

УДК 621.396.4

Этапы методики оценки надежности мобильных дата-центров в условиях зашумленности исходных данных

Stages of the technique for assessing the reliability of mobile data centers in the conditions of noisy source data

Михайличенко / Mikhailichenko A.

Антон Валерьевич

(toni09_91@mail.ru)

ФГКВОУ ВО «Военная академия связи

имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного»

МО РФ (ВАС им. С. М. Буденного),

адъюнкт кафедры автоматизированных систем
специального назначения.

г. Санкт-Петербург

Паращук / Parashchuk I.

Игорь Борисович

(shchuk@rambler.ru)

доктор технических наук, профессор,

заслуженный изобретатель РФ.

ВАС им. С. М. Буденного,

профессор кафедры автоматизированных систем
специального назначения.

г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: мобильный дата-центр – mobile data center; показатель надежности – reliability indicator; зашумленность исходных данных – noise level of source data; гранулярные вычисления – granular calculations; методика – technique; совместная вероятность выполнения требований – joint probability of meeting requirements; этапы – stages; плотность распределения вероятности – probability distribution density.

Статья посвящена исследованию перспектив применения методов гранулярных вычислений для устранения зашумленности исходных данных в рамках методики оценки надежности мобильных дата-центров, а также возможности использования для подобных задач модифицированных математических моделей в форме дискретных цепей Маркова в сочетании с алгоритмами фильтрации Калмана. Обоснованы сущность и содержание этапов методики оценки надежности мобильных дата-центров, которая позволит повысить достоверность контроля технического состояния объектов такого класса.

The article is devoted to the study of the prospects of using granular computing methods to eliminate the noise of the source data within the framework of the technique for assessing the reliability of mobile data centers, as well as the possibility of using modified mathematical models in the form of discrete Markov chains in combination with Kalman filtering algorithms for such tasks. The essence and content of the stages of the technique for assessing the reliability of mobile data centers are substantiated, which will increase the reliability of monitoring the technical condition of objects of this class.

Введение

Одним из ключевых вопросов анализа надежности сложных информационно-технических систем является формулировка содержания этапов мето-

дики оценки параметров безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости объектов такого класса, обоснование метода оценки обобщенного показателя их технической надежности.

При этом исходными данными для оценки технической надежности любой сложной системы, как в отечественной, так и в зарубежной практике, является разработка иерархически связанной совокупности показателей надежности, то есть синтез системы показателей надежности (СПН) объектов такого класса [1–4].

Анализ современных работ, посвященных оценке надежности [5–17], показывает, что традиционные методы, составляющие методологию контроля надежности сложных информационно-технических систем, методы, ориентированные на использование обобщенных (комплексных) показателей технической надежности, ориентированы на интегрирование по пороговым значениям параметров безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости, то есть на анализ совместных плотностей распределения вероятностей (ПРВ), описывающих эти параметры в комплексе.

Особую сложность задачам такого типа придает обстоятельство, что оценка надежности сложных информационно-технических систем, например таких, как мобильные дата-центры (МобДЦ), осуществляется в условиях зашумленности исходных данных. Зашумленными исходными данными в математике, теории обработки сигналов, теории распознавания образов и теории оценивания принято называть данные, которые повреждены, искажены или имеют низкое отношение сигнал-шум. Это данные, сочетающие полезный (истинный) сигнал и мешающий шум (например, шумы наблюдения за значениями параметров надежности, шумы измерения этих параметров и т.д.). Иными словами, это исходные данные большой размерности, причем с большим количеством допол-

нительной ненужной (бессмысленной) информации, называемой шумом. Также понятие зашумленные данные подразумевает, что эти данные повреждены, это те данные, которые система контроля и идентификации не может правильно понять и интерпретировать [18–21]. Для устранения шума из зашумленных данных обычно используют статистический анализ или методы гранулярных вычислений [22–25].

Теоретические и практические аспекты важнейшей предварительной процедуры – синтеза системы показателей надежности (ПН) МобДЦ с использованием методов гранулярных вычислений детально рассмотрены в [4, 20, 23].

С учетом этого особую актуальность, на наш взгляд, приобретает содержательная формулировка этапов методики векторной оценки надежности МобДЦ в условиях зашумленности исходных данных.

Теоретические и методологические аспекты формулировки этапов методики оценки надежности МобДЦ в условиях зашумленности исходных данных

Учитывая особенности синтезированной (на основе методов гранулярных вычислений) системы показателей надежности МобДЦ [4] и с точки зрения рассматриваемых в рамках данной работы параметров безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости в виде отклонений (Δ) от требований, допустим нормальный вид ПРВ этих параметров надежности объектов такого класса.

При этом система показателей надежности МобДЦ, синтезированная на основе методов гранулярных вычислений (обозначена символом G – *granular*), позволивших устранить зашумленность исходных данных для оценки, в целом может быть формально представлена в виде вектора $\Delta \bar{X}_{n \text{ МобДЦ}}^G(k)$, состоящего, например, из N показателей

$$\Delta \bar{X}_{n \text{ МобДЦ}}^G(k) = [\Delta x_n^1(k); \Delta x_n^2(k); \dots; \Delta x_n^N(k)]^T, \quad (1)$$

где $\Delta x_n^i(k)$ – частные показатели в виде отклонений реальных значений параметров надежности (безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости) от требуемых значений, где $n = 1, \dots, N$ [4, 26].

