

УДК 621.311

Вероятностно-временная модель для анализа динамики изменения состояний центров обработки данных

Михайличенко Н. В.

Актуальность: широкое распространение центров обработки данных приводит к необходимости применения математических методов для анализа процессов их функционирования. Это обуславливает необходимость оперативного принятия решений по управлению дата-центрами. **Целью работы** является разработка вероятностно-временной модели для анализа динамики изменения состояний центров обработки в процессе их функционирования в условиях неоднозначности и неустойчивости исходных данных. **Используемые методы:** аппарат управляемых цепей Маркова, описываемых в форме разностных стохастических уравнений, и обобщенных на случай, когда имеются неопределенности неоднозначного (нечеткого) и (или) недостоверного (недостаточного, неполного, противоречивого) характера о состоянии (параметрах) центров обработки данных. **Новизна:** элементами новизны представленного решения является комплексное использование управляемых цепей Маркова, описываемых в форме разностных стохастических уравнений и методов нейронечетких сетей. **Результат:** использование представленных решений позволяет определить значения вектора индикаторов марковской цепи с заданными свойствами и представляет собой аналитическую модель для описания динамики изменения состояний в процессе функционирования центров обработки данных с учетом неоднозначных и недостоверных данных. **Практическая значимость:** представленный подход, позволяет моделировать динамику изменения состояний центров обработки данных с учетом как неоднозначности (нечеткости), так и недостоверности (недостаточности, неполноты, противоречивости) исходных данных об их состоянии. Использование предлагаемой вероятностно-временной модели процесса смены состояний центров обработки данных позволит повысить объективность принимаемых решений по их управлению.

Ключевые слова: центр обработки данных, марковская цепь, нейро-нечеткая сеть.

Актуальность

Одним из базовых элементов построения IT-инфраструктуры силовых министерств и ведомств являются центры обработки данных (ЦОД), которые в последнее время получили широкое распространение [1]. Для исследования процессов функционирования систем хранения и обработки данных, к которым относится и ЦОД, применяются математические методы моделирования. Однако, принятие решений при исследовании и моделировании процессов функционирования ЦОД показывает, что обрабатываемая и анализируемая лицом, принимающим решение, информация о состоянии (параметрах) ЦОД представлена, в большинстве случаев, в слабо формализованном вероятностном, стохастическом, неоднозначном (нечетком) и недостоверном (недостаточном, неполном, противоречивом) виде.

Библиографическая ссылка на статью:

Михайличенко Н. В. Вероятностно-временная модель для анализа динамики изменения состояний центров обработки данных // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 1. С. 54-66. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10103

Reference for citation:

Mikhajlichenko N. V. Probabilistic-timing model for analyzing of change dynamics of data processing center states. *Systems of Control, Communication and Security*, 2019, no. 1, pp. 54-66. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10103 (in Russian).

Традиционным инструментом, используемым при разработке методологии интеллектуального анализа в условиях неопределенности, продолжают оставаться алгоритмы, основанные на нечеткой логике. Их основным достоинством является способность одновременно учитывать мнения и опыт множества экспертов [2-4]. Однако системы с нечеткой логикой не способны автоматически обучаться [2], вид и параметры функций принадлежности нечетким множеств статичны [3], методы нечеткого вывода выбираются субъективно экспертом-человеком [4], что может привести к неадекватным результатам.

Частично свободны от этих недостатков модели искусственных нейронных сетей (ИНС). Например, в работе [5] описан подход, основанный на применении многослойной ИНС прямого распространения (многослойный перцептрон).

Однако такой подход требует задания вспомогательных параметров, характеризующих функцию активации сигмоидального типа, что не всегда возможно.

В работе [6] изложен подход к анализу качества сети связи на основе нейросетевого синтеза оптимальной системы показателей качества. Но этот метод применим для стандартных алгоритмов теории оценивания сложных систем, что сужает область применения.

Работа [7] посвящена методу, который позволяет проводить адаптивную фильтрацию состояний системы с использованием рекурсивных нейронных сетей. Но этот подход очень сложный для математического описания и трудоемкий.

Кроме того, ни один из подходов не способен учитывать одновременно два ключевых вида неопределенности: неоднозначность (нечеткость) и недостоверность (недостаточность, неполноту, противоречивость) исходной информации о состояниях ЦОД.

Работы [8] и [9] посвящены современным нейро-нечетким моделям (ННМ) и нейро-нечетким сетям (ННС). В них обосновывается возможность построения оптимальных алгоритмов анализа контролируемых и управляемых параметров сложных систем на основе ННМ. При этом ННМ сочетают в себе достоинства алгоритмов нечеткого вывода и нейросетевых алгоритмов.

