МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ РЕШЕНИЙ РАЗМЫТЫХ ЗАДАЧ НА ВИРТУАЛЬНЫХ РЕШЕТКАХ

А. В. Мышев
Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, г. Обнинск, Российская Федерация
✍ *ipi77777@mail.ru*

Аннотация: в работе описан новый метод построения решений размытых задач на виртуальных решетках в условиях многофакторной неопределенности. Основной математический и логический посыл содержания и смысла метода состоит в том, что он является продолжением и развитием теории метода виртуальной перспективы. Решения строятся в виде клеточных комплексов на конечных топологиях узлов виртуальных решеток активной памяти среды вычислений.

Ключевые слова: клеточный комплекс, виртуальные решетки, размытые задачи, среда вычислений, нейронные траектории, компьютинг.

Для цитирования: Мышев А. В. Метод построения решений размытых задач на виртуальных решетках. *Успехи кибернетики*. 2026;7(1):77–85.

Поступила в редакцию: 27.10.2025. *В окончательном варианте: 28.12.2025.*

SOLVING FUZZY PROBLEMS USING VIRTUAL LATTICES

A. V. Myshev
Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russian Federation
✍ *ipi77777@mail.ru*

Abstract: in this paper, we present a new method for constructing solutions to fuzzy problems on virtual lattices under conditions of multifactor uncertainty. The method is based on and extends the theory of the virtual perspective approach. We built solutions as cellular complexes on finite node topologies of the virtual lattices within the active memory of the computational environment.

Keywords: cellular complex, virtual lattices, fuzzy problems, computing environment, neural trajectories, computing.

Cite this article: Myshev A. V. Solving Fuzzy Problems Using Virtual Lattices. *Russian Journal of Cybernetics*. 2026;7(1):77–85.

Original article submitted: 27.10.2025. *Revision submitted: 28.12.2025.*

Введение

Рассматриваемый метод является развитием новых парадигм компьютерной математики и создания новых форм компьютинга. Его методология включает как способы формализации среды вычислений, так и нетрадиционные модели построения логических схем алгоритмов и процедур вычислительных технологий моделирования [1, 2, 3].

В среде вычислений любой вычислительной системы моделируемые задачи и технологии их реализации в условиях многофакторной неопределенности определяются как размытые задачи. Основной посыл формализации такой задачи состоит в том, что, с одной стороны, на логическом и алгоритмическом уровне объекты моделируемой задачи определены как информационные объекты динамической среды вычислений. А с другой — функциональная и структурная организация среды вычислений определяет как порядок вычислительных процессов и информационного взаимодействия в ней, так и состав и взаимосвязь логических и информационных объектов среды вычислений. Онтология предметной области метода определяет различие между вычисляемой величиной и вычисленной величиной: вычисляемая величина является детерминированной, а вычисленная — недетерминированной и недоопределенной. К образующим элементам среды вычислений относятся константы и переменные, которые, как это отмечено в [4], являются нечеткими и недоопределенными информационными объектами-идентификаторами, что определяет моделируемую задачу как размытую.

Математическая и логическая организация метода при построении вычислительных экспериментов позволяет реализовать нейтрализацию влияния парадокса «синдрома Пигмалиона» [5] в технологиях моделирования на достоверность, надежность и адекватность получаемых результатов возможным состояниям реально исследуемых объектов. Методология метода отражает синергию нового подхода конструирования разностных схем моделирования размытых задач и формирования среды вычислений в условиях многофакторной неопределенности. В этом и состоит его существенное отличие от близких аналогий конструирования технологий математического моделирования [6, 7, 8, 9]. С одной стороны, метод предназначен как для конструирования таких сеточных структур, в которых базовые и неравномерные сетки образуют единую пространственно-временную геометрию области формирования решения, так и для построения разностных аппроксимаций на сеточных структурах не в виде формул и рекуррентных схем, а достаточно сложных моделей алгоритмов и процедур. А с другой — для построения вычислительных конструкций на сеточных структурах с использованием динамических моделей технологий моделирования [1].

Постановка модельной задачи

Математическое моделирование размытых задач в среде вычислений компьютерных систем и сетей предполагает структурную формализацию исследуемой системы: от абстрактного ее описания до практической реализации. Структурная формализация обобщенной модели системы по аналогии с [10] будет представлять собой синергию четырех взаимосвязанных и взаимообусловленных моделей: абстрактная модель, информационная модель, топологическая модель, конкретная модель.

