На правах рукописи

КУРКИН Евгений Владимирович

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА ПЕРЕХОДА РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В РЕЖИМ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Специальность 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Воронеж 2014 Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет»

Научный руководитель Баева Нина Борисовна,

кандидат экономических наук, профессор

Официальные оппоненты Бронштейн Ефим Михайлович,

доктор физико-математических наук, профессор,

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,

профессор кафедры вычислительной математики

и кибернетики

Аистов Андрей Валентинович, кандидат физико-математических наук, доцент, Нижегородский филиал ФГАОУ ВПО

«Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», доцент кафедры

экономической теории и эконометрики

Ведущая организация Федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего

профессионального образования «Южный

федеральный университет»

Защита состоится «14» мая 2014 г. в 15:10 на заседании диссертационного совета Д.212.038.020 при ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет» по адресу: 394006, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1, ауд. 335.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет», полный текст размещен по адресу http://www.science.vsu.ru/disserinfo&cand=2620.

Автореферат разослан «____» марта 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

Шабров Сергей Александрович

Collast.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень разработанности проблемы. Открытые неоднородные системы широко представлены экономике, производстве, технике, биологии и других сферах. Необходимость в исследовании и моделировании развития таких систем методами и средствами, учитывающими связь с внешней средой, неоднородный состав элементов и связей, диктуется тем фактом, что сохранение как можно большего числа свойств исходной системы ведет к повышению адекватности модели и получаемых на её основе результатов. При таком подходе не требуется проводить различного рода классификации элементов системы с целью последующего их агрегирования до однородного типа, а также опускать Кроме ТОГО одновременный внешней среды. совершенствование характеристик качества (Азгальдов Г.Г.) необходимо с целью недопущения диспропорций в развитии открытых неоднородных систем. К тому же любая открытая система требует эффективных методов проведения контроля в процессе достижения поставленных целей (Руссман прикладной представляет И.Б.). точки зрения особый интерес моделирование региональных экономических систем (Макаров В. Л., Клейнер Г. Б. и др.), как социально-экономической среды жизни человека.

На фоне глубокой и обстоятельной разработки общей теории систем и вычислительных методов системного анализа (Клир Дж., Антонов А.В., Острейковский В.А., Черняк Ю.И., Уёмов А.И. и др.) открытые неоднородные B.H., Денисов А.А.) исследованы (Волкова обстоятельно: не выявлены особенности функционирования, не выработан язык исследования, не найдены адекватные объекту исследования методы моделирования и контроля. Разработка общего подхода к исследованию открытых неоднородных систем экономике требует В применения математических и программных средств. Исходя из выше сказанного, методов разработка математических поддержки процесса перехода региональных экономических систем в режим устойчивого развития является актуальной теоретической и важной прикладной задачей.

Цели и задачи исследования. Разработка математических методов моделирования открытых неоднородных систем, алгоритма удержания их в режиме устойчивого развития, развитие средств и методов оценки и моделирования качества.

Для достижения цели необходимо решение следующих задач:

- разработка моделей устойчивого развития открытых неоднородных систем вообще и в экономике в частности, а также методов их решения;
- развитие аппарата теории трудности достижения цели, как наиболее эффективного инструмента для оценки и моделирования качества;
- разработка алгоритма оптимального контроля многокритериальных систем;
- разработка комплекса алгоритмов и инструментальных средств моделирования развития открытых неоднородных экономических систем.

Методы исследования. В диссертационной работе использовались методы оптимизации, исследования операций, алгебры, системологии, системного анализа, экономико-математического моделирования, анализа экспертной информации, теории игр. При написании программного комплекса использовался объектно-ориентированный подход.

Результаты, выносимые на защиту, и их научная новизна:

- 1. Развитие теории трудности достижении цели: введение новых операций, единичного элемента, получение и доказательство ряда теорем относительно образуемых типов алгебраических систем. Расширение класса квалитативных функций за счет новых операций.
- 2. Квалитативное моделирование в пространстве трудности достижения цели, позволяющее моделировать качественные аспекты развития открытых неоднородных систем.
- 3. Алгоритм проведения контроля для многокритериальной открытой неоднородной системы, позволяющий при минимальной частоте контроля удерживать её в области устойчивого развития.
- 4. Обнаружение нового класса элементов открытых неоднородных систем: лакун объектов принадлежащих системе, частично использующих её ресурсы, но функционирующих в интересах иных систем.
- 5. Программный комплекс, реализующий математические методы процесса перехода региональных экономических систем в режим устойчивого развития.

Область исследования. Содержание диссертации соответствует п. 1. «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений», п. 4. «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента», п. 5. «Комплексные исследования научных и технических проблем c применением современной технологии моделирования математического вычислительного эксперимента» И специальности 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ Паспорта специальностей ВАК РФ.

Практическая теоретическая значимость диссертации И использование полученных результатов. Развитие теории трудности дополнительных обобщенных операций, достижения цели: введение доказательство ряда теорем. Совершенствование базы для построения производственно-квалитативных функций. Создание квалитативных И универсальной модели развития открытых неоднородных систем с учетом качества и свойством устойчивости к внешним воздействиям. Введение нового типа объекта – лакуна системы. Создание прикладного инструментария для оценки масштаба лакуны в региональных системах, а также уравнения описывающего динамику её изменения, описание способов масштаба лакуны региона. Разработка алгоритма многокритериального контроля для удержания системы в области устойчивого развития.

Теоретические результаты диссертации используются в учебном процессе Воронежского государственного университета при чтении

спецкурсов и выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ (имеется акт о внедрении).

