

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ НА КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЯХ СИСТЕМНЫХ ПАТОЛОГИЙ И ДИСФУНКЦИЙ

Соломатин А.Н.

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН,
Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д.44, кор.2.
a.n.solomatin@bk.ru

Аннотация: Кратко рассматривается понятие допустимых систем, имеющих ограниченный уровень системных патологий и дисфункций. Приводятся основные понятия когнитивного моделирования, рассматриваются задачи одно- и многокритериальной оптимизации на когнитивной модели системных патологий и дисфункций региона.

Ключевые слова: допустимые систем, общесистемные закономерности, системные патологии и дисфункции, когнитивное моделирование, дискретная оптимизация, многокритериальная оптимизация.

Введение

В процессе работы над проблематикой стратегического управления регионом [1–3] был выявлен ряд проблем, ограничивающих применение стратегического управления. В связи с этим было введено понятие допустимых систем, имеющих ограниченный уровень системных патологий и дисфункций (СПД), рассмотрены различные свойства таких систем и диагностика допустимости [4, 5]. В частности, для анализа совокупности СПД было предложено использовать аппарат когнитивного моделирования, основные положения которого [6–8] также приводятся в статье.

Когнитивное моделирование использует аппарат нагруженных орграфов причинно-следственных связей между различными факторами влияния (концептами), на которых в дискретном времени могут производиться расчеты силы влияния между концептами (вершинами орграфа) в режиме имитационного моделирования. При этом оптимизационные задачи на когнитивных моделях в целом не рассматривались из-за неполиномиальной сложности таких задач и существенной нелинейности. В настоящей работе делается попытка сделать шаг в данном направлении, в первую очередь, для частных случаев задач с ограниченной размерностью и задач многокритериальной оптимизации.

1 Допустимые системы

Подход, рассматриваемый в данной статье, был предложен при разработке комплекса моделей и методов для решения задач стратегического управления регионом. Назовем систему допустимой, если она «в основном удовлетворяет системным принципам, общесистемным закономерностям, а уровень ее системных патологий и дисфункций не превышает некоторого заданного уровня» [4, 5]. Следует отметить, что, будучи необходимым условием эффективного функционирования и развития систем, допустимость не является условием достаточным.

В различных системных науках, включая теорию систем, были сформулированы различные **принципы** построения произвольных сложных систем и управления ими [9, 10], включая принципы общесистемные, системного анализа, управления, стратегического управления. Системные принципы позволяют оценить, каковы направления диагностики допустимости и как необходимо действовать, чтобы обеспечить допустимость системы.

В системных науках были сформулированы также **общесистемные закономерности** построения, функционирования и развития сложных систем, где «закономерность – это часто наблюдаемое, типичное свойство, присущее объектам и процессам, которое устанавливается опытом» [9, 10]. Закономерности действуют с очень высокой, но не со 100% вероятностью, чем они и отличаются от законов.

Обычно выделяют закономерности целеобразования, структуры и функций, части и целого, иерархии, ресурсные, управления, устойчивости, развития, энтропийные, а также количественные. Например, к ресурсным относят закономерности ограниченности ресурсов, взаимозаменяемости, экстенсивного развития, предельной полезности, концентрации, диверсификации и т.д.

Системные патологии и дисфункции могут возникать как при нарушении принципов построения систем и общесистемных закономерностей, так и в результате негативного влияния внешней среды системы [9, 11]. Их можно классифицировать так же, как и общесистемные закономерности и определить следующие типы СПД: части и целого, иерархической упорядоченности, ресурсные, управления, устойчивости, развития, энтропийные и количественные.

Многие исследователи отмечают, что стратегическое управление сложными системами малоэффективно, что следует не пытаться детально управлять функционированием и развитием таких систем, а надо обеспечить возможности для их самоорганизации [9]. В частности, для этого необходимо «раскрутить» положительные обратные связи для позитивных процессов и удалить отрицательные обратные связи для процессов негативных. Но при высоком уровне системных патологий и дисфункций существенно уменьшается и управляемость системы, и ее способность к самоорганизации, а сама такая система становится «не совсем системой» с точки зрения достижения целей ее функционирования.