Объектом моделирования выбрана задача Коши с нечеткими начальными условиями и параметрами. Эволюционный оператор абстрактной модели с нечеткой областью определения переменных и параметров задачи записывается в векторной форме:

$$dx/dt = F\,(t,x,y)\,, \tag{1}$$

где F — вектор правых частей системы (1); x — вектор нечетких переменных и функций принадлежности $\mu\,(x)$, $\mu \in [0,1]$; y — вектор нечетких параметров и функций принадлежности $\mu_1\,(y)$, $\mu_1 \in [0,1]$; t — размытая переменная с функцией принадлежности $\mu'\,(t)$, $\mu' \in [0,1]$. Интегральная характеристика неопределенности нечеткого подмножества $A \in R^2$, которое задается в плоскости xOt как подмножество точек с размытыми координатами x и t, связана с функцией принадлежности $\mu_A\,(x)$ интегралом Лебега–Стилтьеса [11]:

$$P\,(A) = \int_{R^2} \mu_A\,(x)\,dp, \tag{2}$$

где $P \in [0,1]$ и $\mu_A \in [0,1]$; A — нечеткое подмножество в пространстве R^2 определяется характеристической функцией $\mu_A : R^2 \to [0,1]$, которая указывает некоторому x в R^2 его степень принадлежности $\mu_A\,(x)$ подмножеству A.

В среде вычислений модели алгоритмов и технологий построения решений задачи (1) описываются и отражаются на языке информационной модели, а вычислительный процесс их реализации — это действие дискретной динамической информационной системы на множестве узлов решеток Z^2 и $\hat{Z}^2$. В памяти среды вычислений информационными и логическими прототипами ее элементов являются структурированные виртуальные ячейки, в которых хранятся образы символьных цепочек и их композиций. Схема построения решений задачи (1), с одной стороны, описывает динамику соответствующих цепочек связанных отображений (ЦСО) в среде вычислений [12]. А с другой — показывает логику информационной природы технологий моделирования в среде вычислений посредством динамики ЦСО, а также отражает соответствие состояний такой динамики реальным состояниям вычислительного процесса построения решений в среде вычислений. Формализация логических схем ЦСО основана на двух типах дискретизации эволюционных операторов [13]:

$$dx(t)/dt \to [x(t{+}\Delta t){-}x(t)]/\Delta t$$

$$d^2x(t)/dt^2 \to [x\,(t{+}\Delta t)\,-2x\,(t)\,+x(t-\Delta t)]/(\Delta t)^2, \tag{3}$$

где Δt — интервал дискретизации по размытой переменной (параметр информационной модели).

Логика алгоритмов и технологий построения решений задачи (1) основана на дискретных схемах ЦСО двух типов: схеме Рунге–Кутты и схеме Адамса. А логический аппарат ЦСО описывает модель алгоритмов вычислительного эксперимента на узлах базовой координатной решетки Z^2 как действие локальной информационной динамической системы $\left(\psi, R^2\right)$ [4]. Здесь ψ — это локальные отображения моделируемых точек M_l в узлах решеток $\hat{Z}^2$ в окрестностях узлов решетки Z^2 проективной плоскости R^2. А также ЦСО — это исходные феноменологические модели эволюционных операторов локальной динамики в соседних точках для маршрутных схем алгоритмов технологий построения решений системы (1) на основе механизма виртуальной перспективы [1].

В технологиях моделирования ЦСО представляют собой динамический атрибут действия оператора ψ в среде вычислений, посредством которого определяется схема и алгоритм формирования нечеткого подмножества $I_r = \{M_l\}$ точек локальной динамической системы $\left(\psi, R^2\right)$ на множестве узлов решеток $\widehat{Z}^2$ плоскости R^2.

Оператор взаимодействия между символьными цепочками узлов решеток $\widehat{Z}^2$ задается в виде «псевдорекурсивных» функций, которые строятся на основе двух типов разностных схем. В первом случае — на основе схем Рунге–Кутты в виде нерекурсивного цифрового фильтра:

$$x^i_{n+1} = x^i_n + h \sum_{l=1}^{L} f_l k_l, \tag{4}$$

где x^i_{n+1} — значение i-ой координаты вектора x задачи (1) в $(n+1)$-ом отсчете по оси Ot, h — шаг дискретизации по оси Ot, k_l — коэффициенты для получения аппроксимаций более высокого порядка, f_l — значения функций-координат вектора F правой части уравнений (1) для соответствующих координат вектора x левой части. А для другого случая — на основе схем Адамса в виде рекурсивного цифрового фильтра:

$$x^i_{n+s} = x^i_{n+s-1} + h \sum_{l=1}^{s} \beta_l f_l, \tag{5}$$

где β_l — константы, f_l — значения функций-координат вектора F правой части эволюционного оператора (1) для соответствующих координат вектора x его левой части, s — порядок метода.