В этом случае векторный частный показатель ремонтпригодности (ЧПР), т. е. вектор частных показателей надежности, характеризующих, например, ремонтпригодность МобДЦ (в рамках надежности) на k -ом шаге его функционирования, также полученный с помощью методов гранулярных вычислений $\Delta \bar{R}_p^G(k)$, позволивших устранить зашумленность исходных данных и целей оценки ремонтпригодности, может содержать показатели ремонтпригодности в виде их отклонений от требуемых значений:

$$\Delta \bar{R}_p^G(k) = [\Delta \bar{r}_{\text{врс}}^-(k); \Delta K_{\text{врс}}^-(k); \Delta \lambda_{\text{врс}}^-(k); \Delta \bar{\Omega}_{\text{врс}}^-(k)]^T, \quad (2)$$

где $\Delta t_{\text{врс}}^-(k)$ – отклонение от требуемых значений среднего времени восстановления работоспособного состояния элемента (устройства) МобДЦ или дата-центра в целом на k -ом шаге его функционирования; $\Delta K_{\text{врс}}^-(k)$ – отклонение коэффициента восстановления работоспособного состояния за отведенный промежуток времени; $\Delta \lambda_{\text{врс}}^-(k)$ – отклонение от требуемых значений интенсивности потока восстановления работоспособного состояния и $\Delta \bar{\Omega}_{\text{врс}}^-(k)$ – отклонение от требуемых значений средней трудоемкости восстановления работоспособного состояния элемента (устройства) МобДЦ или дата-центра в целом на k -ом шаге его функционирования [4, 26].

При этом текущие совместные ПРВ имеют типовую размерность $N \times M \times T$ (N – количество учитываемых показателей надежности МобДЦ, M – число состояний этих показателей надежности, T – число временных отсчетов (шагов) оценки показателей надежности МобДЦ). Такой подход связан с использованием процедуры непосредственного N -кратного (по числу показателей) интегрирования совместной ПРВ размерности $N \times M \times T$, что, в свою очередь, приводит к ситуации, называемой в математике «проклятием размерности».

Предлагаемая методика оптимальной оценки надежности МобДЦ, основанная на методах теории фильтрации, позволяет в отличие от общепринятых методов значительно сократить размерность задачи оценки, предполагая наличие процедуры, состоящей из двух стадий:

Первая стадия – применение математической модели смены состояний показателей надежности МобДЦ в виде управляемых цепей Маркова в форме разностных стохастических уравнений, как предложено в работе [26], что позволяет свести размерность задачи к $N \times M \times 2$. Эта математическая модель формально включает три базовых уравнения для описания процесса смены состояний любого n -ого из N показателей надежности МобДЦ (см. выражение (1)):

$$\Delta \bar{x}_n^i(k+1) = C^T(k+1) \bar{\Theta}(k+1); \quad (3)$$

$$\bar{\Theta}(k+1) = \{\varphi^G(k+1, k, u)\}^T \bar{\Theta}(k) + \Delta \bar{\Theta}(k+1); \quad (4)$$

$$\bar{z}(k+1) = H(k, \bar{x}_n^i(k)) \bar{\Theta}(k+1) + \bar{\omega}(k+1), \quad (5)$$

где уравнение (3) описывает смену состояния процесса, характеризующего отклонение конкретного n -го показателя надежности МобДЦ $\Delta \bar{x}_n^i(k+1)$ от требуемых значений на $(k+1)$ -м шаге его функционирования, в котором: $C^T(k+1)$ – транспонированная диагональная квадратная матрица (порядка m) возможных значений отклонений конкретного n -го показателя надежности МобДЦ на $(k+1)$ -м шаге, а $\bar{\Theta}(k+1)$ – вектор-столбец вспомогательных индикаторов состояния отклонений любого n -го показателя

надежности МобДЦ, вводимый для математически корректной записи динамики перехода отклонений данного показателя из состояния в состояние.

Новизна предлагаемой в данной статье модели заключается именно в уравнении (4), описывающем состояние элементов вектора вспомогательных индикаторов, в котором ключевым компонентом является $\{\varphi^G(k+1, k, u)\}^T$ – транспонированная и «гранулированная» квадратная матрица (порядка m) вероятностей перехода дискретной цепи Маркова, обуславливающих смену состояний отклонений n -го показателя надежности МобДЦ на $(k+1)$ -м шаге его функционирования. В отличие от известных подходов, элементы данной матрицы получены с помощью методов гранулярных вычислений, позволивших устранить зашумленность исходных данных и целей оценки n -го показателя надежности (в нашем случае – в аспекте ремонтпригодности). Остальные компоненты уравнения (4) – традиционные для математических моделей такого класса: $\bar{\Theta}(k)$ – вектор-столбец значений индикаторов состояния отклонений n -го показателя надежности на предыдущем шаге; $\Delta\bar{\Theta}(k+1)$ – вектор-столбец компенсационных добавок (приращений) индикаторов состояния, элементы которого предназначены для компенсации нецелочисленной части выражения (4) [26].

Уравнение (5) является уравнением наблюдения за процессом (процессом смены состояний отклонения n -го показателя надежности МобДЦ, причем $H(k, \bar{x}_n^n(k))$ – диагональная квадратная матрица (порядка m) наблюдаемых значений процесса, а $\bar{\omega}(k+1)$ – вектор белых шумов наблюдения с нулевым средним и матрицей дисперсии $\delta_{\omega}(k+1)$.

Вторая стадия – замена процедуры непосредственного N -кратного интегрирования совместной ПРВ показателей надежности размерности $N \times M \times 2$ процедурой однократного интегрирования $N-1$ условных по наблюдениям ПРВ $\bar{\omega}(\Delta x_n^n(k) / \bar{z}(k))$, параметры каждой из которых (математическое ожидание и дисперсия ПРВ) определяются на основе оценочных значений показателей надежности МобДЦ и связывающих их аналитических выражений.

Таким образом, предлагаемая совокупность методов оптимальной оценки технической надежности МобДЦ, основанная на методах теории фильтрации, позволяет осуществить переход к текущей и проактивной фильтрации (экстраполяции) отклонений числовых параметров и показателей надежности МобДЦ и к идентификации параметров условной по наблюдениям ПРВ значений показателей надежности с использованием оценочных значений отклонений этих показателей. При этом оптимальная по критерию минимального среднего квадратичного отклонения (МСКО) оценка значений отклонений ПН МобДЦ от требований осуществляется на основе традиционных алгоритмов фильтрации (экстраполяции) Калмана [27].