Допустимость сложной системы обеспечивает эффективное функционирование и развитие системы одновременно как за счет улучшения управляемости (методами стратегического управления), так и за счет самоорганизации. Кроме того, упрощается и становится эффективнее сам процесс стратегического управления, поскольку гораздо труднее определить цели системы и обеспечить их достижение, чем обнаружить и устранить имеющиеся СПД.

Фактически, обеспечение допустимости систем повсеместно реализуется на практике, но обычно для технических, биологических систем и без соответствующего теоретического обоснования. Так, для технических систем вначале производится ремонт изделия, для биологических – лечение пациента (то есть устранение соответствующих СПД), и только потом встает вопрос о функционировании и развитии данной системы. Поэтому, например, невозможной является ситуация, когда пытаются эксплуатировать аварийный самолет или автомобиль: прежде чем управлять любой технической системой (эксплуатировать ее), следует обеспечить ее работоспособность.

К сожалению, функционирование и развитие несоизмеримо более сложных социально-экономических систем (регионы, города, компании и т.д.) обычно происходит иначе. В компаниях создаются новые продукты, в регионах строятся новые города, для моделирования и оптимизации используется сложный математический аппарат. Но при этом социально-экономические системы могут не отвечать многим общесистемным закономерностям и содержать грубые системные патологии и дисфункции. Поэтому такие системы, не отвечая критериям допустимости, не будут иметь хороших перспектив успешного функционирования и развития.

Поэтому при наличии проблем функционирования и развития региональной системы вместо ее всестороннего анализа и моделирования (что для сложных систем весьма проблематично) предлагается проводить **диагностику** допустимости системы. Диагностика определяется как «процесс установления и изучения состояния системы для предсказания возможных отклонений и предотвращения нарушений нормального режима функционирования» [9].

В процессе диагностики допустимости должны проверяться нарушения принципов построения систем и общесистемных закономерностей, наличие системных патологий и дисфункций, а также отличия от некоторой «идеальной» системы. При этом необходимо найти причины возникновения каждой СПД, степень ее «развития», вероятность перерастания в серьезную проблему, определить необходимость и возможности решения проблемы. И если система не является допустимой, то наиболее целесообразной стратегией развития для нее будет не совершенствование управления, как это обычно делается, а устранение найденных чисто системных нарушений и превращение ее в допустимую систему.

Диагностику региональных систем можно производить по следующим направлениям:

- использование методов стратегического анализа, включая функционально-стоимостной анализ, моделирование, оптимизацию, анализ жизненного цикла, портфельный анализ и т.д.;
- непосредственный поиск и анализ системных патологий и дисфункций, в частности на основе проверки выполнимости перечисленных выше типов системных принципов и закономерностей.

Совокупность патологий и дисфункций некоторой системы также образует некоторую систему; различные СПД относятся к различным сторонам построения, функционирования и развития данной системы и влияют друг на друга через прямые и обратные связи. Поэтому для их анализа и устранения было предложено использовать аппарат когнитивного моделирования.

2 Когнитивное моделирование

Далее приведем основные положения когнитивного моделирования в соответствии с [6–8]. **Когнитивное моделирование** предоставляет механизм принятия решений на основе когнитивных моделей – нагруженных ориентированных графов, отражающих причинно-следственные связи между различными факторами влияния (концептами) моделируемой системы (ситуации).

Когнитивные модели позволяют достаточно эффективно принимать решения в плохо

определенных ситуациях и для слабоструктурированных систем – в таких областях, как экономика, социология, политология, военное дело и т.д. Как известно, основными свойствами таких систем являются качественный характер, противоречивость, неполнота и нечеткость информации, нестационарность и нелинейность процессов, многоэкстремальность и т.д. А само когнитивное моделирование представляет собой синтез идей искусственного интеллекта, теории графов, компьютерной графики, имитационного моделирования и нечеткой математики.