Геометрическая интерпретация решений задачи Коши на виртуальных решетках

Математическая и логическая организация алгоритмов построения решений дискретизированной задачи Коши (1) на виртуальных решетках — это синтез нового подхода к конструированию разностных схем для вычислительных технологий в информационном пространстве взаимодействующих цепочек символов и моделей активной виртуальной памяти [1, 2, 14]. Визуально логика построения решений такой задачи отражается и представляется на рис. 1 в виде топологических комплексов и классической траектории на подмножествах узлов базовой координатной решетки Z^2 плоскости xOt для каждой фазовой координаты. В этой плоскости координатная решетка по аналогии с [15] определяется в виде квантового дискретного пространства как сцена для отражения результатов моделирования.

Логика и формализация алгоритмов построения решений задачи (1) в плоскости xOt предполагает два вида решеток — координатные и перспективные (см. рис. 1). Первый — это базовая координатная регулярная решетка Z^2, масштаб которой и ее топология для заданных условий исходной задачи не изменяются в процессе моделирования. Второй — это перспективные решетки (семейство нерегулярных решеток $\hat{Z}^2$), масштаб и топология которых изменяются в вычислительном процессе построения решений [1].

Для систем координат в плоскости xOt вводится шкала вербально-информационного измерения по осям Ox и Ot, которая определяется как частично упорядоченное и структурированное счетное множество действительных чисел (точек отсчета).

Алгоритмика метода построения решений на виртуальных решетках

Основной посыл логики и алгоритмики построения решений дискретизированной задачи (1) на виртуальных решетках состоит в следующем. В каждый выделенный квант физического времени будем иметь множество возможных квантовых информационных состояний моделируемой задачи, которые определяются вектором $\phi(i) = \left\{x^1_i, x^2_i, \ldots, x^M_i\right\}$, где x^j_i — это j-ое состояние системы в i-ый квант времени $\left(i = \overline{1, N}\right)$. На решетке Z^2 этот вектор определяется как подмножество узлов на столбце решетки Z^2, ограниченное контуром области формирования образа решения. Область формирования множества решений задачи (1) на решетке Z^2 геометрически выделяется как матрица размерности $(M; N)$, где M — количество возможных квантовых состояний моделируемой задачи или размерность вектора