Содержание этапов методики оценки надежности мобильных дата-центров в условиях зашумленности исходных данных

Ключевые этапы оценки отдельных (в виде отклонений от требований) ЧПР $\Delta\bar{R}_p^G(k+1)$ (выражение (2)), частных показателей безотказности (ЧПБ) $\Delta\bar{R}_b^G(k+1)$, долговечности (ЧПД) $\Delta\bar{R}_d^G(k+1)$ и сохраняемости (ЧПС) $\Delta\bar{R}_c^G(k+1)$ МобДЦ, этапы оценки частных вероятностно-временных показателей надежности (ЧВВПН), интегрированным по уровням безотказности (ЧВВПН_б), долговечности (ЧВВПН_д), ремонтпригодности (ЧВВПН_р) и сохраняемости (ЧВВПН_с), а также оценки обобщенного показателя надежности (ОПН) МобДЦ в условиях зашумленности исходных данных, устраняемой с использованием методов гранулярных вычислений, представлены на рис. 1.

При этом ЧВВПН, интегрированные по уровням безотказности $P_b(\Delta\bar{R}_b^G(k+1) \leq \Delta\bar{R}_b^{tp})$, долговечности $P_d(\Delta\bar{R}_d^G(k+1) \leq \Delta\bar{R}_d^{tp})$, ремонтпригодности $P_p(\Delta\bar{R}_p^G(k+1) \leq \Delta\bar{R}_p^{tp})$ и сохраняемости $P_c(\Delta\bar{R}_c^G(k+1) \leq \Delta\bar{R}_c^{tp})$, представляют собой каждый в отдельности совместную условную вероятность выполнения требований соответственно к отклонениям ЧПБ ($\Delta\bar{R}_b^{tp}$), ЧПД ($\Delta\bar{R}_d^{tp}$), ЧПР ($\Delta\bar{R}_p^{tp}$) и ЧПС ($\Delta\bar{R}_c^{tp}$). Иными словами, предложенная методика, основанная на методах теории фильтрации (экстраполяции) Калмана, и использующая методы гранулярных вычислений для устранения зашумленности исходных данных, позволяет на основе получаемых текущих и прогнозных оценочных значений ЧПР $\Delta\bar{R}_p^G(k+1)$, оценочных значений ЧПБ $\Delta\bar{R}_b^G(k+1)$, оценочных значений ЧПД $\Delta\bar{R}_d^G(k+1)$ и сохраняемости $\Delta\bar{R}_c^G(k+1)$ МобДЦ, а также на основе идентификации параметров условной по наблюдениям ПРВ значений этих показателей и с использованием этих их оценочных значений (отклонений этих показателей), получать текущие и прогнозные оценочные значения ЧВВПН на $(k+1)$ -ом шаге функционирования МобДЦ.

При этом эти текущие и прогнозные оценочные значения ЧВВПН на $(k+1)$ -ом шаге функционирования МобДЦ интегрированы по уровням безотказности

$$\hat{P}_{б \text{ МобДЦ}}(k+1)[(\Delta\hat{R}_b^G(k+1) \leq \Delta\bar{R}_b^{tp})], \quad (6)$$

долговечности

$$\hat{P}_{д \text{ МобДЦ}}(k+1)[(\Delta\hat{R}_d^G(k+1) \leq \Delta\bar{R}_d^{tp})], \quad (7)$$

ремонтпригодности

$$\hat{P}_{р \text{ МобДЦ}}(k+1)[(\Delta\hat{R}_p^G(k+1) \leq \Delta\bar{R}_p^{tp})] \quad (8)$$

и сохраняемости

$$\hat{P}_{с \text{ МобДЦ}}(k+1)[(\Delta\hat{R}_c^G(k+1) \leq \Delta\bar{R}_c^{tp})]. \quad (9)$$