Базовым понятием когнитивного моделирования является понятие **когнитивной карты** ситуации. Когнитивная карта отражает основные закономерности наблюдаемой ситуации в виде ориентированного знакового графа, в котором вершины графа – это так называемые концепты (факторы, признаки, характеристики ситуации), а связывающие их дуги – причинно-следственные связи между концептами, помеченные знаком «плюс» или «минус». При положительной связи усиление концепта-причины ведет к усилению концепта-следствия, а при отрицательной связи – к ослаблению концепта-следствия.

Дальнейшим развитием когнитивных карт являются **когнитивные модели**, широко используемые при решении практических задач. Когнитивная модель представляет собой функциональный граф исследуемой системы, в котором вершины соответствуют концептам системы, а нагруженные дуги отражают функциональную зависимость между ними. Когнитивная модель задается матрицей смежности, отражающей силу взаимного влияния концептов. Значения для всех дуг когнитивной модели в матрице смежности принадлежат сегменту $[-1, +1]$, т.е. изменение любого концепта не производит больших изменений в других концептах (отображения являются сжимающими).

Если веса связей в процессе моделирования являются постоянными, то значение каждого концепта представляет собой значение некоторой функции от весов входящих дуг и изменяющихся во времени значений концептов, входных для данного концепта. При когнитивном моделировании широко используется так называемый импульсный подход, при котором анализируется распространение по системе некоторых внешних импульсов. Импульс рассматривается как внешнее управляющее воздействие на моделируемую систему, а дуги отражают коэффициенты передачи данного импульса.

Вершинами когнитивной модели являются различные **концепты** – факторы, цели, проблемы, свойства и т.д., среди которых можно выделить:

- управляющие концепты – концепты, на которые можно непосредственно воздействовать, подавая внешний управляющий импульс;
- целевые концепты – концепты, стабилизация или изменение которых является целью управления; при этом стратегия управления на когнитивной модели представляет собой выбор некоторого множества управляющих концептов с указанием моментов времени и интенсивности управляющих импульсов.

Все концепты когнитивной модели имеют количественное выражение – либо объективно измеряемое либо имеющее нечеткое (лингвистическое) значение.

Связи между концептами (нагруженные дуги орграфа когнитивной модели) могут иметь следующую интерпретацию:

- веса связей отражают характер преобразования процентных изменений причин в процентные изменения следствий: если на когнитивной модели имеется связь между концептами А и В с весом $-0,6$, то это значит, что при увеличении величины концепта А на 10% величина концепта В уменьшится на 6%;
- веса связей представляют собой значения некоторой лингвистической переменной, характеризующей силу влияния; например, влияние «очень слабое» – 0,1, «умеренное» – 0,3, «существенное» – 0,5, «сильное» – 0,7 и «очень сильное» – 0,9 (допустимы и промежуточные значения).

Для **расчета влияний** на когнитивной модели используется два основных метода – модель суммирования действия и модель нелинейного взаимодействия концептов.

1. Наиболее часто используется модель суммирования действия концептов. В этом случае состояние i -го концепта в момент времени $t+1$ зависит от состояния данного концепта в предыдущий момент времени t , изменения в момент t состояния других концептов, влияющих на i -й, а также от внешнего управляющего воздействия в момент $t+1$. То есть динамика когнитивной модели описывается следующим импульсным процессом:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + p_i^*(t+1) + \sum_{k=1}^n w_{i,k} p_k(t), \quad (1)$$

где:

$x_i(t), x_i(t+1)$ – значения, характеризующие состояния концепта x_i в моменты t и $t+1$;

$p_k(t) = x_k(t) - x_k(t-1)$ – изменение состояния концепта x_k с момента $t-1$ до момента t ; $p_k(0) = 0$

для всех значений k ;

$w_{i,k}$ – элемент матрицы смежности когнитивной модели, отражающий степень влияния k -го концепта на i -й концепт;

$p_i^*(t+1)$ – изменение в момент $t+1$ состояния i -го концепта, вызванное внешним по отношению к системе воздействием (внешний импульс концепта).

