

ПОЛУМАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ КОРПОРАТИВНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ С МЕХАНИЗМОМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Е.Н. Надеждин, М.В. Иванченко

В последние годы при создании распределенных информационно-вычислительных сетей, ориентированных на поддержку функционирования интегрированных организационных структур управления, повышенное внимание уделяется вопросам обеспечения живучести.

Следуя рекомендациям работ [2; 3], *живучесть* определим как свойство автоматизированной системы, заключающееся в ее способности восстанавливать свой функционал и поддерживать значения основных эксплуатационных показателей в допустимых диапазонах при непредусмотренных регламентом нормальной работы неблагоприятных воздействиях внешней среды посредством использования специальных механизмов адаптации и рационального перераспределения имеющихся ресурсов.

В качестве объекта исследования будем рассматривать специализированную корпоративную вычислительную сеть (КВС) из класса информационных систем открытого типа, которая характеризуется структурой E , поведением R , целью функционирования W и типом управления U . В интересах устойчивого функционирования КВС в режиме коллективного пользования ее аппаратно-программный комплекс оснащается интеллектуальным механизмом обеспечения живучести (МОЖ) [4]. На МОЖ возлагаются следующие функции: обнаружение фактов деструктивных воздействий; идентификация и локализация отказов оборудования и/или программного обеспечения; оценка возможных последствий нарушения работоспособности; выбор и реализация рационального алгоритма восста-

новления системы при минимальном затратах времени, вычислительных и административных ресурсов.

Выделим две группы задач МОЖ КВС: а) задачу функционального диагностирования сегментов сети; б) задачу восстановления работоспособности поврежденного сегмента на основе реконфигурации сетевого оборудования, регенерации программного обеспечения и динамического перераспределения сетевых ресурсов.

Для поддержки процедур проектирования и оценки эффективности функционирования компонентов МОЖ требуется разработка операционных моделей, адекватно отображающих информационно-вычислительный процесс в КВС с учетом воздействия комплекса дестабилизирующих факторов различной физической природы.

Для удобства формализации воспользуемся аналогией изучаемой системы с системой функционального диагностирования (ФД) радиотехнической системы [3]. Под объектом диагностирования (ОД) будем понимать поврежденный сегмент КВС, а основными компонентами МОЖ будем считать средство диагностирования (СД) и механизм восстановления работоспособности (МВР).

Рассмотрим модель динамической системы «сегмент КВС – средство диагностирования – механизм восстановления работоспособности» («КВС-СД-МВР»). Выделим несколько состояний введенной динамической системы (ДС) «КВС-СД-МВР»:

а) *исправное* – состояние ОД, в котором он соответствует требованиям нормативно-технической документации с заданной вероятностью P_d ;

б) *неисправное* – состояние ОД, в котором он не соответствует хотя бы одному требованию нормативно-технической документации.

Для определенности описания примем условие, что переход ОД из исправного состояния в неисправное состояние эквивалентен отказу аппаратуры и/или программного обеспечения (ПО). Отказы, следствием которых является неисправное состояние ОД, будем разделять на две

подгруппы, составляющие полную группу событий:

- явный отказ с вероятностью G_1 , который обнаруживается визуально или штатными методами ФД в процессе эксплуатации;

- скрытый отказ с вероятностью G_2 – отказ, который не обнаруживается визуально или штатными средствами диагностирования, но выявляется в процессе мониторинга компонентов АПК или специальными методами функционального диагностирования.

Средство диагностирования имеет следующие состояния:

а) *исправно* – выдает информацию о функциональном состоянии ОД, соответствующую его действительному состоянию, с вероятностью ρ ;

б) *неисправно* по причине самоустраняющегося отказа (сбоя) - выдает информацию о функциональном состоянии ОД, не соответствующую его реальному состоянию; при этом будем различать: ошибку первого рода (вероятность α) – браковка исправного ОД; ошибку второго рода (вероятность β) – пропуск отказа при его наличии;

в) *неисправно* по причине отказа - не выдает информацию только о собственном функциональном состоянии с вероятностью γ .

Отметим, что очевидным является тождество: $\rho + \alpha + \beta + \gamma = 1$.