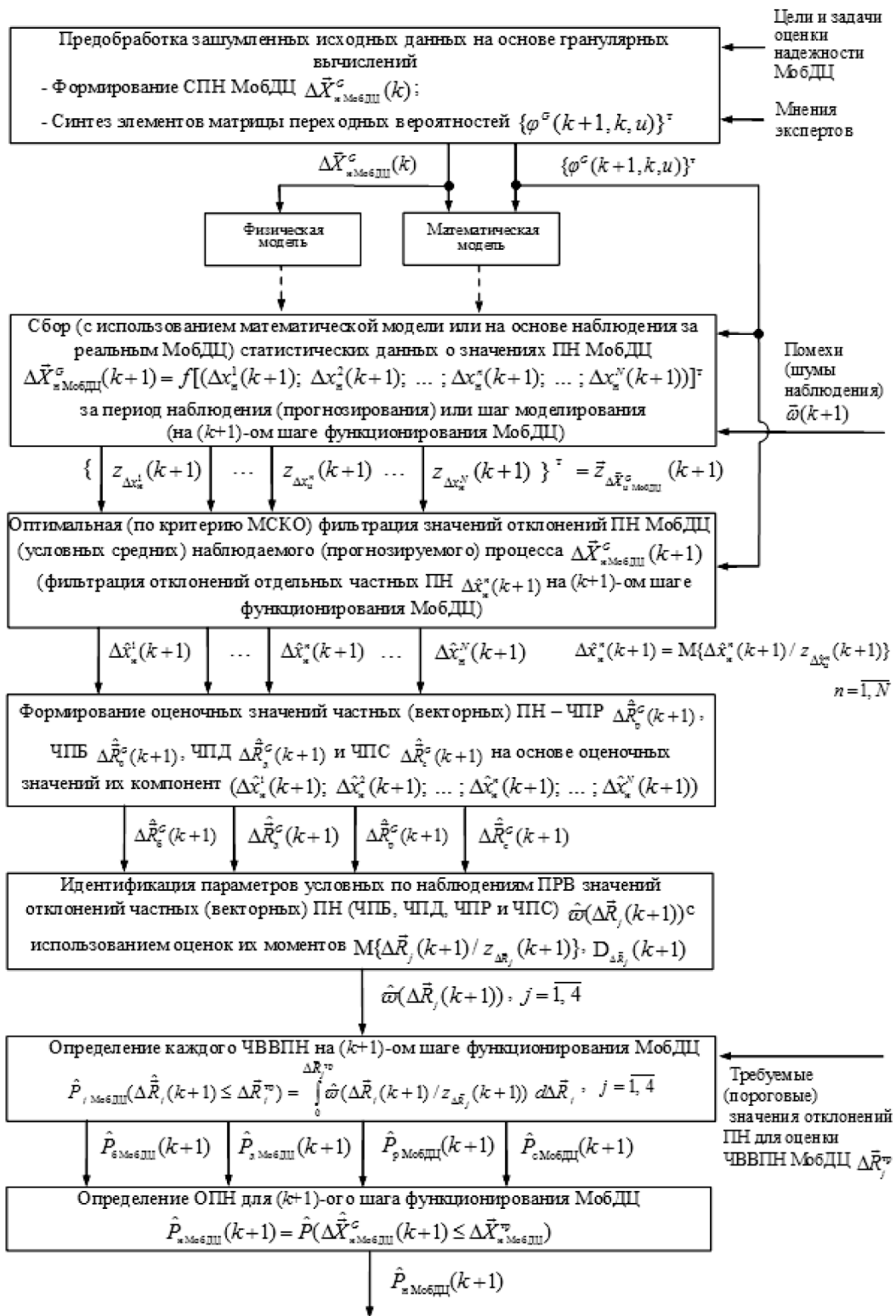


Рис. 1. Этапы оценки частных ПН, ЧПБ, ЧПД, ЧПР, ЧПС, ЧВВПН и ОПН МобДЦ

При этом процедура идентификации параметров условной по наблюдениям ПРВ значений показателей надежности с использованием текущих и прогнозных оценочных значений ЧВВПНБ, ЧВВПНд, ЧВВПНр и ЧВВПНс (выражения (6)–(9)) МобДЦ, позволяет сформулировать оценочные значения обобщенного показателя надежности (ОПН) в виде совместной условной вероятности выполнения требований к оценочным значениям отклонений показателей безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости в виде:

$$\begin{aligned} \hat{P}_{\text{н МобДЦ}}(k+1) &= \hat{P}(\Delta \hat{X}_{\text{н МобДЦ}}^G(k+1) \leq \Delta \bar{X}_{\text{н МобДЦ}}^{\text{тп}}) = \\ &= \hat{P}_{\text{б МобДЦ}}(k+1)[(\Delta \hat{R}_0^G(k+1) \leq \Delta \bar{R}_0^{\text{тп}}) / \\ &/ (\Delta \hat{R}_d^G(k+1) \leq \Delta \bar{R}_d^{\text{тп}}) \cap (\Delta \hat{R}_p^G(k+1) \leq \Delta \bar{R}_p^{\text{тп}}) \cap \\ &\cap (\Delta \hat{R}_c^G(k+1) \leq \Delta \bar{R}_c^{\text{тп}})] \times \hat{P}_{\text{д МобДЦ}}(k+1)[(\Delta \hat{R}_d^G(k+1) \leq \\ &\leq \Delta \bar{R}_d^{\text{тп}}) / (\Delta \hat{R}_p^G(k+1) \leq \Delta \bar{R}_p^{\text{тп}}) \cap \\ &\cap (\Delta \hat{R}_c^G(k+1) \leq \Delta \bar{R}_c^{\text{тп}})] \times \hat{P}_{\text{р МобДЦ}}(k+1)[(\Delta \hat{R}_p^G(k+1) \leq \Delta \bar{R}_p^{\text{тп}}) / \\ &/ (\Delta \hat{R}_c^G(k+1) \leq \Delta \bar{R}_c^{\text{тп}})] \times \hat{P}_{\text{с МобДЦ}}(k+1)[(\Delta \hat{R}_c^G(k+1) \leq \Delta \bar{R}_c^{\text{тп}})], \end{aligned} \quad (10)$$

где $\Delta \hat{R}_0^G(k+1)$, $\Delta \hat{R}_p^G(k+1)$, $\Delta \hat{R}_d^G(k+1)$, $\Delta \hat{R}_c^G(k+1)$, $\Delta \bar{R}_0^{\text{тп}}$, $\Delta \bar{R}_p^{\text{тп}}$, $\Delta \bar{R}_d^{\text{тп}}$ и $\Delta \bar{R}_c^{\text{тп}}$ – векторные оценки полученных с помощью гранулярных вычислений ЧПБ, ЧПР, ЧПД и ЧПС (в виде их отклонений от требований) на $(k+1)$ -ом шаге оценивания и требования к ним; $\hat{P}_{\text{б МобДЦ}}(k+1)[\circ/\circ]$, $\hat{P}_{\text{д МобДЦ}}(k+1)[\circ/\circ]$, $\hat{P}_{\text{р МобДЦ}}(k+1)[\circ/\circ]$ – оценочные значения условных вероятностей выполнения требований к отклонениям показателей безот-

казности, долговечности и ремонтпригодности на $(k+1)$ -ом шаге функционирования МобДЦ, определяемые при условии выполнения требований к отклонениям показателей сохраняемости МобДЦ; $\hat{P}_{\text{с МобДЦ}}(k+1)[\circ]$ – оценочные значения безусловной вероятности выполнения требований к отклонениям показателей сохраняемости на $(k+1)$ -ом шаге функционирования МобДЦ.

