

Теоретические и методологические основы экономико-математического моделирования задач управления на основе фрактальной технологии построения и анализа развитой структуры системы базисных отношений конфликта

О. В. Китова¹, Д. Ю. Нечаев²

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова

¹olga.kitova@mail.ru, ²dimuray@mail.ru

Аннотация. В статье приведено последовательное описание практического применения авторского метода формализации задач конфликтного управления на основе фрактальной технологии построения и анализа развитой структуры системы базисных отношений конфликта в задачах управления для различных областей жизнедеятельности общества с применением компьютерных технологий.

Ключевые слова: конфликт; антагонист; гомеостаз; безопасность; комплекс, модель; фрактал; сеть; баланс; устойчивость; эффективность; универсалии; унификация; абстрагирование; решение

Управление организационными социально-экономическими системами всегда проходит в условиях неполной определенности развития и неполной наблюдаемости процессов. То есть анализируется лишь общее направление развития ситуации (область или полоса). Возникающие разнообразные тенденции, флуктуации и траектории, все сложнее в прогнозировании и управлении так как большинство процессов имеют различные количественные и качественные меры оценки. Традиционные методы обработки данных не дают лицу, принимающему решение (ЛПР) требуемые, своевременные и достоверные для выбора управления сведения. Увеличение инерционности организационных систем в части информационного обеспечения и поддержки процесса принятия решения снижает эффективность управления и использования ресурсов, повышает риски развития комплексных многофакторных чрезвычайных ситуаций (ЧС) с тяжелыми последствиями.

Теоретические и практические основы управления организационными системами развивались в работах большого количества исследователей. Л. фон Берталанфи сформулировал основные принципы исследования эргатических систем и предложил их классификацию. Л. Заде были рассмотрены пути управления на основе нечеткой логики в интеллектуальных системах и управлении, которые затем были воплощены в технологии

нечетких регуляторов [1]. Одним из основоположников математической теории организационных систем можно считать Д. фон Неймана, развившего в своих работах теорию игр и поведения в экономических системах [2]. Многоуровневые иерархические системы изучались в работах Месаровича М., Мако Д., Такахара развивших математические методы поиска оптимального управления в таких системах при существенной неопределенности внешних воздействий [3]. Е.А. Климовым выделены эргатические функции, которые являются основой для различных видов трудовой и профессиональной деятельности [4]. Устойчивость в сложных и, в частности, многоуровневых эргатических системах изучали Л.А. Растринин [5], Д.И. Клиланд, В.Ф. Кинг [6] и др. Вычислительные методы теории управления применительно к сложным и, в частности, эргатическим системам, были развиты Р. Беллманом, И. Гликсбергом, О. Гроссом [7], Аверкиным А.Н [8] и др. Однако рост опасных и кризисных явлений в политической, государственной, экологической, экономической, социальной, техногенной и других сферах жизнедеятельности современного общества косвенно свидетельствует, что «локальная оптимизация» подсистем и процессов управления в контурах организационной системы не гарантирует рационального управления в целом. В практике оперативных действий сопоставление «ситуация – управление» проводится лишь для условных задач для малого числа ситуаций, редко совпадающих с действительностью [9]. Таким образом, актуальной является разработка достаточно общих и простых в численной и программно-аппаратной реализации, но эффективных методов, в первую очередь – для задач информационной поддержки ЛПР в управлении процессами обеспечения комплексной безопасности организационных систем и анализ применимости развиваемых подходов для частичного разрешения центральной проблемы ситуационного и конфликтного управления – проблемы обобщения (унификации) ситуаций.

Для частичного разрешения вышеуказанной проблемы и решения широкого круга управленческих задач с позиций нормативного подхода к обеспечению комплексной безопасности авторами сформирована базовая универсальная модель описания конфликтной ситуации в организационной системе основанная на выработанной и апробированной технологии построения развитой структуры системы базисных отношений конфликта (РССБОК). С целью поддержки рационального управления поведением эргатической организационной системы лицом, принимающим решение в кризисных ситуациях в методику введены алфавит РССБОК, аксиоматика и правила синтеза морфологий би- и полифуркационного конфликта определяющие и классифицирующие возможные воздействия на элементы и связи модели. Формализация процессов развития конфликта осуществляется с использованием группы условных эквивалентностей с включением родовидовых отношений, ассоциаций и сочетаний конфликта (ГУЭК), определяются условия целесообразности применения предложенных моделей, технологий и методов.