Для совместного описания состояний и событий ОД и СД на отрезке времени $t \in [t_0, t_N]$ примем следующие допущения.

1. Контроль является полным, т. е. любой отказ обнаруживается с помощью исправного СД.

2. Функциональный отказ устраняется по мере обнаружения; время восстановления функций АПК подчиняется экспоненциальному закону распределения вероятностей с известными параметрами: λ_1 - интенсивность восстановления работоспособности ОД; λ_2 – интенсивность восстановления работоспособности СД; λ_3 – интенсивность устранения сбоя СД.

3. Обнаружение отказа в ОД происходит по мере его возникновения при скрытом отказе после осуществления проверки с помощью СД при условии

исправности СД и по мере его возникновения при явном отказе.

4. ОД и СД одновременно не работают; СД активизируется при неработающем ОД в случаях: а) при исправном ОД для осуществления проверок при регламентных работах и техническом обслуживании; б) при скрытом отказе ОД для поиска отказавшего элемента.

5. ОД и СД одновременно не восстанавливаются; если неисправны одновременно ОД и СД, то сначала восстанавливается СД, а затем ОД.

6. Вероятность возникновения отказа или сбоя двух каналов СД при восстановлении ОД пренебрежительно мала.

С учетом описанных состояний и событий ОД и СД и принятых допущений, рассматриваемая система «КВС-СД-МВР» может находиться в одном из состояний $S_i(t)$, $i = \overline{1,7}$ (табл. 1). Переход ДС из состояния S_i в состояние S_j осуществляется с интенсивностью λ_{ij} .

На рис.1 показан граф возможных переходов динамической системы. При этом номера вершин соответствуют состояниям системы. Для формализации процесса функционирования системы ОД-СД в соответствии с указанным графом состояний необходимо составить уравнения Колмогорова для вероятностей состояний.

Введем допущения при описании ДС «КВС-СД-МВР».

1. Функционирование ДС рассматривается на конечном отрезке времени $t \in [t_0, t_N]$;

2. Характеристики измерительных элементов СД остаются стабильными (при сохранении режима работы) $\forall t \in (t_0, t_N]$;

3. Весь временной интервал функционирования аппаратуры разбивается на N неперекрывающихся интервалов $T : T_1 \cup T_2 \cup \dots \cup T_N$, в пределах каждого из которых будут справедливы допущения о стационарности и нормальности контролируемого процесса (диагностического сигнала) $\pi(t)$.

4. Восстановление компонентов АПК начинается в момент пересечения выборочной функцией процесса $\pi(t)$ уровней D_1 и D_2 ($D_1 < D_2$),

соответствующих максимально допустимой ошибке. Обслуживание заявок на адаптацию и восстановление работоспособности завершается в момент вхождения траектории процесса $\pi(t)$ в допустимые пределы (D_1, D_2) .