Так, например, с учетом рассмотренного в выражении (2) и полученного с помощью методов гранулярных вычислений состава вектора показателей ремонтпригодности $\Delta \bar{R}_p^G(k)$, оценочное значение условной вероятности выполнения требований к отклонениям показателей ремонтпригодности на $(k+1)$ -ом шаге функционирования МобДЦ, определяемое при условии выполнения требований к отклонениям показателей сохраняемости МобДЦ, может быть записано в виде:

$$\begin{aligned} \hat{P}_{\text{р МобДЦ}}(k+1) &= \hat{P}(\Delta \hat{R}_p^G(k+1) \leq \Delta \bar{R}_p^{\text{тп}}) = \\ &= \hat{P}_{\text{р МобДЦ}}(k+1)[(P(\Delta \hat{t}_{\text{врс}}^{\Delta}(k+1) \leq \Delta t_{\text{врс}}^{\Delta \text{тп}}) \cap P(\Delta \hat{K}_{\text{врс}}^{\Delta}(k+1) \leq \Delta K_{\text{врс}}^{\Delta \text{тп}}) \cap \\ &P(\Delta \hat{\lambda}_{\text{врс}}^{\Delta}(k+1) \leq \Delta \lambda_{\text{врс}}^{\Delta \text{тп}}) \cap P(\Delta \hat{\Omega}_{\text{врс}}^{\Delta}(k+1) \leq \Delta \Omega_{\text{врс}}^{\Delta \text{тп}}) / (\Delta \hat{R}_c^G(k+1) \leq \Delta \bar{R}_c^{\text{тп}})] \times \\ &\times \hat{P}_{\text{с МобДЦ}}(k+1)[(\Delta \hat{R}_c^G(k+1) \leq \Delta \bar{R}_c^{\text{тп}})], \end{aligned} \quad (11)$$

где $\Delta \hat{t}_{\text{врс}}^{\Delta}(k+1)$, $\Delta \hat{K}_{\text{врс}}^{\Delta}(k+1)$, $\Delta \hat{\lambda}_{\text{врс}}^{\Delta}(k+1)$, $\Delta \hat{\Omega}_{\text{врс}}^{\Delta}(k+1)$, $\Delta \bar{t}_{\text{врс}}^{\Delta \text{тп}}$, $\Delta \bar{K}_{\text{врс}}^{\Delta \text{тп}}$, $\Delta \bar{\lambda}_{\text{врс}}^{\Delta \text{тп}}$, $\Delta \bar{\Omega}_{\text{врс}}^{\Delta \text{тп}}$ – оценки отклонения от требуемых значений среднего времени восстановления работоспособного состояния элемента (устройства) МобДЦ или дата-центра в целом, отклонения коэффициента восстановления работоспособного состояния за отведенный промежуток времени, отклонения от требуемых значений интенсивности потока восстановления работоспособного состояния, отклонения от требуемых значений средней трудоемкости восстановления рабо-

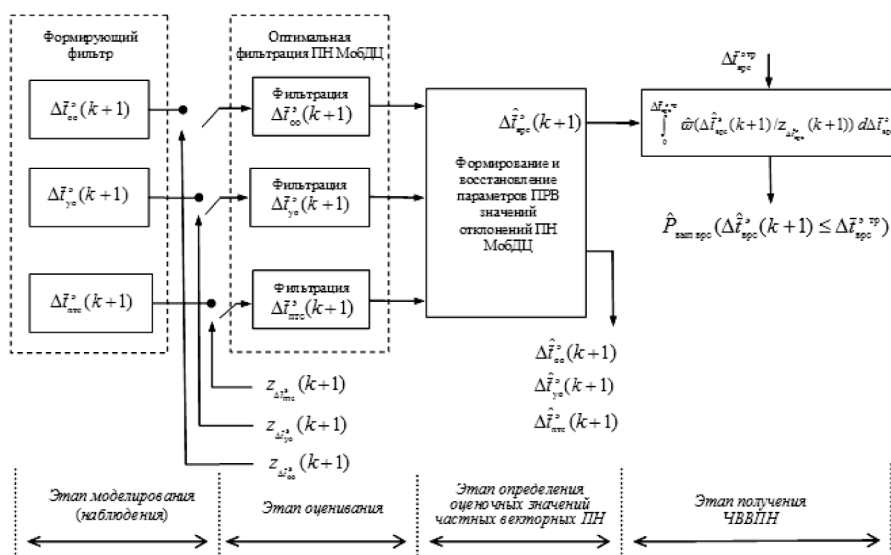


Рис. 2. Пример варианта структурной схемы одной из ветвей устройства, предлагаемого к применению для оценки надежности МобДЦ в условиях зашумленности исходных данных

тоспособного состояния элемента (устройства) МобДЦ или дата-центра в целом на $(k+1)$ -м шаге его функционирования и требования к ним. $\hat{P}_{р\text{ МобДЦ}}(k+1)[\circ/\circ]$ – оценочные значения совместной условной вероятности выполнения требований к отклонениям показателей ремонтпригодности на $(k+1)$ -м шаге функционирования МобДЦ, определяемые при условии выполнения требований к отклонениям показателей сохраняемости МобДЦ; $\hat{P}_{с\text{ МобДЦ}}(k+1)[\circ]$ – оценочные значения безусловной вероятности выполнения требований к отклонениям показателей сохраняемости на $(k+1)$ -м шаге функционирования МобДЦ.

На рис. 2 представлен пример варианта структурной схемы одной из ветвей устройства, предлагаемого к применению для оценки надежности МобДЦ в условиях зашумленности исходных данных, устраняемой с помощью методов гранулярных вычислений.