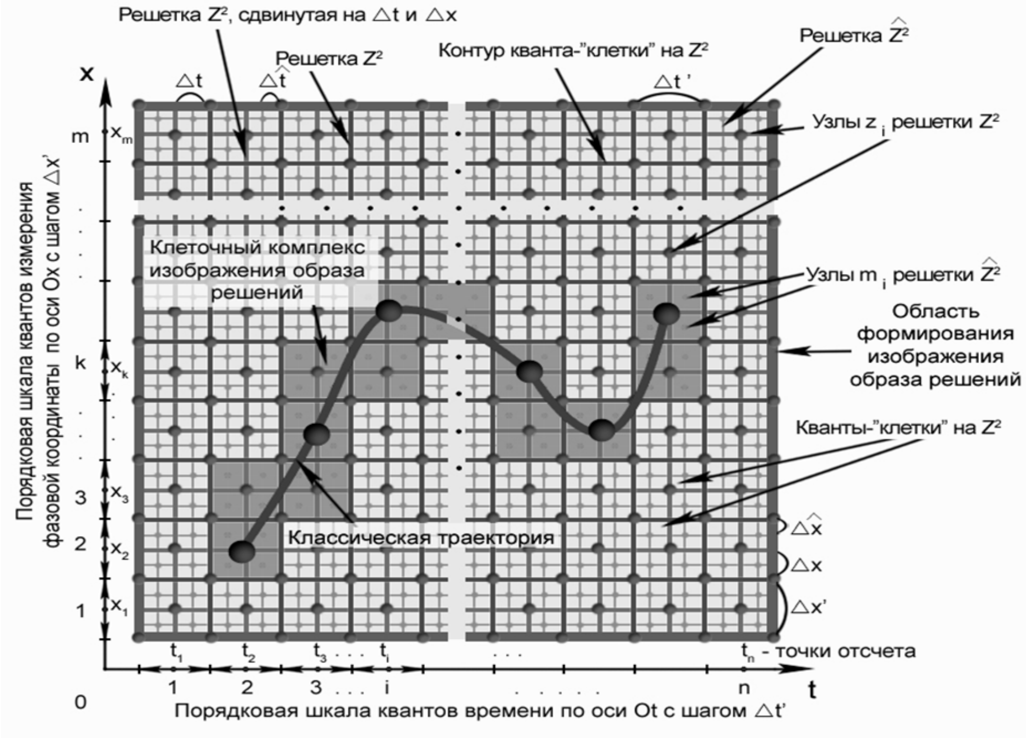

Рис. 1. *Визуализация геометрии проективной плоскости xOt фазовой координаты: Z^2 — базовая координатная решетка с постоянными шагами $\Delta t'$ по оси Ot и $\Delta x'$ по оси Ox; $\hat{Z}^2$ — семейство перспективных решеток с переменными с шагами по оси времени $\Delta\hat{t}$ и по оси фазовой координаты $\Delta\hat{x}$; изображения образов решений — классическая траектория и клеточный комплекс*

$\phi\,(i)$, а N — количество квантов времени, в которые вычисляются возможные квантовые состояния. В памяти среды вычислений матрица представляется в виде структурного массива, элементы которого определяются как структурные объекты [12]. Значения координат вектора $\phi\,(i)$ — это значения меры неопределенности нахождения системы в состояниях, соответствующих узлам решетки. Векторы $\phi\,(i)$ можно рассматривать как волновые функции с единичной нормой:

$$\|\phi\,(i)\,\| = \sum_{i=1}^{N} |\phi\,(i)\,| = 1, \tag{6}$$

$$|\phi\,(i)\,| = m_i/K, \tag{7}$$

где m_i — количество координат вектора $\phi\,(i)$, имеющих ненулевые значения, а $K\ = \sum_i m_i$.

В области формирования решения на решетке Z^2 из ненулевых координат векторов $\phi\,(i)$ строится «абстрактный» комплекс K посредством склеивания узлов решетки Z^2, информационными идентификаторами которых являются ненулевые координаты векторов $\phi\,(i)$. Правила склеивания определяются структурой решетки Z^2 и условием выбора узлов, входящих в комплекс. Искомое решение получается на основе применения процедуры топологической инкарнации «абстрактного» комплекса. Суть процедуры состоит в том, что из элементов «абстрактного» комплекса формируется множество векторов возможных квантовых дискретных решений. Размерность такого вектора равна N, а значение его i-ой координаты равно значению одной из ненулевых координат соответствующего вектора $\phi\,(i)$. В отличие от векторов $\phi\,(i)$, вектора $\Psi(j)$ имеют все ненулевые координаты даже для тривиального решения, т.к. нумерация квантов начинается не с нуля, а также для них справедливо равенство $\Psi\,(j) \neq \Psi\,(i)$ для любых $i \neq j$. Процедура реализуется в два этапа.

Первый этап состоит в выделении двух классов из множества возможных связанных решений в виде $\Psi(j)$ на комплексе K по следующим признакам: класс, выделенный по признаку фрактальной связности, обозначим через $\Psi_f\,(j)$, а по признаку информационной связанности — $\Psi_{inf}\,(j)$. Схема построения $\Psi_f\,(j)$ и $\Psi_{inf}\,(j)$ на первом этапе одинаковая, как и для $\Psi(j)$, а алгоритм ее реализации через координаты векторов $\phi\,(1)$ и $\phi\,(N)$ осуществляется следующим образом. Вначале фиксируется первая ненулевая координата вектора $\phi\,(1)$, соответствующая узлу решетки Z^2, и определяются ее всевозможные связи-пути γ на Z^2, по оси Ot с соответствующей ненулевой координатой вектора $\phi(N)$ через ненулевые координаты промежуточных векторов $\phi\,(2)\,,\ldots,\phi\,(N-1)$, т.е. строим множество векторов $\Psi\,(j)$, каждый из этих векторов является N-мерным скелетом K_N комплекса K, который является объединением этих скелетов $K = \bigcup_N K_N$. Затем для каждого K_N вычисляются численные оценки значений его фрактальной и информационной связанности, которые являются признаками принадлежности K_N либо классу $\Psi_f\,(j)$, либо классу $\Psi_{inf}\,(j)$. Значения координат векторов из $\Psi_{inf}\,(j)$ аналогичны их прототипам из $\Psi(j)$, а для векторов из $\Psi_f\,(j)$ вместо значений вероятностей квантовых состояний в выделенный квант времени в позиции координаты будет номер этого квантового состояния, соответствующего его номеру в порядковой шкале квантов по оси Ox.