Этот подход и будет рассмотрен в работе. Он является основным для устранения неопределенности (нечеткости, неполноты и противоречивости) при оценке эффективности функционирования ЦОД. Анализ релевантных работ показывает, что прямое применение результатов, полученных в этих работах для данной задачи, невозможно. Причина этого заключается в том, что реальные процессы, протекающие в ЦОД во время его функционирования, проходят в условиях различного вида неопределенности.

Поэтому предложенный в статье унифицированный подход к решению задач оценки эффективности функционирования ЦОД в условиях неопределенности, актуален.

Под состоянием ЦОД понимается совокупность значений Y_i , т.е. параметров (показателей), полностью определяющих его положение в пространстве состояний в данный момент времени t . При этом все эти величины характеризуют

ют состояние ЦОД в каждый момент времени $(t_{k+1}, t_{k+2}, \dots, t_{k+n})$ и обычно называются переменными состояниями. Процесс смены состояний ЦОД во времени характеризует процесс его функционирования.

Для построения математической вероятностно-временной модели смены состояний ЦОД, учитывающей неопределенный и недостоверный характер, процесса его функционирования предлагается воспользоваться аппаратом управляемых цепей Маркова (УЦМ), описываемых в форме разностных стохастических уравнений (РСУ) и обобщенных на случай, когда имеется неопределенность и недостоверность данных о параметрах ЦОД и воздействиях на него в процессе функционирования.

Аналитическое описание процесса функционирования ЦОД, аналитическая взаимосвязь отдельных параметров процесса функционирования ЦОД в общем случае вероятностного, нелинейного и нестационарного процесса связано с необходимостью задания многомерных функций $F(\vec{Y}, \vec{\lambda}, t_0, \dots, t_k, \dots, t_K)$, плотностей $W(\vec{Y}, \vec{\lambda}, t_0, \dots, t_k, \dots, t_K)$ распределения вероятностей значений параметров (показателей) данного процесса на интервале функционирования ЦОД $(t_0 - t_K)$. Математическое описание процесса функционирования ЦОД, с учетом расширения размерности (m – переменных состояний процесса $x(k)$, s – параметров распределений λ и k – отсчетов времени) в этом случае затруднительно.

Устаревание информации о состоянии процесса функционирования ЦОД снижает зависимость принимаемых решений в момент t_k от более ранних наблюдений, обеспечивая тем самым возможность ограничения последствий математического описания процесса функционирования ЦОД.

Постановка задачи

Набор параметров процесса функционирования ЦОД можно математически охарактеризовать вектором показателей существенных свойств данного процесса, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Обозначения

Обозначение	Физический смысл обозначения
$\vec{Y}_{\text{ФЦОД}}(k)$	– вектор параметров процесса функционирования ЦОД
$t_{\text{доступ}}(k)$	– время доступа к услуге
$t_{\text{хран}}(k)$	– время хранения информации
$t_{\text{довед}}(k)$	– время доведения информации до пользователя
$t_{\text{отк облс}}(k)$	– интенсивность отказов в обслуживании
$\vec{Z}_{\text{Ф}}(k)$	– вектор затрат ресурсов на процесс функционирования

Принимая во внимание традиционную иерархическую структуру локальной системы показателей качества процесса функционирования ЦОД, определяемую в работах [10, 11], с учетом доказанной в работе [10] возможности использования для формализованного описания, динамики изменения показате-

лей качества случайных процессов, математического аппарата управляемых цепей Маркова (УЦМ) в форме разностных стохастических уравнений (РСУ), а также того факта, что вероятностно-временная модель смены состояний ПК процесса функционирования базируется на детерминированных переменных, необходимо сформировать обобщенную структуру модели процесса функционирования ЦОД.

Математическая вероятностно-временная модель процесса функционирования ЦОД в пространстве состояний

Множество состояний показателей процесса функционирования ЦОД можно описать с помощью аппарата УЦМ, описываемых в форме РСУ и теории переменных состояния [10, 12]. Разностные стохастические уравнения для дискретных моделей смены состояний процесса функционирования систем хранения и обработки данных, таких как ЦОД, в форме УЦМ ($T = \text{const}$) будут иметь вид [11]:

$$\vec{X}(k+1) = C^T(k+1)\vec{\theta}(k+1), \quad (1)$$

$$\vec{\theta}(k+1) = \varphi^T(k+1, k, u)\vec{\theta}(k) + \vec{\gamma}(k+1), \quad (2)$$

$$\vec{\gamma}(k+1) = [\gamma^T(k+1)\vec{\theta}(k+1)] + \vec{\gamma}'(k+1), \quad (3)$$

$$\vec{N}(k+1) = H(\vec{X}(k+1)\vec{\theta}(k+1) + \vec{\xi}(k+1)), \quad (4)$$

где выражение (1) – уравнение состояния процесса функционирования ЦОД \vec{X} на $(k+1)$ -м шаге в котором: $C^T(k+1)$ – транспонированная диагональная матрица (порядка m) возможных значений параметра, причем число m (строк и столбцов) зависит от выбранного числа состояний (глубины моделирования); $\vec{\theta}(k+1)$ – вспомогательный вектор-столбец индикаторов состояния процесса функционирования ЦОД, элементы которого принимают значения

$$\theta_m(k+1) = \begin{cases} 1, & Y(k+1) = Y_m \\ 0, & Y(k+1) \neq Y_m \end{cases}, \quad (5)$$