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на ежегодных научных сессиях Воронежского государственного следующих конференциях: IX международная междисциплинарная научная конференция «Синергетика в естественных науках» (Тверь, 2011); IV Международная научно-практическая Интернетконференция «Анализ, моделирование и прогнозирование экономических процессов» (Волгоград, 2011); XXXV международная научная школа-семинар им. С.С. Шаталина «Системное моделирование социально-экономических процессов» (Кострома, 2012); международная научная «Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики» (Воронеж 2012); XXXVI международная научная школа-семинар им. С.С. Шаталина «Системное моделирование социально-экономических процессов» (Воронеж, 2013); IX международная научно-практическая конференция «Экономическое прогнозирование: модели и методы» (Воронеж, 2013).

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 14 работ, в том числе 4 в журналах, рекомендованных ВАК РФ. Список публикаций приведен в конце автореферата. Лично соискателю принадлежат работы [3, 7, 8, 9, 10, 11]. Остальные работы выполнены в соавторстве.

В работе [1] введены новые обобщенные операции, единичный элемент множества коэффициентов трудности достижения цели. В [2] доказано, что множество трудности достижения цели с введенными на ней операциями являются алгебраической системой. В [3] для моделирования развития предложена модель, учитывающая показатели системы гипотетические элементы, введена функция прироста качества. В работе [4] предложен способ оценки масштаба лакуны, приведен системный описатель с производственной лакуной, составлена модель построения сбалансированной траектории развития экономики региона. В [6] представлена методика трассологического контроля над системой, движущейся к цели, доказана теорема о выборе оптимальной точки контроля. В [9] приведены особенности коэффициентов трудности достижения цели как показателей качества, дана интерпретация коэффициентов лингвистическая уровней трудности достижения цели.

Объём и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка используемых источников из 108 наименований и приложения; изложена на 141 странице основного текста и включает 14 рисунков и 12 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновываются актуальность темы, научная новизна и практическая значимость, формулируются цель и задачи исследования.

В первой главе вводятся определения и общие положения исследования. Рассматриваются особенности сложных открытых динамических

неоднородных систем, движущихся к поставленной многокритериальной цели. Под развитием системы понимается процесс достижения заданных целей, определенных показателей или состояния системы. Предполагается, что система движется к цели, используя как свои собственные, так и привлекаемые ресурсы, а также имеет некоторый объем дополнительных ресурсов для достижения глобальной цели и улучшения выбранных характеристик. Вводятся полицентроидные системы, в которых в силу неоднородности имеется несколько центров интересов развития системы.

Система считается неоднородной, если имеет место, хотя бы одно положение: входящие в неё элементы неоднотипны, не одинаковы по размеру (мощности), связи разнородны. Предполагается, что каждый элемент может быть охарактеризован мощностью $|e_i|, i=\overline{1,n}$, причем мощности неоднотипных элементов могут быть в различных единицах измерения. Пусть, с помощью коэффициентов $w_i, i=\overline{1,n}$ их можно привести их к единой шкале, тогда выполняется соотношение $w_1|e_1|\leq w_2|e_2|\leq ... \leq w_n|e_n|$. Вектор $\rho=(\rho_1,\rho_2,...,\rho_n)$ для которого верно равенство $\rho_1w_1|e_1|=\rho_2w_2|e_2|=...=\rho_nw_n|e_n|$ называется вектором неоднородности, а значение величины $|\rho|=\frac{1}{n}\sqrt{\rho_1^2+\rho_2^2+...+\rho_n^2}$ – индексом неоднородности системы.

В первой главе также вводятся элементы и состояния системы, связи между элементами и образуемая ими структура. На данной основе вводиться базовый описатель системы $S_{ucx} = \left\langle (e_i, E), (r_{ij}, R), Cm(E, R) \right\rangle$, где $e_i - i$ -й элемент из множества E, r_{ij} — отношения между элементами, Cm(E, R) — образуемая элементами и их связями структура

Для функционирующей, динамической, целевой системы предложен следующий описатель с учетом неоднородности объектов:

 $S_t = \left\langle S_{ucx}; (t_0,t,T); (I(t),G_I); (X(t)=F(Z(t))); \mathcal{\Phi}(I(t),Z(t); (e_L,\rho,I_L(t),X_L(t)) \right\rangle.$ Здесь $t \in [t_0,T]$ — системное время, t_0 — начальное время, T — горизонт системного времени, I(t) — входной поток на множестве G_I , X(t) — выходной поток передаточного функционала системы F, зависящий от вектора состояний Z(t) = H(Z(t-1),I(t)). Цели могут задаваться функциональной зависимостью $\mathcal{\Phi}(I,Z)$ или конечным целевым состоянием системы Z(T). Влияние внешней среды учитывается через агрегированный элемент e_L , для которого не могут быть непосредственно указаны связи с другими элементами, но предполагается, что на основе исторических данных возможно определение входных I_L и выходных X_L потоков для e_L .

Для таких систем вводится понятие устойчивого развития, при котором:

$$\forall \varepsilon, \exists \delta_I : |I(t) - I^{nn}(t)| < \delta_I \implies |X(t) - X^{nn}(t)| < \varepsilon.$$

Система, таким образом, развивается устойчиво, если выявленные изменения входящих параметров, не увеличивают радиус устойчивости системы.