Предложенная схема призвана реализовать алгоритм текущей и прогнозной оценки одного из ПН МобДЦ, характеризующего аспект ремонтпригодности объекта такого класса и описывающего, например, отклонение от требуемых значений среднего времени восстановления работоспособного состояния элемента (устройства) МобДЦ на $(k+1)$ -м шаге его функционирования $\Delta\bar{t}_{врс}^3(k+1)$ который, по аналогии с типовым временем восстановления [6, 8, 9], является функцией следующих параметров:

$$\Delta\bar{t}_{врс}^3(k+1) = (\Delta t_{оо}^3(k+1) + \Delta t_{yo}^3(k+1) + \Delta t_{тнс}^3(k+1)), \quad (12)$$

где: $\Delta\bar{t}_{оо}^3(k+1)$ – отклонение от требуемых значений среднего времени на отыскание отказа элемента МобДЦ (определение его места), $\Delta\bar{t}_{yo}^3(k+1)$ – отклонение от требуемых значений среднего времени на устранение отказа элемента (замену отказавшего элемента, регулирование, при необходимости) $\Delta\bar{t}_{тнс}^3(k+1)$ – отклонение от требуемых значений среднего времени на проверку (контроль) технического состояния элемента и заключительную операцию контроля работоспособности оборудования дата-центра в целом (при необходимости) на $(k+1)$ -м шаге функционирования МобДЦ.

Рассматриваемое устройство состоит из формирующего фильтра (ФФ) параметров $\Delta\bar{t}_{оо}^3(k+1)$, $\Delta\bar{t}_{yo}^3(k+1)$ и $\Delta\bar{t}_{тнс}^3(k+1)$, моделирующих (образующих) ПН $\Delta\bar{t}_{врс}^3(k+1)$ оптимального фильтра этих параметров, образующих ПН $\Delta\bar{t}_{врс}^3(k+1)$, устройства формирования оценочных значений $\Delta\hat{t}_{врс}^3(k+1)$ (оценок ПН) и подстановки их в качестве условных средних в условную по наблюдениям ПРВ $\hat{\omega}(\Delta\bar{t}_{врс}^3(k+1)/z_{\Delta\bar{t}_{врс}^3}(k+1))$ значений ПН $\Delta\bar{t}_{врс}^3$ на $(k+1)$ -м шаге функционирования МобДЦ, а также устройства, реализующего процесс интегрирования (определения вероятностно-временной меры соответствия данного ПН МобДЦ предъявляемым требованиям):

$$\hat{P}_{вып\ врс}(\Delta\hat{t}_{врс}^3(k+1) \leq \Delta\bar{t}_{врс}^3\text{ TP}) = \int_0^{\Delta\bar{t}_{врс}^3\text{ TP}} \hat{\omega}(\Delta\hat{t}_{врс}^3(k+1) / z_{\Delta\bar{t}_{врс}^3}(k+1)) d\Delta\bar{t}_{врс}^3. \quad (13)$$

Определение оценочных значений параметров, образующих частный ПН МобДЦ, значений частного ПН $\Delta\bar{t}_{врс}^3(k+1)$ и частной вероятностной меры надежности (частной вероятностно-временной меры соответствия) $\hat{P}_{вып\ врс}(\Delta\hat{t}_{врс}^3(k+1) \leq \Delta\bar{t}_{врс}^3\text{ TP})$ на $(k+1)$ -м шаге функционирования МобДЦ происходит следующим образом. На этапе моделирования ФФ параметров, образующих ПН $\Delta\bar{t}_{врс}^3(k+1)$, вырабатывают реализации уравнения наблюдения за входящими в него частными параметрами надежности – $z_{\Delta\bar{t}_{оо}^3}(k+1)$ – отклонением от требуемых значений среднего времени на отыскание отказа элемента МобДЦ (определение его места), $z_{\Delta\bar{t}_{yo}^3}(k+1)$ – отклонением от требуемых значений среднего времени на устранение отказа элемента (замену отказавшего элемента, регулирование, при необходимости), затрачиваемого на обработку запроса, $z_{\Delta\bar{t}_{тнс}^3}(k+1)$ – отклонением от требуемых значений среднего времени на проверку (контроль) технического состояния элемента МобДЦ.

Результаты наблюдений за параметрами процессов смены состояний ПН МобДЦ, характеризующих процедуры отыскания отказа элемента $\Delta\bar{t}_{оо}^3(k+1)$, устранения отказа элемента $\Delta\bar{t}_{yo}^3(k+1)$ и проверки (контроля) технического состояния элемента после восстановления $\Delta\bar{t}_{тнс}^3(k+1)$ могут быть получены путем измерений (наблюдений), проводимых на реально функционирующем МобДЦ, который подвергается определенным испытаниям (например, в криокамере) либо путем прогнозного моделирования с помощью ФФ. Аппаратно-программным аналогом (прототипом) ФФ для моделирования процесса смены состояний ПН в условиях зашумленных исходных данных может выступать гранулярный вероятностный автомат, защищенный патентом РФ на изобретение [28].

На этапе оценки производится оптимальная фильтрация наблюдаемых параметров надежности МобДЦ. Результатом этого этапа являются оценочные значения параметров, характеризующих среднее время на процедуры отыскания отказа элемента $\Delta\hat{t}_{оо}^3(k+1)$, устранение отказа элемента $\Delta\hat{t}_{yo}^3(k+1)$ и проверки (контроля) технического состояния элемента после восстановления $\Delta\hat{t}_{тнс}^3(k+1)$ на $(k+1)$ -м шаге функционирования МобДЦ.

Этап определения значений оценок ПН МобДЦ заключается в определении на основе известных аналитических взаимосвязей между оцениваемыми параметрами $\Delta\hat{t}_{оо}^3(k+1)$, $\Delta\hat{t}_{yo}^3(k+1)$ и $\Delta\hat{t}_{тнс}^3(k+1)$, текущих и прогнозных (для $k+1$ -го шага функционирования МобДЦ) оценочных значений ПН $\Delta\hat{t}_{врс}^3(k+1)$ в соответствии с выражением:

$$\Delta\hat{t}_{врс}^3(k+1) = (\Delta\hat{t}_{оо}^3(k+1) + \Delta\hat{t}_{yo}^3(k+1) + \Delta\hat{t}_{тнс}^3(k+1)), \quad (14)$$

которые затем в качестве условного среднего используются в условной по наблюдениям ПРВ значений этого ПН $\hat{\omega}(\Delta \hat{t}_{\text{врс}}^{\circ}(k+1)/z_{\Delta \hat{t}_{\text{врс}}^{\circ}}(k+1))$. Вид ПРВ суммы величин $\Delta \hat{t}_{\text{оо}}^{\circ}(k+1)$, $\Delta \hat{t}_{\text{во}}^{\circ}(k+1)$ и $\Delta \hat{t}_{\text{тс}}^{\circ}(k+1)$ тоже является нормальным [29].