и вводимый для удобства записи процесса переходов параметра из состояния в состояние. Выражение (2) – уравнение состояния вспомогательного вектора индикаторов, в котором:

$\varphi^T(k+1, k, u)$ – транспонированная квадратная матрица (порядка m) вероятностей перехода процесса функционирования ЦОД, обуславливающего смену состояний параметра (матрицы переходных вероятностей);

$\vec{\theta}(k)$ – вектор-столбец значений индикаторов состояния параметра (ПК) на предыдущем шаге;

$\vec{\gamma}(k+1)$ – вектор значений модифицированного шума возбуждения, определяющий значения $\vec{\theta}$ на $(k+1)$ шаге и формируемый на основе сравнения с пороговыми значениями ПК процесса функционирования ЦОД.

Выражение (4) – уравнение наблюдения за процессом смены состояний процесса $X(k)$, где $H(k, x(k))$ – матрица наблюдения, содержащая известные значения наблюдения за состоянием процесса $x(k)$:

$$H(\vec{x}(k+1)) = \begin{vmatrix} X_1(k+1) & 0 & \dots & \dots \\ 0 & X_2(k+1) & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \dots \end{vmatrix} \quad (6)$$

Модель представляет собой формализованное описание в терминах марковской цепи в форме РСУ (УЦМ-РСУ) процесса изменения значений параметров, характеризующих существенные свойства процесса в пространстве состояний.

Модифицированная модель процесса смены состояний ЦОД, характеризующего отклонение параметра от требуемых значений в процессе функционирования ЦОД с учетом неоднозначности и недостоверности имеет вид:

$$\vec{X}(k+1) = C^T(k+1)\vec{\theta}(k+1), \quad (7)$$

$$\vec{\theta}(k+1) = \tilde{\varphi}^T(k+1, k, u)\vec{\theta}(k) + \Delta\vec{\gamma}(k+1), \quad (8)$$

$$\vec{N}(k+1) = H(\vec{X}(k+1))\vec{\theta}(k+1) + \vec{\xi}(k+1). \quad (9)$$

где выражение (7) – уравнение состояния, характеризующего отклонение параметра от требуемых значений на $(k+1)$ -м шаге функционирования ЦОД, в котором: $\vec{X}(k+1)$ – вектор-столбец значений отклонений параметра (показателя), в котором все элементы кроме одного (реального значения отклонений параметра (показателя) на данном шаге) равны 0; $C^T(k+1)$ – транспонированная диагональная квадратная матрица (порядка m) возможных значений отклонений параметра (показателя), причем число m (строк и столбцов) зависит от выбранного числа состояний (глубины моделирования); $\vec{\theta}(k+1)$ – вспомогательный вектор-столбец индикаторов состояния отклонений параметра (показателя), принимающий значения в соответствии с выражением (7) и вводимый для удобства записи процесса перехода отклонений параметра (показателя) из состояния в состояние. Выражение (8) – уравнение состояния вспомогательного вектора индикаторов, в котором:

$$\tilde{\varphi}^T(k+1, k, u) = \begin{vmatrix} p_{11}(k+1, k, u) & p_{21}(k+1, k, u) & p_{31}(k+1, k, u) \\ p_{12}(k+1, k, u) & p_{22}(k+1, k, u) & p_{32}(k+1, k, u) \\ p_{13}(k+1, k, u) & p_{23}(k+1, k, u) & p_{33}(k+1, k, u) \end{vmatrix},$$

транспонированная квадратная матрица вероятностей перехода процесса, обуславливающего смену состояний отклонений параметра (показателя) в условиях неоднозначности и недостоверности, полученная с использованием ННС; $\vec{\theta}(k)$ – вектор-столбец значений индикаторов состояния отклонений параметра (показателя) на предыдущем шаге; $\Delta\vec{\gamma}(k+1)$ – вектор-столбец приращений (компенсационных добавок) индикаторов состояния, элементы которого предназначены для компенсации нецелочисленной части выражения (8) и получены

