

# РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИНХРОНИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ПОИСКОВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ И ДУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ

Б. Н. Тишуков, Я. Е. Львович

*Воронежский государственный технический университет*

Поступила в редакцию 15.06.2017 г.

**Аннотация.** В представленной статье рассматривается структура вычислительной среды, интегрированной в систему принятия решений. Описываются принципы реализации процедур дуального моделирования и поисковой оптимизации. Приводятся результаты разработки математического аппарата для обеспечения процесса синхронизации режимов дуального моделирования и поисковой оптимизации для принятия управленческих решений.  
**Ключевые слова:** интегрированная вычислительная среда, система принятия решений, синхронизация режимов моделирования и оптимизации, математическая модель режима синхронизации, условия останова переходных процессов.

**Annotation.** In this article the structure of the computing environment integrated into decision making system is considered. The principles of implementation of procedures of dual simulation and retrieval optimization are described. Results of development of a mathematical apparatus for support of process of synchronization of the modes of dual simulation and retrieval optimization for acceptance of administrative decisions are given.

**Keywords:** the integrated computing environment, decision making system, synchronization of the modes of simulation and optimization, mathematical model of the mode of synchronization, condition of break of transient phenomena.

## ВВЕДЕНИЕ

Разработка оптимизационных моделей для объектов со структурновариативной формой управления, а также выбор численных методов на основе популяционных алгоритмов и их адаптация под рассматриваемый класс задач, которые подробно описаны в работах [1, 2], позволяет перейти к задаче проектирования системы поддержки принятия решений. Основой для такой системы будет являться вычислительная среда. В свою очередь, создание такой среды требует увеличение количества используемых для процесса интеграции механизмов. К используемым для решения задач численной оптимизации механизмам рандомизации и сглаживания добавляются: механизм дуального (имитационного и нейросетевого) моделирования, трансфор-

мационные процедуры и механизм синхронизации процессов поисковой оптимизации и дуального моделирования.

## 1. ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРА ИНТЕГРИРОВАННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ЧИСЛЕННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ И ДУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Как уже было отмечено выше, для эффективного функционирования разрабатываемой системы поддержки принятия решений, построенной на основе вычислительной среды, необходимо расширение используемых в среде механизмов. Одним из них является механизм синхронизации процессов поисковой оптимизации и дуального моделирования. Для описания разработанного математического обеспечения, реализующего данный механизм, рассмотрим обобщенную структуру вы-



Рис. 1. Обобщенная структура вычислительной среды

числительной среды [3] (рис. 1), а также дадим пояснения относительно процедур дуального моделирования и поисковой оптимизации.

Рассмотрим этапы функционирования представленной на рис.1 вычислительной среды.

На первом этапе осуществляется задание исходных данных об исследуемом объекте рассматриваемого типа, которые представляются в виде массива.

Далее по выбранным параметрам и полученному массиву данных на предыдущем шаге осуществляется построение оптимизационной модели объекта и формирование ее эквивалента для решения задачи численной оптимизации.

Следующий этап включает в себя реализацию механизма рандомизации оптимизируемых в сформированной задаче переменных, а также осуществляется формирование вектора начальных условий для итерационного процесса численной оптимизации.

Затем осуществляется генерация последовательностей случайных величин дискретного и непрерывного типов на основе различных законов распределения  $\tilde{x}$  [4]. Данная процедура необходима для конкретных случайных реализаций переменных  $\tilde{x}$ , по которым в процессе вычислительного цикла  $k = 1, 2, \dots, \tilde{x}^k$  вычисляются значения показателей  $\tilde{y}^k$  по закону (1).

$$\tilde{y}^k = f_{\text{им}}(\tilde{x}^k). \quad (1)$$

После этого следуют процедуры дуального моделирования и численной оптимизации, по результатам использования которых формируется множество возможных вариантов изменения структуры объекта исследования в целях повышения эффективности его применения. Далее по результатам оценки полученных вариантов экспертами по критериям  $n = [n_1, n_2, \dots, n_N]$  осуществляется окончательный выбор варианта исследуемого объекта.

## 2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЦЕДУР ЧИСЛЕННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ И ДУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ

Основными вычислительными процедурами рассматриваемой интегрированной среды являются процедуры численной оптимизации и дуального моделирования.