В главе также описана базовая динамическая нелинейная модель развития системы с учетом качества и наличием гипотетических элементов:

$$X(T) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i f_i(R_i(T)) \to \max$$
 (1)

$$Q(T) = \sum_{i=1}^{n} Q_i(T) \to \max$$
 (2)

$$R_i^j(t) = R_i^j(t-1) + \beta_i^j(t)\Phi(t) - d_i R_i^j(t),$$
(3)

$$0 \le \beta_i^j(t) \le \beta_i^j(t) \le \overline{\beta_i^j}(t), \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} \beta_i^{j}(t) = 1, \tag{5}$$

$$Q_{i}^{j}(t) = Gr(Q_{i}^{j}(t-1), \kappa_{i}^{j}(t)K(t)), \tag{6}$$

$$0 \le \kappa_i^j(t) \le \kappa_i^j(t) \le \overline{\kappa_i^j}(t), \tag{7}$$

$$\sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} \kappa_i^{j}(t) = 1, \tag{8}$$

$$\Delta\Phi(t) = \Phi(t) - \sum_{k=1}^{K} \gamma_k R_k(t), \gamma_k \in \{0, 1\}, k = \overline{1, K},$$
(9)

$$R_i^j(t_0) = R_{0i}^j, \ Q_i^j(t_0) = Q_{0i}^j,$$

 $i = 1, 2, ..., n, \ t = t_0 + 1, ..., T, \ j = 1, 2, ..., m.$ (10)

В ходе решения модели (1)-(10) необходимо найти набор состояний системы $\left\{ eta_{i}^{j}(t), \kappa_{i}^{j}(t), \gamma_{k}, i = 1, 2, ..., n, j = 1, 2, ..., m, k = \overline{1, K} \right\}$ в каждый момент $t=t_0+1,...,T$. В модели $R_i^{\ j}(t)$ — ресурс j-го вида i-ого элемента системы, а $R_{0i}^{\ j}$ его начальная величина, $\Phi(t)$ – величины дополнительных ресурсов, в периоды времени $t=t_0+1,...,T$, $\beta_i^{\,j}(t)$ — доля дополнительных ресурсов для развития i-го элемента системы, $f_i(R_i(t))$ – передаточная функция i-го элемента, d_i – коэффициент выбытия ресурсов i-го вида, $\gamma_k \in \{0,1\}$ коэффициенты принятия новых (гипотетических) элементов, $R_k(t)$ - величины затрат ресурсов на k-ый гипотетический элемент. Целевая функция (2) отражает суммарный уровень качества Q(T), (6) – функция прироста качества, $Q_i^j(t)$ — уровень качества i-го элемента j-го ресурса, Q_{0i}^j — его начальное значение, $\kappa_i^j(t)$ — коэффициент распределения ресурсного фонда $\mathbf{K}(t)$ на улучшение качества выбранных показателей системы, $\lambda_i \in R$ — коэффициент вклады элемента в выход системы. В конкретном приложении могут быть добавлены и иные блоки ограничений и целевых функций: балансовые ограничения, повышения эффективности функционирования и т.п.

В конце главы дана постановка задачи математического моделирования развития открытых неоднородных систем и удержания их в режиме устойчивого развития.

Во **второй** главе введены операционные основы работы с показателями качества. Пусть μ — оценка качества некоторого ресурса, задаваемая в полуинтервале $0 < \mu \le 1$, ε — требования к качеству ресурса: $0 \le \varepsilon < 1$, $\varepsilon \le \mu$.

Трудностью достижения цели (ТДЦ) называется коэффициент $d = \frac{\varepsilon(1-\mu)}{\mu(1-\varepsilon)}$, доопределенный в точках d(0,0) = 0 и d(1,1) = 1.

Пусть множество D есть отрезок [0,1], которому принадлежат значения ТДЦ, ниже приведены операции над коэффициентами ТДЦ.

Таблица 1. Обобщенные операции (* – новые операции)

Название операции	Аналитический вид
обобщенное сложение	$d = d_1 \oplus d_2 = d_1 + d_2 - d_1 d_2$
обобщенное умножение	$d = d_1 \otimes d_2 = 1 - e^{-\ln\frac{1}{1 - d_1} \ln\frac{1}{1 - d_2}}$
п-арное сложение	$d = d_1 \oplus d_2 \oplus \dots \oplus d_n = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - d_i)$
п-арное умножение	$d = d_1 \otimes d_2 \otimes \dots \otimes d_n = 1 - e^{-\prod_{i=1}^{n} \ln \frac{1}{1 - d_i}}$
умножение на неотрицательное число	$\lambda \otimes d = 1 - (1 - d)^{\lambda}$
обобщенное возведение в степень, $\lambda \ge 0$	$d^{\hat{\lambda}} = 1 - e^{-\left(\ln\frac{1}{1 - d}\right)^{\lambda}}$
обобщенное вычитание*	$d = d_1 \Theta d_2 = \frac{d_1 - d_2}{1 - d_2}$
обобщенное деление*	$d = d_1 O d_2 = 1 - e^{-\ln \frac{1}{1 - d_1} / \ln \frac{1}{1 - d_2}}$

Единичным элементом при так введенных операциях является $d = 1 - \frac{1}{\rho} \approx 0.63$.

В работе доказана справедливость следующих теорем.

Теорема 1: Пусть $d_1 \in D$, $d_2 \in D$, тогда при $d_2 > 1 - \frac{1}{e}$ выполняется неравенство $d_1 \otimes d_2 > d_1$, а из $d_2 < 1 - \frac{1}{e}$ следует, что $d_1 \otimes d_2 < d_1$.

Введенные обобщенные операции над коэффициентами ТДЦ, образуют алгебраическую систему.