В дальнейшем условная по наблюдениям ПРВ $\hat{\omega}(\Delta \hat{t}_{\text{врс}}^{\circ}(k+1)/z_{\Delta \hat{t}_{\text{врс}}^{\circ}}(k+1))$ с числовыми характеристиками, полученными на основе оценочных значений ПН МобДЦ, используется на этапе определения вероятностно-временного частного ПН, например, $\hat{P}_{\text{вып врс}}(\Delta \hat{t}_{\text{врс}}^{\circ}(k+1) \leq \Delta \hat{t}_{\text{врс}}^{\circ \text{ TP}})$ – вероятности выполнения требований к отклонениям среднего времени восстановления работоспособного состояния на $(k+1)$ -ом шаге функционирования МобДЦ путем интегрирования ее по пороговым значениям этого ПН (13) для нахождения меры надежности – пошаговой вероятностной меры соответствия данного частного ПН $\Delta \hat{t}_{\text{врс}}^{\circ}(k+1)$ предъявляемым к нему требованиям на $(k+1)$ -ом шаге функционирования МобДЦ.

Текущие и прогнозные значения частных ПН в виде вероятностной меры соответствия требованиям в дальнейшем путем свертки с использованием аппарата условных вероятностей (10) образуют пошаговые оценочные значения ОПН МобДЦ (см. последний блок на рис. 1).

Важным элементом процедур оценки надежности МобДЦ в условиях зашумленности исходных данных, устраняемой с помощью методов гранулярных вычислений, является определение пороговых значений (допусков) параметров и показателей надежности. Чаще это касается именно ПН МобДЦ, поскольку количество параметров безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости в системах, подобных МобДЦ, составляет десятки и сотни единиц (т. е. оценивание меры соответствия параметров надежности своим допуском требует огромных вычислительных затрат). Помимо этого, применение ПН МобДЦ позволяет проводить сравнительное оценивание систем их технического обслуживания и ремонта, поскольку одинаковые ПН МобДЦ систем могут выступать функциями различных параметров надежности. Исходя из этого, в работах [30–32] предложен подход к обоснованию пороговых значений показателей качества и надежности сложных систем, основанный на том, что известны требования, предъявляемые пользователем к внешним свойствам системы, в частности, требования по надежности, задаваемые суперсистемой. Опираясь на эти требования и используя выражения, аналитически связывающие компоненты глобальной системы ПН и локальных систем ПН (т. е. зная взаимосвязь внутренних аспектов надежности МобДЦ – безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости), применяя достаточно строгие математические методы факторизации, функциональной и параметрической декомпозиции требований к обобщенным показателям качества и надежности, в работе [32]

предложен общий алгоритм обоснования пороговых значений частных показателей качества и надежности сложных систем в виде абсолютных значений. В соответствии с принятой в работе [32] иерархией глобальной системы показателей качества и надежности и делением ее на локальные системы показателей качества и надежности, алгоритм основан на выполнении итеративной многоэтапной процедуры, включающей этапы определения пороговых значений показателей качества и надежности сложных систем такого класса.

Данный алгоритм вполне применим для обоснования пороговых значений ПН сложного и управляемого МобДЦ с учетом иерархии системы ПН и делением ее на глобальную систему ПН, характеризующую внешние аспекты надежности (уровень технической надежности, требуемый пользователю, заказчику МобДЦ) и локальные системы показателей безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости, причем рассматриваемые для различных отдельных инфраструктур МобДЦ: программной, вычислительной (серверной), хранения данных, телекоммуникационной и инженерной [4].

Зная числовые требования к абсолютным значениям ПН МобДЦ и требуемую вероятность их достижения, нетрудно определить требования к отклонениям этих показателей от допустимых значений.

Заключение

Таким образом, исследованы теоретическая возможность и перспективы практического применения методов гранулярных вычислений для устранения зашумленности исходных данных в рамках единой методики оценки надежности мобильных дата-центров, а также возможности и перспективы использования для подобных задач традиционных, но модифицированных с учетом результатов предварительного информационного гранулирования, математических моделей на основе дискретной цепи Маркова в сочетании с алгоритмами фильтрации (экстраполяции) Калмана.

Предложены и обоснованы физическая и математическая сущность и содержание этапов методики оценки частных и обобщенного вероятностно-временных показателей надежности мобильных дата-центров в условиях априорной зашумленности исходных данных, устраняемой с использованием методов гранулярных вычислений.

Практическое применение предложенной методики позволит повысить достоверность проактивной оценки показателей, характеризующих различные аспекты безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости мобильных дата-центров, создавая тем самым предпосылки для повышения качества процесса контроля и регулирования общей технической надежности систем такого класса.