в результате коррекции исходного шума возбуждения, с математическим ожиданием и дисперсией, соответствующими начальному состоянию моделируемого процесса. Таким образом, получение значений индикаторов состояния отклонений параметра (показателя) на $(k + 1)$ -ом шаге функционирования ЦОД осуществляется путем линейной процедуры:

$$\|\Delta\theta(k + 1)\| = S - \|\theta^{np}(k + 1)\|, \quad (10)$$

$$\Delta\bar{\theta}(k + 1) = \|\Delta\theta(k + 1)\|\bar{\theta}^{np}(k + 1), \quad (11)$$

$$\bar{\theta}(k + 1) = \theta^{np}(k + 1) + \Delta\bar{\theta}(k + 1). \quad (12)$$

где выражение (10) описывает механизм получения элементов m -мерной матрицы компенсационных добавок $\|\Delta\theta(k + 1)\|$ и содержит элементы: S – m -мерная единичная диагональная матрица; $\theta^{np}(k + 1)$ – m -мерная матрица, столбцами которой являются вектора нецелочисленных значений индикаторов $\bar{\theta}^{np}(k + 1)$, повторенные m раз. Выражение (12) завершает алгоритм вычислений вектора индикаторов состояний $\Delta\bar{\theta}(k + 1)$ и является модифицированной записью уравнения состояния моделируемого процесса (8), причем элементы вектора нецелочисленных значений индикаторов состояния находятся в соответствии с выражением являющимся модификацией известного уравнения Колмогорова-Чепмена и полученным в результате преобразования выражения (11),

$$\bar{\theta}^{np}(k + 1) = \tilde{\varphi}^T(k + 1, k, u)\bar{\theta}(k), \quad (13)$$

где $\bar{\theta}^{np}(k + 1)$ – вектор нецелочисленных значений индикаторов состояния моделируемого процесса (процесса смены состояний отклонений параметра (показателя)), имеющий математический смысл пошаговых и, в конечном итоге, финальных вероятностей нахождения случайного процесса в том или ином состоянии; $\tilde{\varphi}^T(k + 1, k, u)$ – матрица вероятностей перехода процесса из одного состояния в другое с учетом неоднозначности и недостоверности; $\bar{\theta}(k)$ – вектор целочисленных значений индикаторов состояния моделируемого процесса на предыдущем шаге. Выражение (13) для отдельного i -го (из m возможных) нецелочисленного индикатора состояния $\theta_i^{np}(k + 1)$ в общем случае имеет вид:

$$\theta_i^{np}(k + 1) = \theta_1(k)(p_{i1} - p_{im}) + \theta_2(k)(p_{i2} - p_{im}) + \theta_{m-1}(k)(p_{i,m-1} - p_{im}) + p_{im} \quad (14)$$

где $i = 1..m$, а $p_{i1}..p_{im}$ – элементы матрицы $\tilde{\varphi}^T(k + 1, k, u)$ вероятностей перехода процесса из одного состояния в другое с учетом неоднозначности и недостоверности.

Результаты моделирования

Вариант ННС со структурой типа ANFIS для решения задач оценки эффективности функционирования ЦОД представлен на рис. 1.

Пусть на первый вход ННС поступает вектор, характеризующего время предоставления услуги пользователю $X_1 = \{Pt_{ny}(k)\}$, на второй – мнения экспертов $X_2 = \{Pt_{ny}^{экс}(k)\}$ о данном признаке.

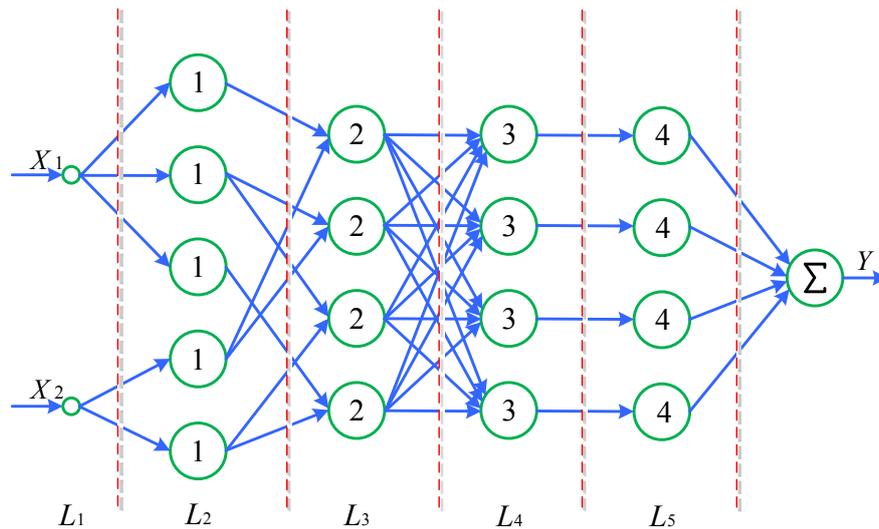


Рис. 1. Вариант ННС со структурой типа ANFIS для решения задач оценки эффективности функционирования ЦОД

На выходе слоя L_1 получаем значение функции принадлежности μ_{A_1} и μ_{A_2}

$$\mu_{A_1} = \exp \left[\frac{1}{2} \left(\frac{Pt_{\text{ny}}(k) - a_i}{b_j} \right)^2 \right],$$

$$\mu_{A_2} = \exp \left[\frac{1}{2} \left(\frac{Pt_{\text{ny}}^{\text{экс}}(k) - a_i}{b_j} \right)^2 \right].$$

Конфигурация связей второго слоя L_2 соответствует структуре правил:
Правило R_1 : если $Pt_{\text{ny}}(k)$ есть A_1 и $Pt_{\text{ny}}^{\text{экс}}(k)$ есть B_1 .