Теорема 2. Алгебраическая система с носителем D и операцией сложения является моноидом.

Теорема 3. Алгебраическая система с носителем D и операцией умножения является абелевой группой.

Теорема 4. Алгебраическая система с носителем D и обобщенными операциями сложения и умножения является полукольцом.

Теорема 5. Если $d_1 = 1$, то для любого $d_2 \in D$ (при вычитании и делении $d_2 \neq 1$) результат обобщенных операций сложения, вычитания, умножения и деления будет равен единице.

В главе также рассматриваются квалитативные функции, отражающие зависимость результата от оценок качества применяемых ресурсов и требований к ним и производственно-квалитативные функции, в которых наряду с количественными характеристиками процесса производства, учитываются и качественные. Введены функции прироста качества — отражающие зависимость уровня качества и вложенных в его повышение ресурсов. Приведены свойства данных функций, направления использования и примеры. Предложена функция прироста качества, зависящая от вложенных средств на улучшение качества, загрузки элемента и уровня износа ресурсов

$$G_{i}^{j}(\kappa_{i}^{j}(t) \cdot \Phi(t), \overline{A}_{i}^{j}(t), Y_{i}(t), d_{i}^{j}(t-1)) =$$

$$= \left(\lambda_{d} \otimes d_{i}^{j}(t-1) \oplus (\lambda_{A} \otimes d_{A}) \oplus (\lambda_{Y} \otimes d_{Y})\right) \otimes d_{\Phi} \mathcal{O}(\hat{e} \oplus \lambda_{\Phi} \otimes d_{\Phi})^{2}$$

где d_{Φ} – коэффициент ТДЦ, зависящий от объема дополнительно выделяемых на увеличение качества средств $\kappa_i^j(t) \cdot \Phi(t)$, d_A – ТДЦ характеризующая износ ресурсов $A_i^j(t)$ и d_Y – ТДЦ зависящая от загрузки ресурсов. Коэффициенты λ при каждом обобщенном слагаемом – есть весовые коэффициенты.

В **третьей** главе приведен разработанный алгоритм скаляризации векторного критерия, основой которого является перевод целевых функций в пространство ТДЦ и их объединение через обобщенную операцию сложения.

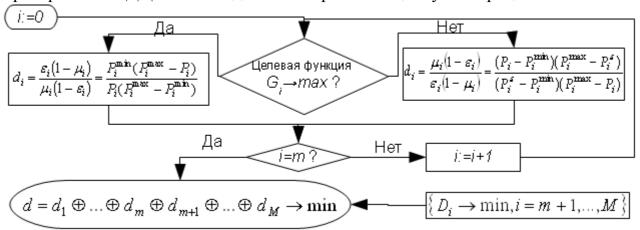


Рисунок 1. Схема алгоритма скаляризации векторного критерия через ТДЦ.

Для полицентроидных систем, когда целевые функции противоречивы и не могут быть объединены в одну, используется аппарат теории игр: вводятся стратегии игроков, составляются матрицы выигрыша и, в предположении, что игра будет происходить в смешанных стратегиях, производится расчет вероятности применения стратегий каждым игроком.

Для решения нелинейной модели (1)-(10) и её производных предлагается модифицированный метод Соболя. Суть базового метода состоит в создании сетки многомерного единичного куба, «натягивании» сетки на допустимое множество и перебора точек сетки с нахождением оптимального множества. В силу ограничений базовой модели можно среди всего набора точек

многомерного единичного куба брать только те, что лежат на плоскости пересекающей оси координат в точках со значением 1, за счет чего можно ускорить работу алгоритма. Для реализации модифицированного метода Соболя разработан пошаговый алгоритм.

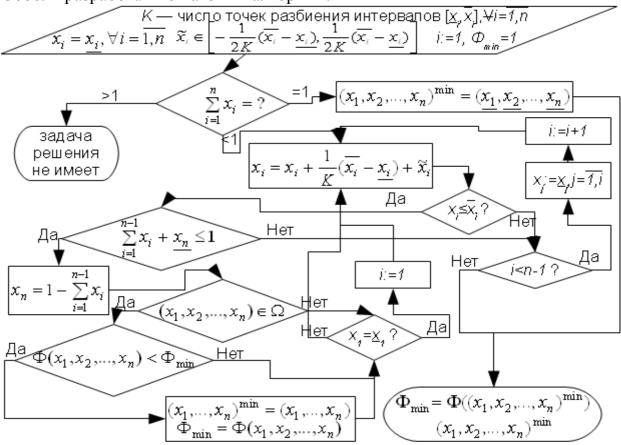


Рисунок 2. Схема алгоритма модифицированного метода Соболя.

Кроме того в третьей главе описаны базовые основы организации оптимального контроля, опирающегося на теорию ТДЦ. Контроль над открытой неоднородной системой производится с целью удержания её в режиме устойчивого развития. Для нахождения моментов контроля отвечающих принципу минимальной достаточности предлагается решать нелинейную оптимизационную задачу (методом Соболя):

$$d(t_0) = d_1(t_0) + d_2(t_0) - d_1(t_0)d_2(t_0) \to \min_{t_0} , \qquad (11)$$

$$d_1(t_0) = \frac{(V_{\text{max}}t_0 - F(t_0))(A_{nn} + V_{\text{min}}t_0 - V_{\text{min}}t_{nn} - F(t_0))}{t_0(A_{nn} - V_{\text{min}}t_{nn})(V_{\text{max}} - V_{\text{min}})}, (12)$$

$$d_2(t_0) = \frac{(V_{\text{max}}t - F(t_0))(A_{nn} + V_{\text{min}}t - V_{\text{min}}t_{nn} - F(t_0))}{(t_{nn} - t_0)(V_{\text{max}}t_{nn} - A_{nn})(V_{\text{max}} - V_{\text{min}})}, \quad (13)$$

$$\frac{A_{nn} - V_{\min} t_{nn}}{V_{\max} - V_{\min}} \le t_0 \le \frac{V_{\max} t_{nn} - A_{nn}}{V_{\max} - V_{\min}},$$
(14)

