания системы до попадания ее в *зону форс-мажорных*

обстоятельств (в условия внешних дестабилизирующих импульсных воздействий) необходимо наделить (взвесить) вершины графа числами $w_i(t)$ – показателями качественного состояния элемента v_i , а ребра – коэффициентами сопротивляемости $w(v_i, v_j) = \varepsilon_{ji}$.

Зона форс-мажорных обстоятельств, в которой система подвергается влиянию дестабилизирующих факторов, представляется в виде внешнего импульсного воздействия $imp_j(t)$, $j \in \{1, 2, \dots, n\}$.

Динамика распространения внешних дестабилизирующих воздействий по системе описывается как изменение показателей качественного состояния элементов системы:

– распространение *возрастающих* импульсных воздействий

$$w_i(t+1) = w_i(t) \prod_{j=1}^{\deg v_i} \varepsilon_{ji} imp_j(t),$$

когда импульсное воздействие усиливается при переходе от одного элемента системы к другому;

– распространение *затухающих* импульсных воздействий

$$w_i(t+1) = w_i(t) \prod_{j=1}^{\deg v_i} (1 - \varepsilon_{ji} imp_j(t)),$$

когда импульсное воздействие ослабевает при переходе от одного элемента системы к другому.

Распространение импульсных воздействий происходит в дискретном времени $t = 0, 1, 2, 3, \dots$. Значения всех показателей (показателей качественного состояния элемента, коэффициентов сопротивляемости, импульсных воздействий) – величины относительные, и находятся в отрезке $(0, 1)$.

В соответствии с описанным импульсным воздействием на орграфе можно ввести различные критерии отказа [5] в случае моделирования технической системы или кризиса в случае моделирования социально-экономической системы. К примеру, можно считать, что система находится в состоянии отказа или кризиса, если показатель качественного состояния хотя бы

одного из наиболее значимых элементов системы ниже некоторого допустимого уровня. Этот уровень будем называть *критическим уровнем* качественного состояния элемента v и обозначать $st(v)$. Если показатель качественного состояния элемента ниже критического уровня, то элемент не в состоянии выполнять возложенных на него функций, или функционировать требуемое время.

Целесообразно также использовать в описываемой модели *управляющие воздействия*, позволяющие повышать значения качественных показателей состояния элементов системы в любой момент времени, вмешиваясь тем самым в процесс распространения дестабилизирующих воздействий по системе. А также *внутренний ресурс системы* – периодическое восстановление значений качественных показателей состояния элементов системы на определенную величину.

В рамках предлагаемого подхода возможно исследование и социально-экономических систем. Это позволяет определить ряд сценариев, по которым будет развиваться система при различных внешних воздействиях. Полезность и практичность такого подхода продемонстрирована когнитивной моделью управления государством на примере Союза Сербии и Черногории [7].

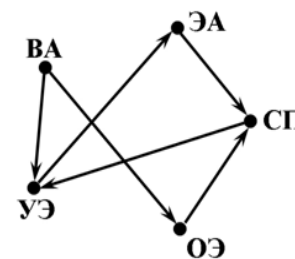


Рис. 1. Структура региональной социально-экономической системы

На рис. 1 представлена структура социально-экономической системы, типичная для многих небольших регионов (республик, областей) Российской Федерации. Система состоит из пяти

основных элементов: СП – социальное положение (напряженность) в регионе, ОЭ – оппозиционная элита региона, УЭ – управленческая элита региона, ВА – внешний арбитр, ЭА – экономическая активность региона.

Исследование модели было проведено при различных исходных данных (показателях качественного состояния элементов системы и коэффициентах сопротивляемости ребер) о состоянии системы и импульсных воздействиях, приложенных к различным вершинам. Это позволило сделать наиболее достоверные выводы о поведении исследуемой системы в различных условиях внешних воздействий.

Своего критического уровня $cr(СП)=0,01$ система со структурой, изображенной на рис. 1, достигает за *характеристическое время* $t=33$ (см. рис. 2).