2. В модели нелинейного взаимодействия после анализа влияния всех концептов, действующих на данный концепт, выбирается только один концепт с максимальным влиянием в предположении, что влияние остальных концептов незначительно:

$$x_i(t+1) = w_{i,N} x_N(t), \quad (2)$$

где N – это такое k , при котором достигается

$$\max_k (|w_{i,k} x_k(t)|). \quad (3)$$

Внешние управляющие импульсы в общем случае могут подаваться одновременно на различные концепты, в различные моменты времени и различной силы; самый простой и наиболее часто используемый при решении практических задач вариант импульсного процесса – подача управляющего импульса единичной силы только в одну вершину. При этом в любом случае значение времени моделирования должно быть достаточно велико, чтобы влияние исходных возмущений достигло всех вершин когнитивной модели.

На практике обычно решается два типа задач когнитивного моделирования.

1. Статический анализ – это анализ текущей ситуации, позволяющий, в частности, определить:

- силу взаимного влияния между каждой произвольной парой концептов;
- степень доверия к знаку воздействия (консонанс);
- консонанс и влияние каждого концепта на всю систему и системы на концепт, что позволяет выявить концепты, на которые более всего следует и не следует воздействовать.

2. Динамический анализ – это генерация и анализ различных сценариев развития ситуации на когнитивной модели в динамике на основе модели импульсного процесса. Решаются три следующих задачи динамического анализа:

- саморазвитие: требуется смоделировать развитие ситуации на когнитивной модели в случае отсутствия каких-либо внешних управляющих импульсов, чтобы оценить последствия сохранения текущих тенденций изменения концептов;
- прямая задача: требуется смоделировать управляемое развитие ситуации в случае наличия внешних управляющих воздействий, для чего следует выбрать совокупность управляющих концептов, моменты и силу воздействия на них; данная задача решается наиболее часто;
- обратная задача: требуется найти управляющие воздействия, позволяющие получить желаемый результат; показано, что обратная задача является NP-трудной и некорректной.

Для анализа допустимости региональных систем в качестве формальной модели для системы патологий и дисфункций в [4, 5] было предложено использовать **когнитивную модель СПД** – оргграф $G = (V, E)$, вершинами V которого являются различные СПД, а ребра из E отражают влияние одной СПД на другую, т.е. причинно-следственные связи между СПД.

Оценку значимости (опасности для системы) $f(x)$ каждой СПД $x \in V$ предлагается производить по формуле

$$f(x) = I_x D_x P_x, \quad (4)$$

где I_x – интенсивность проявления СПД x , D_x – опасность СПД x для системы, P_x – вероятность проявления СПД x .

В процессе когнитивного моделирования производится пересчет значений $f(x)$, $x \in V$ с учетом интенсивностей взаимного влияния СПД, заданных на ребрах графа, и с учетом различных управляющих импульсов.

Появляется возможность решить ряд задач анализа системы СПД региона, в частности:

- в процессе статического анализа определить, какие СПД оказывают наибольшее и наименьшее влияние на всю систему;
- в процессе динамического анализа определить прогноз динамики целевых СПД как без отсутствия каких-либо управляющих воздействий, так и при их наличии, причем эти воздействия подаются с целью исключить или уменьшить влияние целевых СПД.

3 Оптимизационные задачи на когнитивных моделях

Моделирование на когнитивных картах, т.е. решение прямой задачи динамического анализа с использованием возмущений, поданных на определенные концепты, не всегда может удовлетворить потребности конечного пользователя. Ведь решение такой задачи не позволяет ответить на вопрос, какова должна быть комбинация управляющих импульсов, чтобы получить наилучшую в некотором смысле совокупность значений целевых концептов.