Главная предназначенность сформированной ГУЭК РССБОК заключается в том, чтобы способствовать решению задач иерархического ЛПР любого уровня, не зависимо от прикладного направления его деятельности за счет оснащения его:

- новыми фундаментальными знаниями о типологиях, функциях, свойствах и закономерностях развития систем, проявляющих свою сложность в сложности поведения, при увеличивающейся вариабельности факторов, параметров и реакций;
- методами, методиками, моделями и технологиями рационального управления поведением сложных систем на нормальных (профилактика), предопасных и опасных режимах;
- методами, методиками, моделями и технологиями рационального проектирования и планирования жизнедеятельности рассматриваемого класса систем в предельной их комплексности и взаимосвязи.

Фрактальные топологии конфликта с рассредоточенной структурой, основанные на базовой модели РССБОК, анализируются в динамике развития с учётом системного времени и жизненного цикла порожденной системы. Это позволило дискретизировать динамику развития и трансформации базовой модели активной точки элемента полифуркационного конфликта и базовой модели выборов воздействий ЛПР в процессах предупреждения, локализации, ликвидации и формирования базисных решающих правил.

Методология учитывает изменения состояний РССБОК с момента индифферентности элементов и связей до полифуркационного конфликта и межсистемного кризиса с возникновением ядер кристаллизации, к межсистемному кризису, при отсутствии эффективных воздействий или самоликвидации.

Проведенные эксперименты в сфере управления пожарной, криминальной, информационной, медицинской,

техногенной и кибербезопасностью подтверждают, что методологию возможно принять в качестве начального соглашения в развивающейся теории системного синтеза, так как предложенные модели:

- основываются на первообразных понятиях, дополняющих базовый алфавит общей теории систем с позиций синтеза и выведенных, в ходе серии кластерных анализов, поведений сложных систем в сферах политической, экологической, экономической, техногенной, геополитической, криминальной, пожарной, информационной безопасности и сфере образования;
- применяются для эргатических систем и процессов, обладающих целерациональностью поведения ЛПР с позиций гомеостазиса;
- предлагаются в условиях доказанной недостаточной эффективности статистических и экспериментальных исследований и низкой достоверности прогнозных оценок сложного поведения систем в процессах полифуркационного конфликта.

Модель обладает требуемой простотой и требуемыми системообразующими атрибутами, что подтверждает адекватность полученных описаний. Адекватность и практическая ценность имитации подтверждается и тем, что модель:

- имеет первичные элементы системы АИО, ПИО, К и АИО', ПИО', К';
- имеет антагонистические суперпозиционные отношения и связи между элементами, определяющие устойчивость и жизнеспособность системы в единстве и борьбе противоположностей;
- допускает конкуренцию, сотрудничество и нейтралитет;
- определяет законы композиции системы — изменчивость структуры под воздействиями как ЛПР, так и индифферентного мира;
- идентифицирует фон системы как циклические, стабильные колебательные процессы внутри системы (относительно гомеостазиса), обеспечивающие функционирование законов композиции отношений и элементов.

Введенные выше элементы, позволили свести задачу управления к нахождению такого пути и такого количества переходов по траекториям в кризисных точках решения, который позволит обеспечить минимально возможное отклонение конечной многомерной траектории (трубки) от идеального состояния, заданного субъектом:

$$\sum_{i=0}^n y_i \prod_{i \neq j} \frac{x - x_i}{x_i - x_j},$$

здесь y_i — нарушение определенного типа.

Таким образом, исследование позволило сформулировать и формализовать следующий вопрос: «Действительно ли в системах с конечным последствием (не зависимо от степени определяющего трубку полинома) при наличии ограничений по иерархии управления в

дискретный момент времени фуркационного перехода для ЛПР, который, на дискретном участке от начала возникновения ЧС до её завершения, находится в замкнутом множестве возможных траекторий, существует правило выбора бесконфликтной траектории данного иерархического уровня или необходимости перехода на другую, строго определенную иерархическую траекторию из множества всех траекторий, удовлетворяющих условиям верхних, по отношению к анализируемому, иерархических уровней?». В рамках исследования цель задается некоторым направленным полиномом в n -мерном пространстве существенных параметров, которое имеет внешние границы соответствующие предельным (фуркационным) состояниям дискретных решений. Замкнутая область целевого состояния образуется сечением трубки в заданный субъектом временной интервал, на котором производится оценка эффективности деятельности с позиций достижения цели. За внешними пределами области цель не достигается, за внутренними – достигается с разной степенью эффективности. Трубки целевых бесконфликтных и конфликтных траекторий и соответствующие пути достижения цели на первый взгляд бесконечны по числу, что повышает неопределенность ЛПР в выборе рационального ансамбля. Далее в исследовании ставятся задачи о рациональной различимости и разбиении пространства состояний достижения цели на конечное число элементарных замкнутых поверхностей, образуемых трубками. При этом различимость параметров РССБОК будем считать количественным показателем не только стратегий выбора траекторий достижения цели, но и возможности для оценки эффективности выбора и функционирования ЛПР. Зависимость между РССБОК до и после применения управляющего воздействия предлагается оценивать с использованием непараметрических методов – коэффициента ассоциации Юла:

$$k_a = \frac{ad - bc}{ad + bc}.$$

С этой целью определим величины a , b , c , d следующим образом:

a – сумма всех радиусов вершин РССБОК до управляющего воздействия; b – сумма всех длин ребер РССБОК до управляющего воздействия; c – сумма всех радиусов вершин РССБОК после управляющего воздействия; d – сумма всех длин ребер РССБОК после управляющего воздействия.

Проведенный анализ комбинаторной структуры многомерной РССБОК основывается на том, что, что граф связей элементов многомерной РССБОК может быть представлен в виде дизъюнктивного объединения непересекающихся элементарных частей. Здесь под элементарными частями понимаются подграфы графа связей, представляющие собой геометрически равные (но при этом не обязательно конгруэнтные) тетраэдры.

Анализ комбинаторной структуры, в рамках исследования, имеет целью определение минимальной конфигурации базовой модели с позиций равноценности

стратегий перевода системы в целевое состояние в пределах одной иерархии. Вышеизложенное потребовало сформулировать и доказать теорему о наличии предельной сложности ансамбля бесконфликтных траекторий базовой модели ЛПР в n -мерном пространстве: «Трёхмерный тетраэдр, описывающий фазовое пространство полифуркационного конфликта, может быть разделен не более чем на 24 равных тетраэдра». Здесь под равенством понимается геометрическое равенство, то есть, равенство длин соответствующих ребер.

Определено, что единственным тетраэдром, допускающим разбиение на 24 равных тетраэдра, является правильный тетраэдр.

Отметим, что в рамках проводимого исследования основной тетраэдр определяет фазовое пространство полифуркационного конфликта, а каждый из полученных элементов разбиения характеризует возможный набор воздействий для перевода системы в целевое состояние.

Для доказательства теоремы проведена оценка сверху на число симплициальных разбиений РССБОК. Предположено, что:

- Выпуклая оболочка РССБОК P – это вектор 12-мерного вещественного пространства.
- Значение функционала $f(P)$, определенного на множестве всех выпуклых оболочек РССБОК определяется как максимальное число разбиений P на равные тетраэдры:

$$P = \bigcup_{k=1}^d P_k,$$

Задача оптимизации: $f(P) \rightarrow \min$;

Ограничения: элементы разбиения являются геометрически равным тетраэдрами.

Формальное представление теоремы о максимально сложном разбиении РССБОК выглядит следующим образом:

$$f(P) \leq 24 \text{ для произвольной РССБОК } P.$$

Схема доказательства теоремы включает в себя следующие этапы:

1. Вычисление группы симметрий РССБОК.
2. Применение теоремы Дена-Соммервилля, согласно которой для любого простого многогранника:

$$\sum_{j=0}^d (-1)^j C_{d-j}^{d-i} f_j(p) = f_i(p), \text{ при } i = 0, \dots, d,$$

здесь: p – размерность многогранника, $f_j(p)$ – число его j -граней.

3. Вычисление Эйлеровой характеристики РССБОК.
4. Решение системы уравнений:

$$\begin{cases} C_n^n F_0 = F_0; \\ C_n^3 F_0 - C_3^3 F_1 = F_1 \\ C_n^2 F_0 - C_3^2 F_1 + C_2^2 F_2 = F_2; \\ C_n^1 F_0 - C_3^1 F_1 + C_2^1 F_2 - C_1^1 F_3 = F_3; \\ C_n^0 F_0 - C_3^0 F_1 + C_2^0 F_2 - C_1^0 F_3 + 1 = 1 \end{cases}$$

5. Решение уравнений Дена-Соммервилля для РССБОК и определение конкретной конструкции максимально симметричной РССБОК с наибольшим возможным числом разбиений.

Дальнейшее исследование комбинаторной структуры РССБОК проводится на основе определения максимально сложной формы РССБОК с позиций целостности иерархической организационной системы по каждой паре связанных уровней.