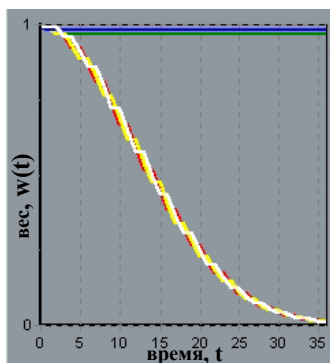


Рис. 2

Если в структуру системы добавить обратные связи (к примеру УЭ→ОЭ или СП→ВА), то на первый взгляд система должна стать более стойкой к внешним воздействиям. Но при указанных структурных изменениях системы характеристическое время уменьшится почти вдвое.

На рис. 3(а) представлен график изменения основного показателя системы – СП исследуемой региональной социально-экономической системы с внутренним ресурсом и внешним

затухающим воздействию, приложенным к вершине (элементу) ВА. Наблюдается падение основного показателя.

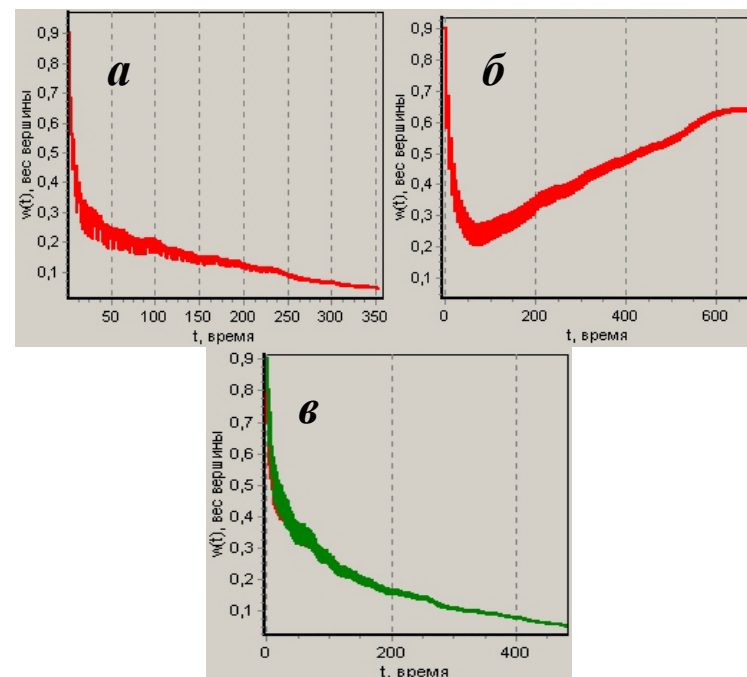


Рис. 3. Графики изменения основного показателя системы без управляющего воздействия

На рис. 3(б) представлен график изменения основного показателя системы СП, когда тоже самое по величине внешнее затухающее воздействие, что и в предыдущем случае, при тех же исходных данных системы приложено к другому элементу системы – к вершине (элементу) ОЭ. В такой ситуации, в отличие от предыдущей, системе удается восстановиться, благодаря внутреннему ресурсу, и зафиксировать значение основного показателя на некотором стабильном уровне, хотя и ниже исходного.

На рис. 3(в) показан график изменения основного показателя системы СП, когда импульсное воздействие, в два раза мень-

шее, чем ранее, приложено сразу к двум элементам системы – ОЭ и ВА. Наблюдается падение значения СП.

Управляющие воздействия являются основным инструментом повышения значений показателей качественного состояния элементов системы. Но величина управляющего воздействия, время и точка его приложения должны быть определены в зависимости от распространяемого по системе импульсного воздействия.

Использование этой модели позволяет увидеть парадоксальные, неочевидные, на первый взгляд, способы управления социально-экономической системой.

На рис. 4(а) изображен график изменения основного показателя исследуемой региональной социально-экономической системы с внутренним ресурсом, когда затухающее импульсное воздействие приложено к элементу ВА. Наблюдается падение основного показателя.

Управляющее воздействие, приложенное к системе в момент времени $t=75$ (см. рис. 4(б)), повысит значение показателей качественного состояния ее элементов, но не повлияет на общее состояние системы в дальнейшем.

Управляющее воздействие, приложенное к системе в более поздний момент распространения по ней импульсных воздействий, приводит к иному результату (см. рис. 4(в)). Основной показатель системы не понижается, а стабилизируется, хотя и на уровне более низком, чем первоначальный. Это объясняется тем, что в предыдущем случае управляющее воздействие было приложено к системе, когда по ней распространялось импульсное воздействие, величина которого позволяла “поглотить” повышение значение показателей качественного состояния элементов системы.