Однако исследование когнитивных моделей обычно происходит в режиме моделирования без решения оптимизационных задач, как это обычно имеет место при исследовании сложных систем. Скорее всего, здесь имеются две взаимосвязанных причины:

- оптимизационная задача наиболее общего вида для когнитивных моделей является существенно неполиномиальной: «в какие вершины модели, в какие моменты времени моделирования и сколько единиц внешнего импульса следует подать, чтобы обеспечить экстремум заданной целевой функции»;
- какие-либо приемлемые оценки, позволяющие обеспечить отсечение неперспективных решений для исключения прямого перебора, отсутствуют вследствие нелинейности задачи из-за наличия многочисленных обратных связей в когнитивных моделях.

В связи с этим в данной работе были поставлены следующие основные задачи:

- оценить возможность решения задачи оптимизации в наиболее общей постановке, для чего получить оценку вычислительной сложности решения;
- исследовать возможности решения частных оптимизационных задач;
- исследовать перспективы решения задач многокритериальной оптимизации.

Пусть:

U – множество управляющих концептов, имеющих наибольшее влияние на заданные целевые концепты, на которые в принципе могут быть поданы управляющие импульсы; для нахождения U требуется решение задачи статического анализа по определению силы взаимного влияния между каждой парой концептов;

N – мощность множества U ;

k – максимальное число управляющих концептов ($k < N$), на которые могут быть поданы импульсы при решении конкретной задачи;

L – число уровней мощности импульсов (число единичных импульсов), которые могут подаваться на концепты; в их числе – $L/2$ положительных и $L/2$ отрицательных импульсов;

T – время, в течение которого могут подаваться управляющие импульсы; оно должно быть подобрано таким образом, чтобы импульс, поданный в определенный управляющий концепт, успел «пройти» по всем остальным концептам модели.

В процессе когнитивного моделирования можно подавать импульсы на все управляющие концепты из U , но тогда результатом будет стремительный рост числа вариантов. Поэтому импульсы целесообразно подавать не на все возможные управляющие концепты из U , а на различные подмножества U , мощность которых изменяется от 1 до k . Для любого числа управляющих концептов i , лежащих в пределах от 1 до k , количество возможных комбинаций концептов будет равно числу сочетаний без повторений, т.е. C_N^i .

При $k = 1$ внешний импульс может быть подан в любой из N концептов в свой момент времени, своей мощности/знака. При $k = 2$, при возможности подачи импульса в два концепта из N возможных, в каждый их этих двух концептов (либо только в один из них) импульс может быть подан в свой момент времени, своей мощности/знака и т.д.

Поэтому оценка вычислительной сложности данной оптимизационной задачи составит

$$\sum_{i=1}^k C_N^i (LT)^i. \quad (5)$$

В результате получается неполиномиальная задача с большим числом вариантов, причем из-за нелинейности не удалось найти подходящий метод дискретной оптимизации. Видимо, именно по

этой причине в литературе по когнитивному моделированию отсутствуют работы по проблематике оптимизации на когнитивных моделях.

В связи с этим возникает необходимость исследовать возможности решения частных оптимизационных задач меньшей размерности.

При когнитивном моделировании широко используется подача только единичных импульсов – на несколько вершин или даже только на одну вершину. Это во многом соответствует сложившейся практике управления, когда все имеющиеся ресурсы бросаются на некоторый наиболее важный участок. Соответственно, можно поставить следующую частную оптимизационную задачу: «на какой управляющий концепт модели и в какой момент времени моделирования следует подать единичный импульс, чтобы обеспечить экстремум заданной целевой функции». Поиск оптимального решения можно производить методом полного перебора, т.к. вычислительная сложность задачи составляет всего $O(kT)$, где k – число управляющих (входных) концептов, T – период времени задания управляющих импульсов.

Однако такой подход кажется слишком большим упрощением, поэтому с учетом специфики задачи методом полного перебора можно решать более содержательные задачи.

На самом деле:

- параметр T можно взять в пределах до 6: в стандартных когнитивных моделях число вершин редко превышает 20–30, и при больших значениях T распространение импульсов может не обойти все вершины модели;
- параметры k и N также можно взять в этих же пределах: обычно число управлений ограничено и, как говорилось выше, обычно имеет место концентрация ресурсов;
- что касается количества вариантов силы импульса L , то для практических целей можно положить $L=4$, что позволяет задать по два отрицательных и по два положительных импульса (сильный и слабый).