Процедуры численной оптимизации используются для решения задач  $\mu_1, \mu_n$  с помощью рандомизированных схем поиска, при этом, для решения оптимизационной задачи  $\mu_i$  используется глобальный способ реализации популяционного алгоритма, основанного на поведении обезьян. Формирование популяций агентов осуществляется через рандомизацию с использованием равномерного закона распределения. Рассматриваемые оптимизационные задачи решаются в двух режимах: статическом и динамическом. Подробно постановка и описание процесса решения этих задач описаны в работах [1, 2].

Поскольку численный процесс оптимизационного поиска позволяет фиксировать за  $k_0$  итераций  $k_0$  выборочных значений вектора переменных объекта со структурновариативным управлением  $x^k$  и вектора показателей  $y^k = f_{\text{им}}(x^k)$ , то параллельно с имитационным моделированием появляется возможность обучения и верификации более простой по реализации нейросетевой модели. При этом для настройки вектора параметров нейросетевой модели в ходе ее обучения предлагается с целью включения этой процедуры в единую вычислительную среду провести их рандомизацию на основе нормального закона распределения.

Процесс формирования параллельной модели за счет рандомизированной настройки ее параметров в цикле численной оптимизации будем называть дуальным моделированием. Дополнительно предлагается после  $k_0$  итераций за  $k_b$  итераций осуществлять верификацию нейросетевой модели в рандомизированной среде по статистическому критерию Фишера [5].

Дуальное моделирование позволяет на следующих после  $k_0 + k_b$  итераций.  $k > k_0 + k_b$  вычислять значения показателей с применением обученной и верифицированной нейросетевой модели (2):

$$y^k = f_{\text{нм}}(x^k), \quad k > k_0 + k_b \quad (2)$$

## 3. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРОЦЕДУР ЧИСЛЕННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ И ДУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В РАМКАХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

На основе структурной схемы, представленной на рис. 1 и описания вычислительной среды можно сделать вывод, что процедуры численной оптимизации и дуального моделирования допускается синхронизировать в нескольких режимах:

- процедура поисковой оптимизации на основе результатов имитационного моделирования;
- процедура поисковой оптимизации на основе результатов имитационного моделирования с использованием нейросетевой модели;
- процедура поисковой оптимизации на основе результатов нейросетевого моделирования;
- окончательный выбор варианта структуры объекта по результатам имитационного моделирования;
- окончательный выбор варианта структуры объекта по результатам нейросетевого моделирования.

Разработаем математическое обеспечение для процесса синхронизации численной оптимизации и дуального моделирования в рассмотренных выше режимах.

В первую очередь охарактеризуем состояние рандомизированной вычислительной среды на начальном этапе: задается равномерное распределение всех рандомизированных переменных, то есть равномерным является распределение  $t = 1, T$ . вариантов объектов со структурированным управлением (3).

$$P^1 = (P_1^3, \dots, P_t^1, \dots, P_T^3),$$

$$P_t^1 = \frac{1}{T}, t = \overline{1, T}. \quad (3)$$

В зависимости от средств дуального моделирования, на основе которых вычисляются прогнозные оценки движения поиска в зону экстремума, определяется  $\omega = \overline{1, w}$  вариантов значений координат вектора  $P^k$  (4):

$$P_{t\omega}^k; t = \overline{1, T}; \omega = \overline{1, w};$$

$$\sum_{t=1}^T P_{t\omega}^k = 1; \forall \omega = \overline{1, w}. \quad (4)$$

При этом появлении каждого  $\omega$ -го варианта характеризуется вероятностью (5):

$$P_{\omega}^k; \omega = \overline{1, w};$$

$$\sum_{\omega=1}^w P_{\omega}^k = 1. \quad (5)$$

Затем произведем расчет взвешенной неопределенности (6):

$$\chi^k \left( \frac{P^1}{P^k} \right) = - \sum_{\omega=1}^w P_{\omega}^k \sum_{t=1}^T P_t^1 \log P_{t\omega}^k. \quad (6)$$

После этого определяем запас полезной информации, который образуется как за счет итерационного процесса численной оптимизации, так и выбора варианта дуального моделирования в интегрированной вычислительной среде (7):

$$I_{\text{скр}} = \log L - \chi \left( \frac{P^1}{q^k} \right). \quad (7)$$

Проведя математические преобразования над (7) и учитывая  $\sum_{t=1}^T P_t^1 = 1, \sum_{\omega=1}^w P_{\omega}^k = 1$ , получим (8):

$$\chi^k \left( \frac{P^1}{P_{t\omega}^k} \right) =$$

$$= - \log W - \sum_{t=1}^T P_t^1 (\log q_t^k + \sum_{\omega=1}^w \log \left( \frac{P_{t\omega}^k}{W_{qt}^k} \right)). \quad (8)$$