где V_{\min} и V_{\max} — минимальная и максимальная скорость движения системы к цели, A_{nn} — целевое значение, в окрестности которого необходимо оказаться системе за время t_{nn} , функция F(t) — целевой функционал или иной

контролируемый критерий, t_0 — вычисляемая точка контроля. В описываемой главе обосновано утверждение об оптимальной точке контроля: решением задачи (11)-(14) является оптимальная точка контроля, характеризуемая минимумом затрат на его проведение. Расчет моментов контроля с помощью задачи (11)-(14) гарантирует достижение поставленной цели.

Разработан алгоритм удержания открытой системы в режиме устойчивого развития при многокритериальном целевом функционале.

В **четвертой** главе предлагается пример открытой неоднородной системы региона, введен её описатель. Составлены сценарии и модели развития экономической системы региона: базовый; с учетом показателей качества; гипотетических элементов; с моделированием движения трудовых ресурсов. В математической модели региона учитывались балансовые ограничения. В этой главе также приведено описание программного комплекса созданного в MS Visual Studio на языке программирования С# и реализующего все приведенные в работе алгоритмы и методы.

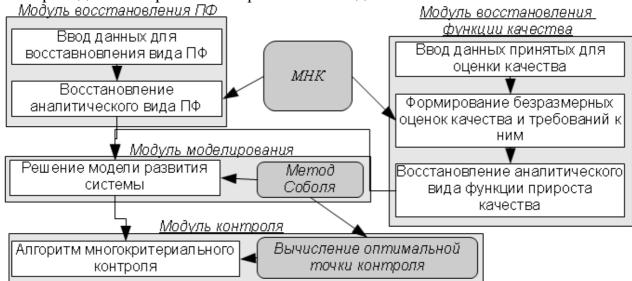


Рисунок 3. Структура программного комплекса.

С использованием программного комплекса для региональной экономической системы Воронежской области рассчитано два сценария развития: «количественный» и с учетом показателей качества. Рассмотрим второй из них. Целевые функции модели:

$$I=0.1\sqrt{\frac{X(T)}{2331500}\frac{X(T)}{52200}} o \max$$
 — индекс хозяйственного развития территории, $\Pi(T)-X(T) o \min$ — величина недоиспользования потенциала региона, $D=d_1^L\oplus d_2^L\oplus d_3^L\oplus d_4^L\oplus d_5^L\oplus d_6^L o \min$ — итоговый показатель качества, $\Pi(t)=\sum_{i=1}^6 F_i(K_i(t),L_i(t)),\ X(t)=\sum_{i=1}^6 X_i(t),\ X_i(t)\leq F_i(K_i(t),L_i(t)),i=\overline{1,6}$. Набор функций прироста качества и производственных функций: $G_1^L(\kappa_1^L(t)\cdot\Phi(t),d_1^L(t-1))=d_1^L(t-1)\otimes d_1^{\Phi L}(t)\mathcal{O}(\hat{e}\oplus 0.22\otimes d_1^{\Phi L}(t))$,

$$F_1(t) = \left(0.000016K_1(t)^{1.89} + 665.4L_1(t)^{0.59}\right)^{0.95}$$
 — обрабатывающие производства;

$$\begin{split} G_2^L(\kappa_2^L(t) \cdot \Phi(t), d_2^L(t-1)) &= d_2^L(t-1) \otimes d_2^{\Phi L}(t) \mathcal{O}(\hat{e} \oplus 0.21 \otimes d_2^{\Phi L}(t))\,, \\ F_2(t) &= 12.75 K_2(t)^{0.001} L_2(t)^{1.14} - \text{пр-во и распред. электроэнергии, газа и воды;} \\ G_3^L(\kappa_3^L(t) \cdot \Phi(t), d_3^L(t-1)) &= 0.63 \otimes d_3^L(t-1) \otimes d_3^{\Phi L}(t) \mathcal{O}(\hat{e} \oplus 0.073 \otimes d_3^{\Phi L}(t))\,, \\ F_3(t) &= 39.43 K_3(t)^{0.001} L_3(t)^{0.93} - \text{сельское хозяйство;} \\ G_4^L(\kappa_4^L(t) \cdot \Phi(t), d_4^L(t-1)) &= 0.98 \otimes d_4^L(t-1) \otimes d_4^{\Phi L}(t) \mathcal{O}(\hat{e} \oplus 0.18 \otimes d_4^{\Phi L}(t))\,, \\ F_4(t) &= 16631.7 + 0.0001 \cdot K_4(t) + 20.02 \cdot L_4(t) - \text{оптовая и розничная торговля;} \\ G_5^L(\kappa_5^L(t) \cdot \Phi(t), d_5^L(t-1)) &= 0.86 \otimes d_5^L(t-1) \otimes d_5^{\Phi L}(t) \mathcal{O}(\hat{e} \oplus 0.15 \otimes d_5^{\Phi L}(t))\,, \\ F_5(t) &= \left(0.000016 \cdot K_5(t)^{3.52} + 157.46 \cdot L_5(t)^{2.54}\right)^{0.45} - \text{строительство;} \\ G_6^L(\kappa_6^L(t) \cdot \Phi(t), d_6^L(t-1)) &= 0.73 \otimes d_6^L(t-1) \otimes d_6^{\Phi L}(t) \mathcal{O}(\hat{e} \oplus 0.108 \otimes d_6^{\Phi L}(t))\,, \\ F_6(t) &= 0.001 \cdot K_6(t) + 26.62 \cdot L_6(t) - \text{транспорт и связь.} \end{split}$$
 Ограничения перераспределения ресурсов