Второй этап состоит в выделении из множеств $\Psi_f\,(j)$ и $\Psi_{inf}\,(j)$ по одному скелету K_N^f и K_N^{inf}, которые удовлетворяют условию: для скелета $K_N^f \subset \{\Psi_f\,(j)\}$ численное значение оценки фрактальной связанности должно быть минимальным, а для скелета $K_N^{inf} \subset \{\Psi_{inf}\,(j)\}$ численное значение информационной связанности — максимальным. Расчет этих оценок производится на основе следующих выражений. Вначале вычисляется фрактальная размерность d_f для всех скелетов K_N^f по формуле [8]:

$$d_f = \lim_{\varepsilon \to 0} \frac{\sum_{i=1}^{N} p_i \log \sum_{j=1}^{N} (1-\rho_{ij}) p_j}{\log \varepsilon}, \tag{8}$$

где ρ_{ij} — рандомизированная метрика.

Затем выделяется скелет K_N^f с минимальной фрактальной размерностью d_θ:

$$d_\theta = \min_\gamma d_f\,[\gamma:\ \phi\,(1) \to \phi\,(N)]\ , \tag{9}$$

где γ — множество путей, которым соответствует множество скелетов K_N, соединяющих ненулевые координаты векторов $\phi\,(1)$ и $\phi\,(N)$. Далее вычисляется информационная связанность d_{inf} для всех скелетов K_N^{int} по формуле (10):

$$d_{inf} = \sum_{i=1}^{N} q_i, \tag{10}$$

где q_i — значение i — координаты скелета K_N^{inf}. После чего выделяется скелет K_N^{inf} с максимальной информационной связанностью d_ϕ, согласно выражению (11):

$$d_\phi = \max_\gamma d_{inf}\ \ [\gamma:\ \phi\,(1) \to \phi\,(N)]\,. \tag{11}$$

Далее определяется численная оценка меры расхождения выделенных скелетов $R(K_N^{inf}, K_N^f)$ с использованием выражения (12):

$$R\left(K_N^{inf}, K_N^f\right) = \sum_{i=1}^{N} \left|\mu_{inf}\,(x_i) - \mu_f(x_i)\right|\ , \tag{12}$$

где $\mu_{inf}\,(x_i)$ и $\mu_f\,(x_i)$ — числовые оценки меры принадлежности координаты x_i $(0 \le i \le N)$ векторов K_N^{inf} и K_N^f в фиксированный квант времени i по оси Ot одному из $0 \le j \le M$ квантов порядковой шкалы по оси Ox. Если она не превышает допустимый критерий $R_{\partial on}$:

$$R\left(K_N^{inf}, K_N^f\right) \le R_{\partial on}, \tag{13}$$

то считается, что оба скелета адекватно отражают решение задачи. В противном случае реализуется процедура определения границы горизонта возможного прогноза решения. Последовательное выполнение этой процедуры позволяет получить оценку горизонта прогноза: какова длительность временного интервала, на котором можно построить адекватное решение в условиях модельной замкнутости, ограничений, обмена и информационной неопределенности в рамках используемых моделей и технологий моделирования. Практическая реализация такой процедуры осуществляется по схеме.

Вначале из двух множеств $\left\{K_N^f\right\}$ и $\left\{K_N^{inf}\right\}$ выделяются два вектора K_l^f и K_l^{inf}, начиная от первой координаты выбираются первые $l = l_0$ последовательных координат, для которых выполняется неравенство (13) и которые образуют подвекторы K_l^f и K_l^{inf}. Далее по формуле (12) определяется оценка меры расхождения между K_l^f и K_l^{inf} и, если она не превышает допустимый критерий $R_{доп}$, то формируются новые K_l^f и K_l^{inf} большей размерности путем добавления к старым координатам следующих Δl координат, т.е. $l = l + \Delta l$. Процедура повторяется до тех пор, пока мера расхождения не будет больше $R_{доп}$. После чего фиксируется значение l_V предыдущего шага и определяется временная граница горизонта прогноза $T_{вер}$:

$$T_{вер} = l_V \Delta t', \tag{14}$$

где $\Delta t'$ — числовое значение глубины кванта порядковой шкалы по оси Ot.

На рис. 2 показана геометрическая иллюстрация «размещения» и расположения на узлах решетки Z^2, в пределах контура области формирования решения, семейства векторов $\{\phi(i)\}$, комплекса K и скелета K_N.