Тогда, например, при вполне приемлемых для практического использования значениях параметров $N=6$, $k=3$, $T=3$, $L=4$ будет получено всего 36 782 варианта, которые могут рассчитаны весьма быстро:

$$\sum_{i=1}^3 C_6^i (4 \times 3)^i = 36\,782. \quad (6)$$

При решении оптимизационной задачи, в том числе частной, предполагается учитывать следующее.

Пусть:

$i = \{1, 2, \dots, n\}$ – номера вершин орграфа, соответствующих целевым концептам когнитивной модели, общим количеством n штук;

j – номер очередного рассчитываемого варианта при решении оптимизационной задачи;

$t = \{1, 2, \dots, T\}$ – номера моментов времени (шагов) периода моделирования, где T – максимальное количество шагов;

$V_{i,j}(t)$ – численное значение, характеризующее i -й концепт j -го варианта в момент времени t процесса моделирования.

1. Следует переименовать концепты когнитивной модели так, чтобы для всех них решалась либо задача на максимум, либо задача на минимум. Например, при решении оптимизационной задачи на максимум для когнитивной модели «Регион России» концепт «Загрязнение окружающей среды» следует заменить на «обратный» концепт «Чистота окружающей среды».

2. Значения всех концептов должны быть нормированы – приведены к единой относительной шкале (в интервале значений от -1 до $+1$) для обеспечения их сопоставимости.

3. Эффективность в каждой вершине модели (для каждого i -го целевого концепта j -го варианта) может быть рассчитана либо как накопленная сумма либо как среднее арифметическое динамических значений по шагам периода моделирования, например:

$$V_{i,j} = \sum_{t=1}^T V_{i,j}(t). \quad (7)$$

4. Поскольку решается однокритериальная оптимизационная задача, то производится линейная свертка значений целевых концептов, полученных после окончания процесса моделирования; нормированные веса a_i целевых концептов отражают значимость каждого концепта. Тогда обобщенный критерий эффективности каждого j -го варианта будет иметь вид:

$$V_j = \sum_{i=1}^n a_i V_{i,j}. \quad (8)$$

5. Поскольку при решении оптимизационной задачи, в том числе, частной, рассчитываются десятки тысяч значений обобщенного критерия эффективности, то возникает проблема эффективного хранения этих значений. Предлагаются следующие решения:

- сохраняются не все полученные значения критерия эффективности и не единственное наилучшее текущее значение, а m наилучших значений (m задается), упорядоченных по убыванию критерия эффективности: V_1, V_2, \dots, V_m ;
- каждое новое рассчитанное решение V^* сравнивается с V_m : если $V^* < V_m$ (для задачи на максимум), то более плохое решение V^* не сохраняется; в противном случае последнее решение V_m отбрасывается, а новое решение V^* вставляется на нужное по порядку место среди решений V_1, V_2, \dots, V_{m-1} .

Следует отметить, что наличие не только оптимального решения, но и близких к нему по значению критерия эффективности, дает возможность в дальнейшем решать задачи многокритериальной оптимизации. На самом деле, в результате решения прямой задачи динамического анализа для различных комбинаций управляющих воздействий, а также решения оптимизационной задачи, формируется значительное число вариантов решения задачи когнитивного моделирования. Эти варианты различаются между собой различными сочетаниями значений целевых концептов и, конечно, различными комбинациями управляющих импульсов.

Возникает вопрос, для какого из вариантов имеет место наилучшее в некотором смысле сочетание значений целевых концептов и какой из вариантов следует выбрать для реализации. Для выбора наилучшего варианта очевидным решением является использование методов многокритериальной оптимизации (МКО). В этом случае в качестве критериев предлагается взять свертки значений целевых концептов; такой сверткой может быть либо сумма, либо среднее значений каждого концепта по годам.