$$\begin{split} &K_{i}(t) = K_{i}(t-1) + \beta_{i}^{K}(t)\Phi(t) - d_{i}K_{i}(t), i = \overline{1,6}, t = 1,...,5 \,, \\ &L_{i}(t) = L_{i}(t-1) + \beta_{i}^{L}(t)\Phi(t), i = \overline{1,6}, t = 1,...,5 \,, \\ &\underline{\beta_{i}^{K}}(t) \leq \beta_{i}^{K}(t) \leq 1, i = \overline{1,6}, t = 1,...,5 \,, \, \underline{\beta_{i}^{K}}(t) = (0, \, 0.12, \, 0.15, \, 0, \, 0, \, 0.1), t = 1,...,5 \\ &\underline{0.05} \leq \beta_{i}^{L}(t) \leq 1, \, \, 0.02 \leq \kappa_{i}^{L}(t) \leq 1, \, \, \underline{i = \overline{1,6}}, t = 1,...,5 \\ &\underline{\sum_{i=1}^{6}}(\beta_{i}^{K}(t) + \beta_{i}^{L}(t) + \kappa_{i}^{L}(t)) = 1, \forall t = 1,...,5 \,. \end{split}$$

$$d_{i}^{\Phi L}(\Phi(t)) = \frac{\varphi(\underline{\kappa}_{i}^{L}(t) \cdot \Phi(t))(1 - \varphi(\kappa_{i}^{L}(t) \cdot \Phi(t)))}{\varphi(\kappa_{i}^{L}(t) \cdot \Phi(t))(1 - \varphi(\kappa_{i}^{L}(t) \cdot \Phi(t)))}, \quad \varphi(\kappa_{i}^{L}(t) \cdot \Phi(t)) = \kappa_{i}^{L}(t), i = 1, \dots, 6,$$

Балансовые ограничени

$$X_{j}(t) \ge \sum_{i=1}^{n} h_{ij} X_{i}(t) + d_{j} K_{j}(t) + L_{j}(t) + \Pr_{i}(t), j = \overline{1,6}, t = 1,...,5,$$

$$X_{i}(t) \ge \sum_{j=1}^{n} a_{ij} X_{j}(t) + Y_{i}^{B}, i = \overline{1,6}, t = 1,...,5,$$

где коэффициенты затрат a_{ij} , распределения h_{ij} , выбытия фондов d_{ij} , конечный продукт Y_i^B и вектор прибыли $\Pr_i(t)$ считаются заданными.

Начальные условия:

$$\begin{split} &\{\Phi(t), t=1,...,5\} = \{43200, 65900, 88400, 39400, 33400\}\,, \\ &\{K_i(t_0), i=1,2,...,6\} = \{64387, 37313, 42368, 16798, 8122, 268054\}\,, \\ &\{L_i(t_0), i=1,2,...,6\} = \{2014.19, 459.76, 1340.99, 1834.65, 729.52, 1141.98\}\,, \\ &\{Q_i^L(t_0), i=1,2,...,6\} = \{0.787, 0.799, 0.796, 0.775, 0.754, 0.702\}\,. \end{split}$$

В результате решения модели получен индекс хозяйственного развития равный 0.735, что меньше, чем в «количественном» сценарии. Коэффициент ТДЦ по качеству равен 0,22. В модели выявлено смещение финансирования в сторону качества трудовых ресурсов всех видов экономической деятельности. Траектория движения системы приведена на рисунке 4.

Практические расчеты и анализ структуры элементов новый класс объектов в системе, представляющих позволили вывить внешнюю среду системы. Объекты были названы производственной лакуной – совокупность субъектов хозяйственной деятельности, которые вступают в материальные, организационные и производственные отношения с другими хозяйственными субъектами (ХС) региона, но организационно не подчинены административному центру и не зарегистрированы как юридические лица на территории региона.

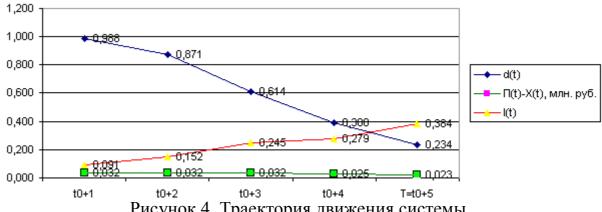


Рисунок 4. Траектория движения системы.