Тогда: Правило R_k можно представить в виде нечеткой импликации

$$R_k : \tilde{P}t_{\text{ny}}(k) \rightarrow \tilde{P}t_{\text{ny}}^{\text{экс}}(k),$$

$$R_{k+1} : \tilde{P}t_{\text{ny}}(k+1) \rightarrow \tilde{P}t_{\text{ny}}^{\text{экс}}(k+1).$$

На выходе второго слоя L_2 получим значения, которые будут являться весами правил для нейро-нечеткой сети:

$$\alpha_1 = Pt_{\text{ny}}(k) \tilde{P}t_{\text{ny}}(k) Pt_{\text{ny}}^{\text{экс}}(k) \tilde{P}t_{\text{ny}}^{\text{экс}}(k),$$

$$\alpha_2 = Pt_{\text{ny}}(k) \tilde{P}t_{\text{ny}}(k+1) Pt_{\text{ny}}^{\text{экс}}(k) \tilde{P}t_{\text{ny}}^{\text{экс}}(k+1).$$

Элементы третьего слоя L_3 осуществляют нормализацию степеней выполнения правил и вычисляют нормализованные значения конкретного ПК.

Далее осуществляется исключение некорректных правил.

Если некоторый элемент слоя L_2 связан с различными элементами слоя L_3 , то выбирается не более одного соединения с наибольшим весом, а остальные исключаются. Таким образом, конкретному условию правила ставится в соответствие только одно заключение.

В случае, когда веса всех связей пренебрежимо малы, они все исключаются и считается, что данное правило не оказывает существенное влияние на выходную переменную.

В третьем слое L_3 осуществляется нормализация степеней выполнения правил и вычисляются нормализованные значения значимости (предпочтительности) такого признака:

$$\tilde{\beta}_1 = \frac{Pt_{ny}(k) \tilde{P}t_{ny}(k) Pt_{ny}^{экс}(k) \tilde{P}t_{ny}^{экс}(k)}{(Pt_{ny}(k) \tilde{P}t_{ny}(k) Pt_{ny}^{экс}(k) \tilde{P}t_{ny}^{экс}(k)) + (Pt_{ny}(k) \tilde{P}t_{ny}(k+1) Pt_{ny}^{экс}(k) \tilde{P}t_{ny}^{экс}(k+1))}$$

Четкое значение важности (предпочтительности) признака, задающее заключение каждого правила, в четвертом слое L_4 рассматривается как нечеткое множество с гауссовской функцией принадлежности. Адаптивные узлы четвертого слоя рассчитывают вклад каждого нечеткого правила в выход сети по формуле:

$$Y = \sum_{i=1}^n \tilde{\beta}_i (Pt_{ny}(k) + Pt_{ny}^{экс}(k)).$$

Пятый слой представляет собой реализацию блока дефазификации. На выходе слоя L_5 формируется четкое значение важности (предпочтительности) такого ПК, как время предоставления услуги пользователю $\{Pt_{ny}(k)\}$.

Вводим «граничное», пороговое значения функции принадлежности, описывающей важность (предпочтительность) ПК на k -ом шаге функционирования, например, на уровне $\mu^{th}(k)=0,65$.

Тогда график сходимости значений функции принадлежности, описывающей важность (предпочтительность) такого ПК имеет вид, представленный на рис. 2.