Литература

1. ГОСТ Р 27.013-2019. Надежность в технике. Методы оценки показателей безотказности. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 42 с.
2. Kotenko, I. V. Formation of Indicators for Assessing Technical Reliability of Information Security Systems / I.V. Kotenko, I.B. Parashchuk // 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – Sochi, 9-16 September 2018 / IEEE Xplore Digital Library (2018). – Vol. 8501650. – P. 1–6.
3. Kolowrocki, K. Reliability of Large and Complex System / K. Kolowrocki. – Amsterdam : Elsevier, 2014. – 460 p.
4. Михайличенко, А. В. Синтез системы показателей надежности мобильных центров обработки данных с использованием методов гранулярных вычислений / А.В. Михайличенко, И.Б. Паращук, С.А. Ясинский // Информация и Космос. – 2022. – № 1. – С. 45–52.
5. Myers, A. Complex System Reliability / A. Myers. – Luxembourg : Springer Science & Business Media, 2010. – 238 p.
6. Андреев, А. В. Теоретические основы надежности технических систем / А.В. Андреев, В.В. Яковлев, Т.Ю. Короткая. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2018. – 164 с.
7. Balagurusamy, E. Reliability Engineering / E. Balagurusamy. – Noida : McGraw Hill, 2003. – 300 p.
8. Сугак, Е. В. Теоретические основы надежности технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса / Е.В. Сугак. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2013. – 370 с.
9. Диагностика и надежность автоматизированных систем / И.Н. Белоглазов, А.Н. Кривцов, Б.Н. Куценко, О.В. Сулова. – Москва : ФГУП «Издательский дом «Руда и металлы», 2004. – 167 с.
10. Fazlollahtabar, H. Reliability Models of Coplex System for Robots and Automation / H. Fazlollahtabar, S.T. Niaki. – Boca Raton : CRC Press., 2017. – 93 p.
11. Elsayed, E. A. Reliability engineering / E.A. Elsayed. – New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2012. – 792 p.
12. Billinton, R. Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques / R. Billinton, R.N. Allan. – New York : Springer Science + Business Media, 1983. – 346 p.
13. Баженов, Ю. В. Основы теории надежности машин / Ю.В. Баженов. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. – 160 с.
14. Rausand, M. System Reliability Theory: Models, Statistical Methods and Applications / M. Rausand, A. Nshyland. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2004. – 636 p.
15. Шкляр, В. Н. Надежность систем управления : учебное пособие / В.Н. Шкляр. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 126 с.
16. Shooman, M. L. Reliability of Computer Systems and Networks: Fault Tolerance, Analysis, and Design / M.L. Shooman. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2002. – 528 p.
17. Trivedi, K. S. Probability and Statistics with Reliability, Queuing and Computer Science Applications : Edition 2 / K.S. Trivedi. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2016. – 880 p.
18. Стаут, М. Обеспечение целостности данных в зашумленных средах / М. Стаут // Электронные компоненты. – 2012. – № 3. – С. 109–110.
19. Малыгина, Г. Ф. Робастные методы для разделения смеси сигналов и анализа независимых компонент при зашумленных данных / Г.Ф. Малыгина, А.В. Меркушева // Научное приборостроение. – 2011. – Т. 21, № 1. – С. 114–127.
20. Паращук, И. Б. Анализ зашумленных и неоднородных данных о значениях параметров надежности дата-центров / И.Б. Паращук, А.В. Михайличенко, Е.С. Крюкова // Современные технологии: актуальные вопросы теории и практики : сборник статей Международной научно-практической конференции. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2021. – С. 74–77.
21. Кумков, С. И. Обработка зашумленных экспериментальных данных с помощью методов интервального анализа / С.И. Кумков // Материалы XII Всероссийской молодежной школы-семинара по проблемам физики конденсированного состояния вещества (Екатеринбург, 14 ноября 2011 г. – 20 ноября 2011 г. – Екатеринбург : Институт физики металлов УрО РАН, 2011. – С. 3–39.
22. Бутакова, М. А. Гранулярные вычисления как метод обработки нечеткой информации / М.А. Бутакова, О.В. Иванченко // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 4. – С. 9–12.
23. Паращук, И. Б. Нейро-нечеткие сети и алгоритмы гранулярных вычислений в задачах интеллектуальной обработки данных для оценки надежности мобильных дата-центров / И.Б. Паращук, Н.В. Михайличенко, А.В. Михайличенко // Применение искусственного интеллекта в информационно-телекоммуникационных системах : сборник материалов научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 31 марта 2021 г.). – Санкт-Петербург : ВАС, 2021. – С. 110–115.
24. Bargiela, A. Granular Computing. An Introduction / A. Bargiela, W. Pedrycz. – New York : Springer, 2003. – 452 p.
25. Pedrycz, W. Handbook of Granular Computing / W. Pedrycz, A. Skowron, V. Kreinovich. – New York : John Wiley & Sons, Ltd, 2008. – 1148 p.
26. Михайличенко, А. В. Модель процесса смены состояний показателей надежности и информационной безопасности мобильных центров обработки данных / А.В. Михайличенко // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2022. – № 7–8 (169–170). – С. 85–93.
27. Ясинский, С. А. Решение задач линейной и нелинейной фильтрации при реализации процедур интервальной оценки качества электронных библиотек / С.А. Ясинский, И.Б. Паращук, Е.С. Крюкова // Информация и Космос. – 2021. – № 1. – С. 49–54.
28. Патент RU 2777531 С1. Вероятностный автомат : № 2021128948 : заявл. 04.10.2021 : опубл. 05.08.2022 / И.Б.Паращук, А.В.Михайличенко, Н.В.Михайличенко, Е.С.Крюкова; патентообладатель ФГКВОУ ВО «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного».
29. Тихонов, В. И. Нелинейная фильтрация и квазикогерентный прием сигналов / В.И. Тихонов, Н.К. Кульман. – Москва : Советское радио, 1975. – 703 с.

30. Терентьев, В. М. Теоретические основы управления сетями многоканальной радиосвязи / В.М. Терентьев, И.Б. Паращук. – Санкт-Петербург : ВАС, 1995. – 195 с.

31. Петухов, Г. Б. Теоретические основы и методы исследования эффективности операционных целенаправленных процессов / Г.Б. Петухов. – Москва : МО СССР, 1979. – 176 с.

32. Терентьев, В. М. Анализ эффективности функционирования автоматизированных сетей многоканальной радиосвязи / В.М. Терентьев, Ю.В. Санин. – Санкт-Петербург : ВАС, 1992. – 80 с.