Здесь C_1 и C_2 — это множества узлов решеток Z^2 и $\hat{Z}^2$, структура которых отражает геометрию изображения чисел с заданной точностью или символьных цепочек фиксированной и ограниченной переменной длины в проективной плоскости xOt. А также это геометрическая иллюстрация квантового дискретного информационного пространства, на котором будет развиваться процесс построения решений. На множестве C_1 определяется конечная клеточная топологическая структура в виде разбиения на классы, а на объединении $C = C_1 \cup C_2$ действует дискретная динамическая система $\left(\psi, R^2\right) : C_2 \to C_1$, где ψ — дискретное локальное отображение, которое описывает закон взаимодействия и механизм динамики символьных цепочек. Процесс информационной эволюции и взаимодействия объектов такой системы может быть сформулирован и представлен следующим образом.

Информационная динамика и эволюция символьных цепочек как объектов системы $\left(\psi, R^2\right)$ в виртуальной среде вычислений определяется в виде синергии двух операторов: эволюционного оператора и оператора проектирования [1].

Математическая суть оператора эволюции состоит в том, что посредством этого оператора формализуется модель синтеза образа решений задачи (1) с нечеткими начальными условиями на множестве узлов нерегулярных решеток $\left\{\hat{Z}^2\right\}$.

Логический и алгоритмический смысл оператора проектирования заключается в том, что посредством этого оператора определяется модель статистического эксперимента в вычислительных технологиях построения образа возможных решений размытой задачи (1) на узлах решетки Z^2.

Для размытой задачи Коши (1) локальная область информационного взаимодействия между элементами C_2 в плоскости xOt на узлах решетки $\hat{Z}^2$ определяется в окрестности узлов решетки Z^2. А локализация этих узлов задается векторами $\phi(i)$ и $\phi(i+1)$ в i-ый и $(i+1)$-ый кванты времени, координаты которых образуют пространство реперных точек искомых решений.

Логическую схему действия эволюционного оператора в среде вычислений можно описать следующим образом. Элементы множества C_2 формируют информационную среду действия динамической системы $\left(\psi, R^2\right)$ в вычислительном процессе синтеза образа возможных решений задачи (1) на плоскости xOt. А элементы множества C_1 образуют информационную систему координат, на реперных точках которой формируется образ возможных решений. Топологическая и логическая структуризация множества C_1 на узлах решетки Z^2 осуществляется посредством векторов состояний (см. рис. 2). Область начальных условий определяется как подмножество C_2 в окрестности ненулевых координат вектора $\phi(1)$. А для соответствующих этим окрестностям узлов Z^2 определяется сфера информационного захвата. Геометрическая иллюстрация и описание операций взаимодействия цепочек на узлах C_2 для оператора эволюции дискретной задачи (1) представлены в [1].

В рамках геометрии решеток $\hat{Z}^2$ и Z^2 плоскости xOt алгоритм механизма информационного взаимодействия символьных цепочек на узлах C_2 для эволюционного оператора, который задается в виде разностных схем (4) и (5), можно описать следующим образом.

Во-первых, в области формирования потока возможных решений задачи (1) на множестве узлов C_1 решетки Z^2 определяется начальный квант времени на соответствующем узле $c_l^1 \in C_1$, выделяется контур начальных условий и сфера информационного влияния узлов решетки Z^2. Для моделируемой размытой задачи это означает, что узел c_l^1 является центром окрестности области начальных условий на множестве узлов C_1. В обозначенной окрестности узла c_l^1 разыгрываются активные узлы множества C_2 для определения начальных условий дискретизированной задачи (1) с эволюционным оператором в формах (4) или (5). Процесс построения решений этой задачи на виртуальных решетках состоит в том, чтобы сгенерировать поток возможных траекторий решений на узлах множества C_2. По аналогии с [16] каждое решение потока представляется в виде графа нейронных траекторий, а вершиной такого графа является узел нерегулярной решетки $\hat{Z}^2$. Тогда для идентификации вершин графа $\Gamma^k_{C_2}$ на множестве C_2 по аналогии с [17] используется характеристическая функция, которая принимает значение 1, если узел $c_i^2 \in C_2$ является вершиной графа $\Gamma^k_{C_2}$:

$$\chi_c(c_i^2) = \begin{cases} 1, \text{ если } c_i^2 \in \Gamma^k_{C_2}) \\ 0, \text{ если } c_i^2 \notin \Gamma^k_{C_2}\ ) \end{cases}, \tag{15}$$

где $\Gamma^k_{C_2}$ — k-ый граф нейронных траекторий соответствующего решения задачи (1). Логические схемы и алгоритмитика процедур вычислительных технологий генерации потока нейронных траекторий решений моделируемой задачи включают формальные модели неопределенности начальных условий и параметров компьютерной модели задачи (1) [18]. А результат этого этапа формирования потока решений моделируемой задачи состоит в построении множества графов нейронных траекторий $\left\{\Gamma^k_{C_2}\right\}$ на множестве нерегулярных решеток $\left\{\hat{Z}^2\right\}$.