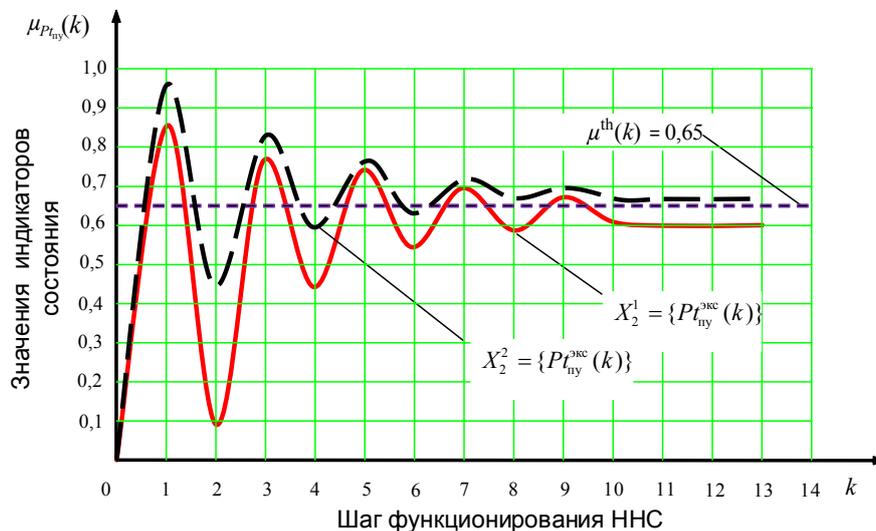


Рис. 2. График наблюдения за важностью (предпочтительностью) ПК $\{Pt_{ny}(k)\}$ в процессе функционирования ННС

Состояние сети можно интерпретировать как прогноз гарантированной важности (предпочтительности) ПК $\{Pt_{ny}(k)\}$. Данное состояние характеризуется снижением влияния (важности, предпочтительности) ПК $\{Pt_{ny}(k)\}$, для одного варианта исходных мнений экспертов о данном ПК $X_2^1 = \{Pt_{ny}^{экс}(k)\}$ и увеличением веса (важности, предпочтительности) ПК $\{Pt_{ny}(k)\}$, для другого варианта исход-

ных мнений экспертов $X_2^2 = \{Pt_{пу}^{эк}(k)\}$. Иными словами, для различных значений мнений экспертов о данном ПК, итоговые значения важности (предпочтительность) этого ПК будут различны и могут принимать значения выше и ниже порога. Это характеризует вес (влияние, важность, предпочтительность учета) конкретного ПК в задачах оценки эффективности функционирования ЦОД.

В результате последовательной реализации этапов оценки эффективности функционирования ЦОД с учетом неопределенности, может быть получен ряд важных, существенных ПК. Включение этих ПК в процесс оценки, по мнению экспертов, желательно. Это и позволит повысить достоверность оценки эффективности функционирования ЦОД.

Рассмотрим процедуру определения значений элементов матрицы переходных вероятностей $\tilde{\Phi}^T(k+1, k, u)$ для различных состояний параметра время доступа к услуге $t_{доступ}(k)$ с применением ННС.

Модель представлена в виде уравнений состояния и наблюдения за показателем $t_{доступ}(k)$ следующим образом:

$$\begin{aligned} \vec{X}_{t_{доступ}(k)}(k+1) &= C_{t_{доступ}(k)}^T(k+1)\vec{\theta}_{t_{доступ}(k)}(k+1), \\ \vec{\theta}_{t_{доступ}(k)}(k+1) &= \tilde{\Phi}_{t_{доступ}(k)}^T(k+1, k, u)\vec{\theta}_{t_{доступ}(k)}(k) + \Delta\vec{\gamma}(k+1), \\ \vec{N}_{t_{доступ}(k)}(k+1) &= H_{t_{доступ}(k)}(\vec{X}_{t_{доступ}(k)}(k+1)\vec{\theta}_{t_{доступ}(k)}(k+1)] + \vec{\xi}_{t_{доступ}(k)}(k+1) \end{aligned}$$

где $\vec{X}_{t_{доступ}(k)}(k+1)$ – вектор дискретных по времени и по состояниям неоднозначно и недостоверно заданных значений параметра времени доступа к услуге; $C_{t_{доступ}(k)}^T(k+1)$ – M -мерная (в нашем случае $M=6$) матрица-строка возможных неоднозначно и недостоверно сформулированных состояний параметра времени доступа к услуге; $\vec{\theta}_{t_{доступ}(k)}(k+1)$ – вспомогательный вектор-индикатор состояния заданного параметра времени доступа к услуге; $H_{t_{доступ}(k)}(\vec{X}_{t_{доступ}(k)}(k+1))$ – шестимерная матрица заданных наблюдений за состояниями времени доступа к услуге; $\vec{\theta}_{t_{доступ}(k)}(k+1)$ – вектор значений приращения индикаторов состояния параметра времени доступа к услуге, $\vec{\theta}_{t_{доступ}(k)}(k)$ – значение вектора вспомогательных индикаторов состояния параметра времени доступа к услуге на предыдущем шаге; $\vec{N}_{t_{доступ}(k)}(k+1)$ – вектор наблюдения за состоянием параметра времени доступа к услуге; $\vec{\xi}_{t_{доступ}(k)}(k+1)$ – вектор шумов наблюдения за динамикой смены состояний параметра времени доступа к услуге; $\tilde{\Phi}_{t_{доступ}(k)}^T(k+1, k, u)$ – матрица неоднозначно и недостоверно заданных одношаговых вероятностей перехода заданного параметра из k -го в $(k+1)$ состояние, учитывающая внешние и управляющие воздействия $u(k)$. Результаты, полученные на основе математических выкладок в пакете MathCad, представлены на рис. 3.