Для лакуны установлен ряд свойств, описана структура (внешняя, внутренняя лакуна) и разработаны методы оценки масштаба производственной лакуны. Через основные балансовые соотношения выписаны выражения распределения выпуска лакуны $x_{i,n+1} = X_i - Y_i - \sum_{j=1}^n x_{ij}$, $i = \overline{1,n}$ и структуры затрат

лакуны
$$x_{n+1,j} = X_j - Z_j - \sum_{i=1}^n x_{ij}, j = \overline{1,n},$$
 здесь $x_{ij}, i = \overline{1,n+1}, j = \overline{1,n+1}$ есть

величина потока ресурсов из і-го элемента (вида экономической деятельности, лакуны) в j-й, Y_i , $i = \overline{1, n+1}$ есть конечный продукт, Z_j , $j = \overline{1, n+1}$ — чистый продукт, а X_i , $i = \overline{1, n+1}$ — потенциал валового выпуска. Для прогноза роста влияния производственной лакуны на систему региона, из теоретических функция инвестиционной привлекательности предпосылок разработана региона, характеризующую динамику изменения производственной лакуны:

$$\frac{dX_{n+1}(t)}{dt} = k^{X}X(t) + k^{P}P(t) - k^{I}l(t) - k^{R}R(t) + o(t),$$

здесь X(t) — валовой выпуск региона, P(t) — население региона, l(t) — средняя оплата труда сложившаяся в регионе в период времени t, R(t) – показатель отражающий стоимость основных ресурсов регионе (электроэнергия, вода, аренда земли и т.п.), o(t) – характеризует влияние неучтенных факторов, k – поправочные коэффициенты. На основе данной функции определен характер влияния внутренних параметров системы на величину воздействий внешней среды (производственной лакуны).

По найденной траектории развития, рассмотрен пример определения производственной лакуны региона.

Таблица 2. Расширенная таблица межотраслевого баланса за базовый (числитель) и плановый (знаменатель) год, млн. руб.

	1	2	3	4	5	6	6+1	Yi	Xi
обрабатывающие	9590,933	2051,475	<u>5373</u>	4113,385	2740,725	2759,469	<u>-12518,1</u>	36904,7	51015,6
производства	24781,78	139046,63	45820,76	25268,05	72706,65	29659,42	-242370	36904,70	131817,99
пр-во и распред. эл-	1326,406	410,295	<u>501,48</u>	738,2998	1187,648	<u>871,4112</u>	115,0609	8525,9	13676,5
гии, газа и воды	3427,27	27809,33	4276,60	4535,29	31506,21	9366,13	837530,82	8525,90	926977,55
сельское хозяйство	4438,357	615,4425	1361,16	52,7357	18,2715	<u>1960,675</u>	<u>-8206,94</u>	35580,3	<u>35820</u>
	11468,17	41713,99	11607,93	323,95	484,71	21073,80	183218,92	35580,30	305471,76
оптовая и розничная	2652,811	423,9715	2077,56	5326,306	5481,45	<u>4538,6</u>	<u>-9624,2</u>	41859,2	<u>52735,7</u>
торговля	6854,54	28736,30	17717,36	32718,89	145413,30	48781,95	1867,87	41859,20	323949,41
строительство	4234,295	369,2655	<u>179,1</u>	738,2998	475,059	544,632	1346,649	10384,2	<u>18271,5</u>
	10940,89	25028,39	1527,36	4535,29	12602,49	5853,83	413838,53	10384,20	484710,99
транспорт и связь	5917,81	1258,238	788,04	1160,185	493,3305	544,632	22397,86	<u>3748,7</u>	36308,8
	15290,89	85281,94	6720,38	7126,89	13087,20	5853,83	253145,74	3748,70	390255,56
Лакуна	<u>7930,852</u>	<u>6467,237</u>	<u>19229,6</u>	<u>35189,14</u>	6278,427	<u>-4009,1</u>			
	32506,55	530956,28		-	186437,64	215058,69			
Прибыль*,млн. руб.	<u>9690,6</u>	<u>426,8</u>	<u>2808,3</u>	<u>1012,6</u>	<u>729</u>	<u>1151,1</u>			
	4427,83	476,29	713,67	895,65	-11,81	925,37			
Норма амортизации*		1194,016	<u>2160,768</u>	2570,094	<u>138,074</u>	<u>26805,4</u>			
(средняя)	6590,90	29663,28	15579,06	49564,26	8240,09	39025,56			
Труд, млн. руб	2014,187	459,7592	1340,991	1834,654	729,5157	1141,976			
	15529,19	18265,12	14855,95	15349,65	14244,52	14656,98			
Валовый выпуск	<u>51015,6</u>	13676,5	<u>35820</u>	<u>52735,7</u>	<u>18271,5</u>	36308,8			
	131817,99	926977,55	305471,76	323949,41	484710,99	390255,56			

Анализируя величины выпуска лакуны $x_{i,n+1}$, $i=\overline{1,n}$ делаем вывод, что в обрабатывающих производствах, сельском хозяйстве и оптовой и розничной торговле доминирует внешняя лакуна и имеет место занижение валового регионального продукта по данным видам деятельности. По структуре затрат имеет место доминирование внутренней лакуны для транспорта и связи, по остальным видам экономической деятельности преобладает внешняя лакуна, использующая наши ресурсы.

Отметим, что после инвестирования, влияние внутренней лакуны стало доминировать в сельском хозяйстве и оптовой и розничной торговле. За счет вложений в трудовые ресурсы нашего региона в сфере транспорта и связи по структуре затрат стала доминировать внешняя лакуна. Таким образом, посредством инвестирования в виды экономической деятельности можно опосредованно влиять на масштаб производственной лакуны региона.

В заключении излагаются основные результаты диссертации.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе на основе выполненных теоретических и прикладных исследований в области моделирования открытых неоднородных систем, сформулированы следующие выводы:

1. Применение системного подхода к описанию открытых неоднородных систем позволяет применять составленные базовые модели в различных прикладных задачах, связанных с необходимостью построения устойчивых траекторий развития, оптимального распределения ресурсов между элементами системы и выявления наиболее перспективных точек роста, в том числе в области роста качества (квалитативное моделирование).