Во-вторых, после построения множества $\left\{\Gamma^k_{C_2}\right\}$ реализуется процедура формирования комплекса K, который является размытым подмножеством на регулярной решетке Z^2. Основный посыл этой процедуры состоит в том, что вершины множества графов нейронных траекторий $\left\{\Gamma^k_{C_2}\right\}$ проектируются в узлы регулярной решетки Z^2 [1] и оценивается информационный вес узла или значение функции принадлежности в узле.

$$\mu_{C_1}\left(c_i^1\right) : C_1 \to [0,1] \tag{16}$$

Множество узлов комплекса K образует конечное размытое подмножество C_1^k на C_1, которое может быть задано как множество пар:

$$C_1^k = \left\{c_i^1; \mu_{C_1}\left(c_i^1\right)\right\}; \qquad i = 1,2,\ldots,L. \tag{17}$$

Это подмножество описывает покоординатное пространство возможных состояний решений моделируемой задачи на узлах виртуальной решетки Z^2 в виде трехмерной дискретной размытой функции $x_i\,(t)$ по i-ой координате вектора x задачи (1). Тогда подмножество узлов на решетке Z^2 в области формирования изображения образа решения задачи, в которых $\mu_{C_1}\left(c_i^1\right) \neq 0$, определяет пространство нетривиальных возможных состояний размытой функции $\mu_{C_1}\,(x,t)$, которая будет дискретным размытым нетривиальным решением.

Заключение

Методология метода на логическом и математическом уровне описывает и раскрывает его теоретическую и практическую сущность для разработки и реализации различных форм компьютинга в среде вычислений программных виртуальных вычислительных систем как систем нового поколения [1, 2, 3]. Определение новых сущностей-объектов: информационная модель размытой задачи, модель активной виртуальной памяти, вычислительные и информационные процессы с локальным взаимодействием и других, значительно расширяет онтологию предметной области как программных вычислительных систем и компьютерной математики, так и математического моделирования. Каждая из этих сущностей-объектов является логической структурой или ее элементом для разработки моделей и реализации логических схем среды вычислений виртуальных программных вычислительных систем и каждая является объектом настоящего и будущих исследований. В этом отчасти раскрывается перспектива метода как в научном его развитии, так и в возможностях практического продолжения в области построения интеллектуальных кибернетических систем [1, 2, 3].