На основе соотношения, связывающего в теории информации [6] оценки неопределенности и энтропии  $H(P_{\omega}^k)$  получаем оценку снизу для выражения (9):

$$- \sum_{\omega=1}^w P_{\omega} \log \left( \frac{P_{t\omega}^k}{W_{qt}^k} \right) \geq - \sum_{\omega=1}^w P_{\omega} \log P_{\omega} = H(P_{\omega}^k). \quad (9)$$

Используя (9), преобразование (8) и соотношение (7), имеем:

$$\chi \left( \frac{P^1}{P_{t\omega}^k} \right) \geq H(P_{\omega}^k) - \log W + \log T - I_{\text{скр}}^k. \quad (10)$$

Вычислимость всех компонентов выражения (10) позволяет ввести понятие  $\xi$ -баланса ( $\xi = 0$ ) между его левой и правой частью, которое определяет степень приближения итерационного процесса к зоне экстремума. В этой зоне формируется множество доминирующих (перспективных) вариантов. Появляется возможность выбора на ограниченном пространстве вариантов с использованием рандомизированных схем экспертного оценивания, при этом процесс уменьшения величины определяется как (11):

$$\xi^k = \chi \left( \frac{P^1}{P_{t\omega}^k} \right) - H(P_{\omega}^k) + \log W - \log T + I_{\text{скр}}^k \quad (11)$$

от  $k$ -ой итерации к  $(k+1)$ -й является релаксационным, так как в [7] доказано:  $H$  – релаксационность информационных характеристик рандомизированного поиска, что позволяет в качестве одного из параметров начальных условий задать некоторую величину  $\xi^* > 0$  и определить условие останова поисковых и интегрированной вычислительной среде (12):

$$\xi^k \leq \xi^*. \quad (12)$$

Условие (12) и соотношение (10) представляют собой математическую модель синхронизации рассмотренных выше режимов численной оптимизации и дуального моделирования объектов со структурновариативной формой управления.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, возможность реализации в интегрированной вычислительной среде целого ряда режимов объединения процедур численной оптимизации и дуального моделирования определяет необходимость обоснованных переходов между ними. Приемлемыми оценками таких переходов являются теоретико-информационные характеристики, позволяющие разработать математическую модель синхронизации режимов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тишуков Б. Н. Разработка процедур численной оптимизации объектов со структурновариативным управлением на основе использования популяционных алгоритмов / Б. Н. Тишуков, Я. Е. Львович // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2016. – Т. 12, № 3. – С. 12–15.

2. Тишуков Б. Н. Адаптивный подход к алгоритму обезьяньего поиска для решения задач оптимизации объектов со структурновариативной формой управления в динамическом режиме / Б. Н. Тишуков, Я. Е. Львович // Известия Юго-западного государственного университета. – 2016. – № 5 (68). – С. 51–57.

3. Тишуков Б. Н. Интеллектуализация управления пропускной способностью базовых структур городской тс / Б. Н. Тишуков, Я. Е. Львович // Взгляд молодых на проблемы

региональной экономики – 2016. Материалы Всероссийского открытого конкурса студентов вузов и молодых исследователей. – Тамбов : ТГТУ, 2016. – С. 40–47.

4. Соболев И. М. Численные методы Монте-Карло / И. М. Соболев. – М. : Наука, 1973. – 312 с.

5. Львович И. Я. Информационные технологии моделирования и оптимизации: краткая теория и приложения: монография / И. Я. Львович, Я. Е. Львович, В. Н. Фролов. – Воронеж : ИПЦ «Научная книга», 2016. – 444 с.

6. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон: перевод с англ. под ред. Р.Л. Добрушина и О.В. Лупанова. – М. : Иностранная литература, 1963. – 832 с.

7. Львович Я. Е. Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения / Я. Е. Львович. – Воронеж : Кварта, 2006. – 426 с.

**Тишуков Б. Н.** – аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования и информационных систем, Воронежский государственный технический университет.  
E-mail: tishykov\_boris@mail.ru

**Tishykov B. N.** – postgraduate student of department of CAD-systems and information systems, Voronezh state technical university.  
E-mail: tishykov\_boris@mail.ru

**Львович Я. Е.** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой систем автоматизированного проектирования и информационных систем, Воронежский государственный технический университет.  
E-mail: sapris@vorstu.ru

**Lvovich Ia. E.** – Doctor of Engineering Sciences, professor, head of the department of CAD-systems and information systems, Voronezh state technical university.  
E-mail: sapris@vorstu.ru