- 2. Введение новых операций в теории трудности достижения цели, выявление единичного элемента и доказательство ряда теорем позволяет строить новые зависимости в функциях качества: с целью прогнозирования качества результата на основе качества исходных компонентов, степени улучшения качества за счет вложенных ресурсов. Кроме того, коэффициенты ТДЦ могут быть применены при скаляризации задач векторной оптимизации.
- 3. Алгоритм контроля расширен на случай нескольких целевых функций для организации минимально достаточного контрольного процесса удержания открытой неоднородной системы в режиме устойчивого развития.
- 4. В ходе практического применения построенных моделей и методов выявлен новый класс объектов в экономической системе региона, названный производственной лакуной и обладающий рядом отличительных характеристик. Для повышения качества управления этим объектом в региональной системе целесообразно ввести специальный отдел.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из перечня ВАК РФ

- 1. Баева Н.Б. «Обобщение методов построения интегральных оценок качества на основе теории трудности достижения цели» [Текст] / Баева Н.Б., Куркин Е.В. // Вестник ВГУ, Серия: системный анализ и информационные технологии, 2011, № 1. С. 84-92.
- 2. Баева Н.Б., «Алгебра трудности достижения цели как операционная основа оценки качества результата» [Текст] / Н.Б. Баева, Е.В. Куркин // Научнотехнические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. №6(137), 2011. С. 210-213. ISSN 1994-2354.
- 3. Куркин Е.В. «Моделирование развития региональной экономической системы на основе её модернизации» [Текст] / Куркин Е.В. // Вестник ВГУ, Серия: системный анализ и информационные технологии, 2012, № 1. С. 107-114.
- 4. Баева Н.Б., «Математические методы оценки производственной лакуны региона» [Текст] / Н.Б. Баева, Е.В. Куркин // Научно-практический журнал «Современная экономика: Проблемы и решения». №11(35), 2012. С. 138-147. ISSN 2078-9017.

Публикации в других изданиях

- 5. Руссман И.Б. «Трассологический контроль функционирования активных организационных систем» [Текст] / Руссман И.Б, Куркин Е.В. // Экономическое прогнозирование: Модели и методы. Материалы международной научно-практической конференции 30-31 марта 2006г. Часть 2. С. 287 293.
- 6. Баева Н.Б. «Двухуровневая модель удержания экономического объекта в режиме сбалансированного роста» [Текст] / Баева Н.Б., Куркин Е.В. // Вестник ВГУ, Серия: системный анализ и информационные технологии, 2008, № 1. С. 92-101.
- 7. Куркин Е.В. «Операционные основы построения интегральных оценок

- качества на основе теории трудности достижения цели» [Текст] / Куркин Е.В. // Международная междисциплинарная научная конференция: Синергетика в естественных науках (седьмые Курдюмовские чтения)./ Сборник тезисов. Тверь: Изд-во ТГУ, 2011. С. 357-361.
- 8. Куркин Е.В. «Качественные оценки в экономическом моделировании» [Текст] / Куркин Е.В. // Европейский исследователь. Мультидисциплинарный научный журнал №5-1[7].2011. С. 612-613.
- 9. Куркин Е.В. «Совершенствование процесса моделирования РЭС на основе управления качеством ресурсов» [Текст] / Е.В. Куркин // Анализ, моделирование и прогнозирование экономических процессов: материалы III Международной научно-практической Интернет-конференции, 15 декабря 2011 г. 15 февраля 2012 г. С. 127-135.
- 10. Куркин Е.В. «Моделирование развития региональной экономической системы на основе её модернизации» / Куркин Е.В. // Актуальные задачи математического моделирования и информационных технологий: материалы междунар. науч.-прак. конф., г. Сочи, 3-9 мая 2012 г. / науч. Ред. А.Р. Симонян, Е.И. Улитина. Сочи, 2012. С. 50-51.
- 11. Куркин Е.В. Математические методы учета лакун региональной экономической системы [Текст] / Куркин Е.В. // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сборник трудов Международной конференции, Воронеж, 26-28 ноября 2012 г.: в 2 ч. Ч. 2. Воронеж: Издательско-полиграфический центр ВГУ, 2012. С. 162-167.
- Н.Б., «Производственные 12. Баева лакуны как механизм уточнения разработки сбалансированной траектории развития региональной экономической системы» [Текст] / Н.Б. Баева, Е.В. Куркин // Материалы 35-й международной научной школы-семинара «Системное моделирование социально - экономических процессов» имени академика С.С. Шаталина, Кострома, 18-23 сентября 2012.
- 13. Баева Н.Б. «Производственная лакуна региона: определение, сущность, методы оценки» [Текст] / Н.Б. Баева, Е.В. Куркин // Экономическое моделирование: Модели и методы: материалы IX междунар. науч.-прак. конф., 26 апреля 2013 г. / под общ. ред. В.В. Давниса, В.И. Тиняковой; Воронеж. гос. ун-т [и др.]. Воронеж: типография Воронежского ЦНТИ филиала ФБГУ «РЭА» Минэнерго России, 2013. С. 68-71. ISBN 978-5-4218-0165-8
- 14. Баева Н.Б. «Математическое моделирование и исследование производственной лакуны региона» [Текст] / Н.Б. Баева, Е.В. Куркин // Материалы 36-й международной научной школы-семинара «Системное моделирование социально экономических процессов» имени академика С.С. Шаталина, Воронеж, 29 сентября 4 октября 2013.