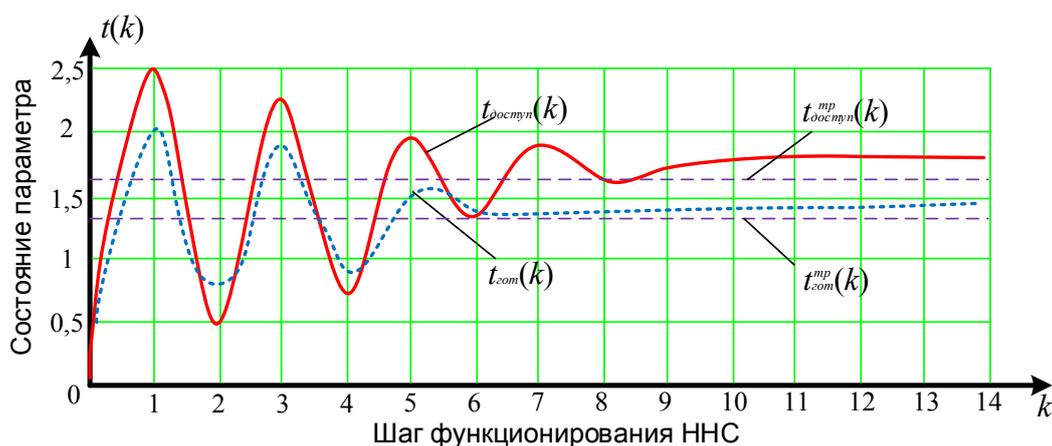


Рис. 3. Пример результатов моделирования параметров ЦОД

Результаты экспериментального расчета показывают, что ННС в интересах устранения неопределенности стабилизировалась уже после восьмого шага.

Таким образом, выражениями (7-14) представлена математическая модель, описывающая изменения состояний отклонения параметра в процессе функционирования ЦОД в условиях неоднозначности и недостоверности исходных данных о состоянии (параметрах) ЦОД.

Выводы

Представленный подход позволяет определить пошаговые значения вектора индикаторов марковской цепи с заданными свойствами и представляет собой формализованную аналитическую модель, способную описывать динамику изменения состояний процесса функционирования центров обработки данных с одновременным учетом неоднозначных и недостоверных данных о состоянии (параметрах) сложных управляемых систем такого класса. Использование предлагаемой вероятностно-временной модели процесса смены состояний центров обработки данных позволит повысить адекватность моделирования, а значит, и объективность принимаемых решений по управлению структурой, параметрами и режимами их работы.

Литература

1. Паращук И. Б., Башкирцев А. С., Михайличенко Н. В. Анализ уровней и видов неопределенности, влияющей на принятие решений по управлению информационными системами // Информация и космос. 2017. № 1. С. 112-120.
2. Kaleva O. Fuzzy differential equations // Fuzzy Sets and Systems. 1987. № 3(24). pp. 301–317.
3. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. — М.: Горячая линия — Телеком, 2013. 384 с.
4. Агеев С. А., Саенко И. Б., Котенко И. В. Метод и алгоритмы обнаружения аномалий в трафике мультисервисных сетей связи, основанные на

нечетком логическом выводе // Информационно-управляющие системы. 2018. № 3. С. 61-68.

5. Rojas R. *Neural Networks*. — Springer-Verlag, Berlin, 1996. — 453 p.

6. Паращук И. Б. Моделирование процесса отклонений показателей качества сети многоканальной радиосвязи от требуемых значений // Радиотехника. 1998. № 11. С. 6-9.

7. Parlos A. G., Menon S. K., Atiya A. F. An algorithmic approach to adaptive state filtering using recurrent neural networks *Proceedings of the IEEE Trans // Neural Networks*. 2001. Vol. 12. No 6. P. 1411-1432.

8. Нестерук Г. Ф., Куприянов М. С., Елизаров С. И. К решению задачи нейро-нечеткой классификации // Сборник трудов VI Международной конференции SCM-2003. — СПб.: СПбГТУ, 2003. С. 244-246.

9. Ярушкина Н. Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. — М.: Финансы и статистика, 2004. — 320 с.

10. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. — М.: Наука, 1978. — 399 с.

11. Терентьев В. М., Паращук И. Б. Теоретические основы управления сетями многоканальной радиосвязи. — СПб.: ВАС, 1995. — 195 с.

12. Майн Х., Осаки С. Марковские процессы принятия решений. — М.: Наука, 1977. — 177 с.