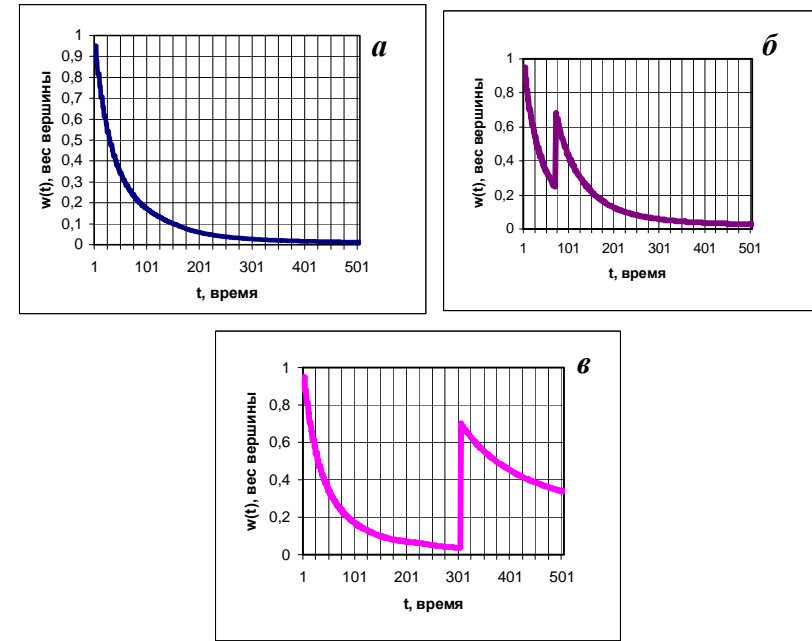


Рис. 4. Графики изменения основного показателя системы с управляющим воздействием

Заключение

Для обеспечения стойкости системы как новой задачи в рамках концепции управления рисками [2] возможны два подхода.

Первый – наделение системы достаточным внутренним ресурсом, позволяющим противостоять любым внешним дестабилизирующим воздействиям.

Второй – изменение структуры системы, позволяющее повышать стойкость системы, “убирая” из структуры системы наиболее опасные и уязвимые взаимосвязи. Второй подход очерчивает новое направление теории управления сложными системами – *структурное управление*. Модели рассмотренного типа, как показывает их анализ и опыт применения, могут быть элементом систем поддержки принятия решений в соответст-

вующих ситуационных центрах. Описанные случаи позволяют заключить, что реакция системы, иначе ее *стойкость*, понимая как способность противостоять внешним дестабилизирующим воздействиям, зависит [8] от структуры системы и как следствие от “точки приложения” самого внешнего воздействия.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 04-01-00510) и РГНФ (проект № 05-03-03188).

Литература

1. АРХИПОВА Н.И., КУЛЬБА В.В. *Управление в чрезвычайных ситуациях*. – М.: РГГУ, 1998.
2. ВЛАДИМИРОВ В.А. и др. *Управление риском*. – М.: Наука, 2000.
3. КАСТИ Дж. *Большие системы. Связность, сложность и катастрофы*. – М.: Мир, 1982.
4. КОЧКАРОВ А.А. МАЛИНЕЦКИЙ Г.Г. *Обеспечение стойкости сложных систем. Структурные аспекты*. Препринт Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН № 53. М., 2005.
5. КОЧКАРОВ А.А., МАЛИНЕЦКИЙ Г.Г. *Моделирование распространения внешних воздействий по структуре сложной системы* // Математическое моделирование. – 2006. – Т. 18, № 2. – С. 51–60.
6. КУЛЬБА В.В. и др. *Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем*. – М.: СИНТЕГ, 2004.
7. КУЛЬБА В.В. и др. *Сценарии управления государством (на примере Союза Сербии и Черногории)* // Проблемы управления. 2005. № 5. – С. 33–42.
8. МАЛИНЕЦКИЙ Г.Г., ВОРОБЬЕВ Ю.Л., МАХУТОВ Н.А. *Кризисы современной России и научный мониторинг* // Вестник РАН, 2003, т.73, №7, С.579–593.
9. РОБЕРТС Ф.С. *Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам*. – М.: Наука, 1986.