Основная идея задачи заключается в нахождении явной формы РССБОК целостной системы с позиций того, что эволюция представляется здесь как множественная последовательность трансформаций РССБОК, приводящих к обретению объектом трансформации новых необратимых свойств. Для решения задачи было предположено, что ансамбль траекторий бесконфликтного управления иерархической системы определяется замкнутой поверхностью, образуемой 24 трехмерными гранями четырехмерного многоугольника, описывающего схему связей в РССБОК.

Ниже приведена схема доказательства теоремы о числе граней четырехмерной конфигурации.

Имеется: $k_4 = \{(x_1, x_2, x_3, x_4) \in R^4 : 0 \leq x_k \leq d\}$ – четырехмерный куб; d – длина ребра куба; $p = (p_1, p_2, p_3, p_4) \in K_4$ – выделенная точка в четырехмерном кубе (возможно, лежащая на его границе); $O_k(p)$ – точка, симметричная точке p относительно k -й грани куба; M – наименьший выпуклый многогранник, содержащий куб K_4 и точки $O_k(p)$ для всех $k=1, \dots, 8$; G – множество всех трехмерных граней многогранника M .

Теорема формулируется следующим образом: «Для любой точки $p = (p_1, p_2, p_3, p_4) \in K_4$ число трехмерных граней многогранника M не превосходит 24».

Основная идея иллюстрируется двумерным случаем. Очевидно, что четырехугольник получается при отражении произвольной точки внутри квадрата относительно каждой из его сторон квадрата и взятии выпуклой оболочки полученных отражений и вершин.

Аналогичное многомерное свойство четырехмерного куба и составляет основу доказательства теоремы.

Доказано, что четырехмерный многогранник, являющийся выпуклой оболочкой вершин четырехмерного куба и точек, симметричных его произвольной внутренней точке, при отражении относительно его граней максимальной размерности, имеет 24 трехмерных грани.

Таким образом, проведенная математическая и топологическая формализация модели РССБОК,

аналитическое исследование закономерностей поведения и реакций сложных социально-экономических систем в условиях бифуркационных и полифуркационных конфликтов, проведенные авторами, позволили получить следующие научные и практические результаты:

Разработан механизм и технология поддержки принятия решения ЛПР по управлению комплексной безопасностью в организационной системе с учетом 7 иерархических уровней и 13 состояниям конфликтных управлений.

Формализованы процессы и определены правила выделения классов конфигураций из общего множества конфигураций, позволяющих ЛПР определить минимально возможное число равноценных стратегий при выполнении иерархических и ресурсных ограничений на управляющие воздействия.

С учетом свойств иерархичности, неаддитивности и целостности изучаемой системы определена итоговая конфигурация и формализованы правила получения равных разбиений РССБОК, характеризующих равноценные стратегии по каждой паре иерархий.

Определены условия для последующего исследования обеспечения «наилучшей», в смысле эффективности перехода, траектории.

Таким образом, можно отметить, что функционирование комплекса обеспечения безопасности организационной системы естественным образом связано с категорией времени через критерий оперативности функционирования. Следовательно, в системе обеспечения безопасности существует своя временная аксиоматика и свое внутреннее время, связанное с частотой событий и реакций и также влияющее на их развитие. В разработанной методике в качестве цели управления безопасностью организационной системы с позиций поддержки принятия управленческого решения принят своевременный выбор состава мероприятий, обеспечивающих перевод системы в целевое состояние с желаемым уровнем безопасности и удовлетворяющих совокупности ресурсных и временных ограничений антагонистов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 166 с.
- [2] Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970. 708 с.
- [3] Месарович М., Мако Д., Такакура И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 344 с.
- [4] Климов Е.А. Психологические сведения в непсихологических публикациях для осваивающих профессии типа "человек-техника". М.: НОУ ВПО "МПСи", 2013. 112 с.
- [5] Растритин Л.А. Адаптация сложных систем. Рига: Зинатне, 1981. 375 с.
- [6] Клиланд Д., Кинг В. Системный анализ и целевое управление / пер. с англ. М.: Сов. радио, 1974. 280 с.
- [7] Р. Беллман, И. Гликсберг, О. Гросс. Некоторые вопросы математической теории процессов управления: Пер. с англ. М.: Издательство иностранной литературы, 1962. 336 с.
- [8] Аверкин А.Н., Прокопчина С.В. Мягкие вычисления и измерения // Интеллектуальные системы (МГУ). 1997. Т. 2. Вып. 1–4. С. 93–114.
- [9] Лебединская О.Г., Овешникова Л.В., Тимофеев А.Г., Кокорев М.А. Высокотехнологичные инновации: формирование механизма выявления направлений развития инновационной деятельности // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2017. № 10 (104). С. 23.