Для решения задачи многокритериального выбора предлагается использовать несколько стандартных методов МКО [12], например: поиск паретовского множества, поиск вариантов, ближайших к «идеальной точке», линейная свертка значений критериев, лексикографическое упорядочение вариантов, метод Эвристика, метод Electre, метод уступок, метод ограничений и т.д.

Пусть A – матрица $m \times n$, которая используется в процессе МКО и которая хранит информацию о текущем отобранном при помощи методов МКО множестве вариантов; здесь m – количество вариантов, а n – количество критериев (целевых концептов).

Окончательный вариант управляющих воздействий выбирается ЛПП по неформализованным критериям оценки на основании визуального анализа результатов многокритериальной оптимизации в виде так называемых профилей, где каждому из m вариантов соответствует ломаная, соединяющая значения различных критериев. При этом названия критериев в количестве n штук откладываются по оси ОХ, а нормированные значения критериев (что обеспечивает возможность их визуализации на одном графике) – по оси ОУ. При этом если вариант А доминирует вариант В, то ломаная для А будет находиться не ниже ломаной для В; в случае же несравнимых вариантов (например, паретовских) ломаные для вариантов А и В будут пересекаться.

Заключение

Приведем основные результаты настоящей работы:

- кратко рассмотрены основные особенности допустимых региональных систем;
- для анализа допустимости региональных систем предложено использовать когнитивную модель системных патологий и дисфункций;
- получена оценка вычислительной сложности решения на когнитивных моделях оптимизационных задач в наиболее общей постановке;
- изучены возможности решения на когнитивных моделях частных оптимизационных задач меньшей размерности;
- предложен подход для решения на когнитивных моделях задач многокритериальной оптимизации.

В перспективе планируется изучить возможность решения оптимизационных задач общего вида на когнитивных моделях с использованием подходов эволюционного моделирования и генетических алгоритмов.

Литература

1. *Соломатин А.Н., Хачатуров В.Р.* Математическое моделирование в стратегическом управлении регионом. – М.: ВЦ РАН, 2007. – 60 с.
2. *Хачатуров В.Р., Соломатин А.Н., Зотов А.В. и др.* Планирование и проектирование освоения нефтегазодобывающих регионов и месторождений: Математические модели, методы, применение / Под ред. В.Р. Хачатурова. – М.: УРСС: ЛЕНАНД, 2015. – 304 с.
3. *Сангадиева И.Г.* Методология стратегического управления регионом. – Красноярск, 2006. – 260 с.
4. *Соломатин А.Н.* Построение допустимых крупномасштабных систем как условие их управляемости и самоорганизации // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2010): Труды Четвертой межд. конф. – М.: ИПУ РАН, 2010. – Т.1. – С. 18–26.
5. *Соломатин А.Н.* Допустимые региональные системы – преимущества, условия, диагностика // Инновации и инвестиции. – 2016, №10. – С. 229–236.
6. *Кузнецов О.П.* Интеллектуализация поддержки управляющих решений и создание интеллектуальных систем // Проблемы управления. – 2009, №3.1. – С. 64–72.
7. *Кулинич А.А.* Компьютерные системы моделирования когнитивных карт: подходы и методы // Проблемы управления. – 2010, №3. – С. 2–16.
8. *Кулинич А.А.* Компьютерные системы анализа ситуаций и поддержки принятия решений на основе когнитивных карт: подходы и методы // Проблемы управления. – 2011, № 4. – С. 31–45.
9. *Прангшвили И.В.* Системный подход и общесистемные закономерности. – М.: СИНТЕГ, 2000. – 528 с.
10. *Фрейдина Е.В.* Исследование систем управления. – М.: Изд-во «Омега-Л», 2008. – 367 с.
11. *Могилевский В.Д.* Методология систем: вербальный подход. – М.: ОАО «Издательство Экономика», 1999. – 251 с.
12. *Лотов А.В., Поспелова И.И.* Многокритериальные задачи принятия решений. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.