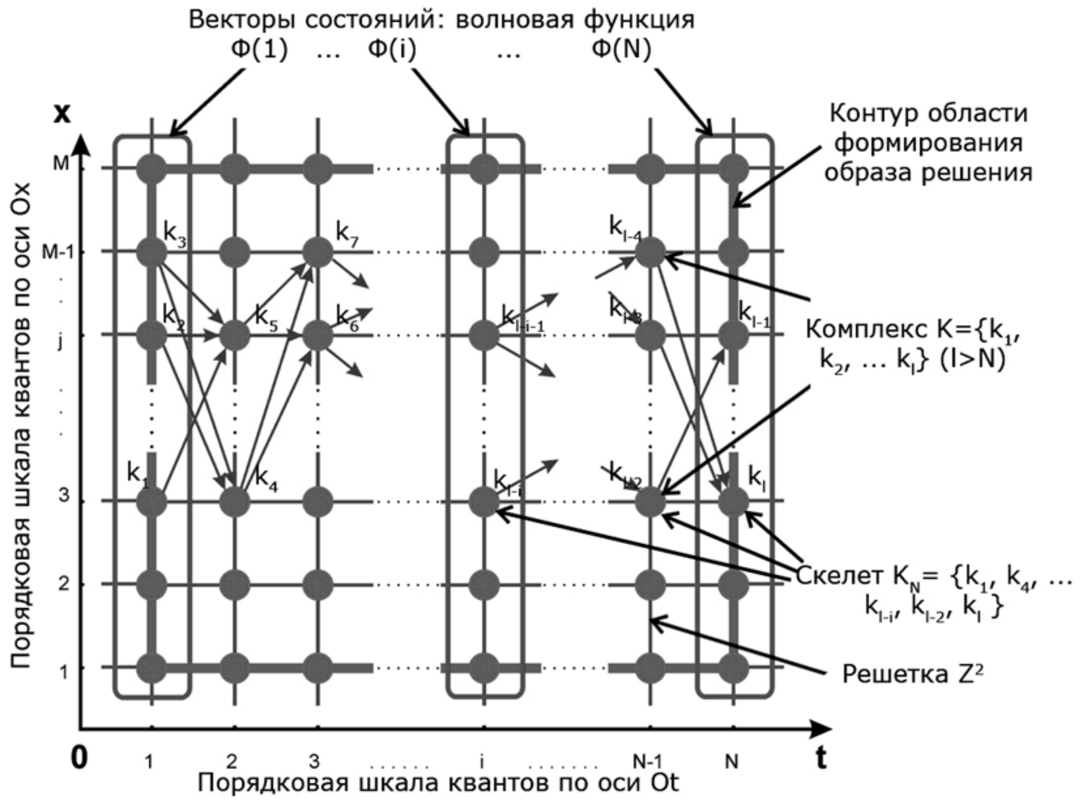

Рис. 2. *Геометрическая иллюстрация «размещения» и расположения на узлах решетки Z^2 в пределах контура области формирования образа решения моделируемой задачи семейства векторов $\{\phi(i)\}$, комплекса K и скелета K_N*

ЛИТЕРАТУРА

1. Мышев А. В. Метод виртуальной перспективы в моделировании размытых задач. *Информационные технологии и вычислительные системы.* 2010;3:66–78.
2. Мышев А. В. Компьютинг и моделирование размытой задачи Коши методом виртуальной перспективы. *Программные продукты и системы*. 2012;3:215–221.
3. Мышев А. В. Архитектура виртуальной потоковой вычислительной системы на основе информационной модели нейросети. *Информационные технологии*. 2014;5:61–78.
4. Нариньяни А. С. Введение в недоопределенность. *Информационные технологии*. 2007;4. Приложение к журналу.
5. Synge J. L. Introduction to General Relativity. *Relativity, Groups and Topology* / Eds. C. DeWitt, B. DeWitt. London–Glasgow: Blackie and Son; 1963:3–88.
6. Жуков В. Т., Страховская Л. Г., Федоренко Р. П., Феодоритова О. Б. Об одном направлении в конструировании разностных схем. *Журнал вычислительной математики и математической физики*. 2002;42(2):222–234.
7. Климов А. Д., Страховская Л. Г., Федоренко Р. П. Метод конечных суперэлементов и гомогенизация. *Журнал вычислительной математики и математической физики*. 2003;43(5):697–712.
8. Белоцерковский О. М. Математическое моделирование на суперкомпьютерах (опыт и тенденции). *Журнал вычислительной математики и математической физики.* 2000;40(8):1221–1236.
9. Белоцерковский О. М., Холодов А. С. О мажорантных схемах на неструктурированных (хаотических) сетках в пространстве неопределенных коэффициентов. *Журнал вычислительной математики и математической физики*. 1999;39(11):1802–1820.
10. Беллер С., Возняцки Г. *Анализ и синтез электрических цепей методом структурных чисел.* Москва: Мир; 1972. 332 с.
11. Гусев Л. А., Смирнова И. М. Размытые множества. Теория и приложения (обзор). *Автоматика и телемеханика*. 1973;5:66–85.

12. Мышев А. В. Теория компьютерного восприятия и технологии взаимодействия вычислительного интеллекта с виртуальной средой моделирования. *Кибернетика и технологии 21 века*: труды 7-ой международной научно-технической конференции. Т. 2. Воронеж: ВГУ; 2006:497–508.
13. Песин Я. Б., Юрченко А. А. Некоторые физические модели, описываемые уравнением реакции-диффузии, и цепочки связанных отображений. *УМН*. 2004;59(3):81–114.
14. Мышев А. В. Модели активной памяти в технологиях виртуализации каналов передачи и хранения информации. *Программные продукты и системы*. 2010;1:54–58.
15. Малышев В. А. Гиббсовские и квантовые дискретные пространства. *УМН*. 2001;56(5):117–172.
16. Хренников А. Ю. Представление когнитивной информации с помощью вероятностных распределений на пространстве нейронных траекторий. *Труды МИАН*. 2004;5:125–145.
17. Кофман А. *Введение в теорию нечетких множеств*. Москва: Радио и связь; 1982. 432 с.
18. Дубов Я. А. К теории неопределенности (формальные модели). *Отбор и передача информации*. 1976;48:3–8.