References

1. Parashchuk I. B., Bashkirtsev A. S., Mikhailichenko N. V. Analysis of levels and types of uncertainty affecting decision-making on information systems management. *Informatsiia i kosmos*, 2017, no. 1, pp. 112-120 (in Russian).

2. Kaleva O. Fuzzy differential equations. *Fuzzy Sets and Systems*, 1987, vol. 24, no. 3, pp. 301–317.

3. Rutkovskaia D., Pilin'skii M., Rutkovskii L. *Neironnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy* [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems]. Moscow, Goriachaia liniia Telekom, 2013. 384 p. (in Russian).

4. Ageev S. A., Saenko I. B., Kotenko N. V. Method and Algorithms of Anomaly Detection in Multiservice Network Traffic based on Fuzzy Logical Inference. *Information and Control Systems*, 2018, no. 3. pp. 61-68 (in Russian).

5. Rojas R. *Neural Networks*. Springer-Verlag, Berlin, 1996, 453 p.

6. Parashchuk I. B. Modeling of the process of deviations of quality indicators of multichannel radio network from the required values. *Radiotekhnika*, 2002, no. 11, pp. 263-266 (in Russian).

7. Parlos A G, Menon S. K., Atiya A. F. An algorithmic approach to adaptive state filtering using recurrent neural networks *Proceedings of the IEEE Trans. Neural Networks*, 2001, vol. 12, no. 6, pp. 1411-1432.

8. Nesteruk G. Ph., Kupriyanov M. S. K resheniiu zadachi neuro-nechetkoi klassifikatsii [To the solution of the neuro-fuzzy classification problem]. *Sbornik trudov VI Mezhdunarodnoi konferentsii SCM-2003* [Proceedings of the VI International conference SCM-2003]. Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State Technical University, 2003, pp. 244-246 (in Russian).

9. Iarushkina N. G., *Osnovy teorii nechetkikh i gibridnykh system* [Fundamentals of the theory of fuzzy and hybrid systems]. Moscow, Finansy i statistika, 2004. 320 p. (in Russian).

10. Buslenko N. P. *Modelirovanie slozhnykh sistem* [Modeling of complex systems]. Moscow, Nauka, 1978, 399 p. (in Russian).

11. Terent'ev V. M., Parashchuk I. B. *Teoreticheskie osnovy upravleniia setiami mnogokanal'noi radiosviasi* [Theoretical bases of management of networks of multichannel radio communication]. Saint-Petersburg, Military Academy of the Signal Corps, 1995. 195 p. (in Russian).

12. Main Kh., Osaki S. *Markovskie protsessy priniatiia reshenii* [Markov decision-making processes]. Moscow, Nauka, 1977. 177 p. (in Russian).

Статья поступила 4 февраля 2019 г.

Информация об авторе

Михайличенко Николай Валерьевич – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Адъюнкт кафедры автоматизированных систем специального назначения. Военная академия связи. Область научных интересов: оценка эффективности сложных информационно-технических систем. E-mail: 23esn2008@rambler.ru

Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

Probabilistic-timing model for analyzing of change dynamics of data processing center states

N. V. Mihajlichenko

Relevance: the widespread use of data processing centers leads to the need to use mathematical methods for the analysis of their functioning. This causes the need for rapid decision-making by the management of data centers. **The aim of the work** is to develop a probabilistic-timing model for the analysis of the dynamics of changes in the states of the processing centers in the course of their operation in conditions of uncertainty and unreliability of the original data. **Methods in use:** the apparatus of controlled Markov chains, described in the form of differential stochastic equations, and generalized in case of when there are uncertainties of ambiguous (fuzzy) and (or) unreliable (insufficient, incomplete, contradictory) nature about the state (parameters) of data processing centers. **Novelty:** the elements of the novelty of the presented solution is the complex use of Markov controlled circuits described in the form of differential stochastic equations and methods of neuro-fuzzy networks. **Results:** the use of the presented solutions makes it possible to determine the values of the Markov chain indicators vector with the given properties and represents an analytical model to describe the dynamics of state changes in the process of data processing centers functioning with regard to ambiguous and unreliable data. **Practical significance:** the presented approach allows to simulating the dynamics of changes in the states of data centers taking into account both ambiguity (fuzziness) and unreliability (insufficiency, incompleteness, inconsistency) of the initial data about their state. Using the proposed probabilistic-timing model of the process of change of states of the data processing centers will allow increasing of the objectivity of decision-making for their management.

Keywords: data processing center, markov chain, neuro-fuzzy network.

Information about Author

Nikolai Valerievich Mikhajlichenko – Doctoral Student. The postgraduate student of the Department of Automated systems for special purposes. Military Academy of communications. Field of research: evaluation of the effectiveness of complex information-technical systems. E-mail: 23esn2008@rambler.ru

Address: Russia, 194064, Saint-Petersburg, Tihoreckiy prospekt, 3.