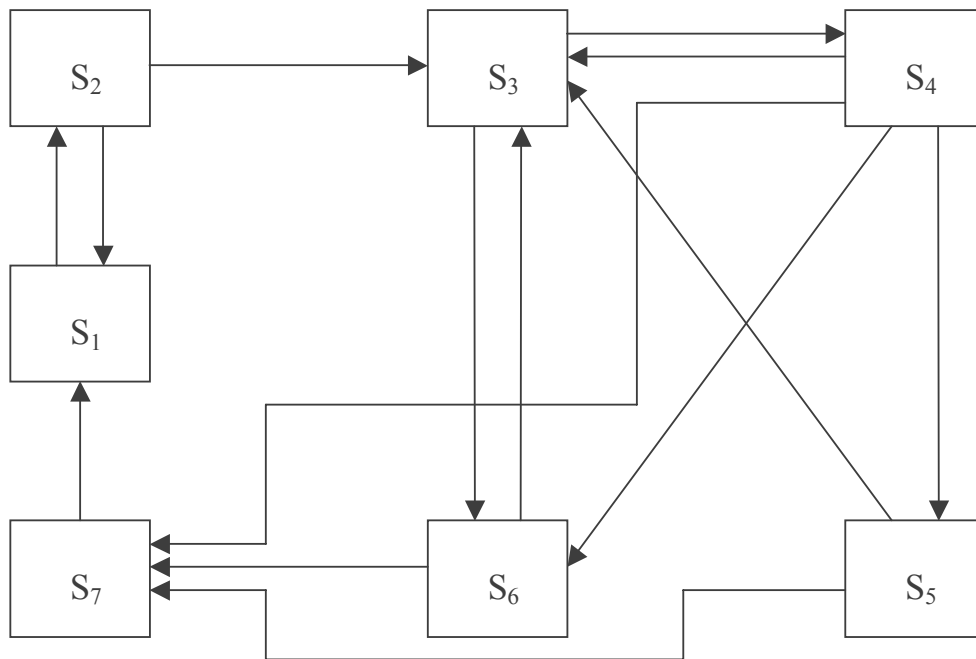


Рис. 1. Размеченный граф состояний ДС «ОД-СД-СВР»

5. После нарушения (срыва) работы (состояние S_7) осуществляется вывод ОД в режим контроля состояния и ФД с отключением.

6. Время адаптации считается случайной величиной с экспоненциальным законом распределения времени $q(\mu) = \mu \cdot \exp(-\mu \cdot t)$;

7. Выполнена кусочно-линейная аппроксимация значений $\lambda_{4,5}$, $\lambda_{4,6}$ и $\lambda_{4,7}$ мгновенной интенсивности параметрических отказов как функции времени для каждого временного участка

$$а) \lambda_{4,5} = \varphi_1(t), \quad \lambda_{4,6} = \varphi_2(t), \quad \lambda_{4,7} = \varphi_3(t).$$

8. На этапах восстановления режима работы (состояние S_1) и выхода АПК на режим нормальной нагрузки (состояние S_2) возмущения не действуют.

Таблица 1

Характеристика состояний модели системы «ОД-СД-СВР»

№ п/п	Состояние S_i	Характеристика состояния
1	S_1	ОД исправен и готов к работе; СД исправно; задающие воздействия (заявки на обслуживание) и возмущения отсутствуют.
2	S_2	ОД исправен, на вход поступили задающие воздействия, осуществляется выход в номинальный режим работы; СД исправно.
3	S_3	ОД работает в номинальном режиме; СД исправно; СВР и контур регулирования отключены.
4	S_4	Имеют место отклонения в параметрах ОД; контролируемые параметры находятся в рамках допусковой зоны; ОД работоспособен; СД исправно; СВР активно.
5	S_5	ОД частично неисправен – кратковременный сбой; СД исправно и выполняет функции контроля; активно и работает СВР, осуществляется настройка аппаратуры и ПО.
6	S_6	ОД исправен; СД частично неисправно – отказ одного из каналов функционального контроля; осуществляется самонастройка СД.
7	S_7	ОД неисправен – ОТКаз; СД – отказ двух каналов; активно и работает СВР.

Требуется с учетом принятых допущений и введенных обозначений построить математическую модель процесса функционирования системы «ОД-СД-СВР» в условиях параметрических отказов. В качестве критерия работоспособности исследуемой системы будем рассматривать

вероятность $P_{yc}(t)$ устойчивого функционирования (с учетом эффекта адаптации). Указанную вероятность запишем в виде суммы

$$P_{yc}(t) = \sum_{i=3}^5 P_i(t) \forall t \in [t_0, t_N]. \quad (1)$$

Фазовое пространство объекта исследования включает семь состояний $S_i(t), i = \overline{1,7}$. При сделанных предположениях относительно законов распределения случайных потоков событий процесс смены состояний объекта образует на заданном временном участке не однородный по времени Марковский случайный процесс.

Эволюция динамической системы «ОД-СД-СВР» описывается системой линейных дифференциальных уравнений первого порядка, составленных в соответствии с рекомендациями работы [1]:

$$\begin{cases} \dot{P}_1(t) = \mu \cdot P_7 + \lambda_{21} P_2 - \lambda_{12} P_1; \\ \dot{P}_2(t) = \lambda_{12} P_1 - (\lambda_{21} + \lambda_{23}) P_2; \\ \dot{P}_3(t) = \lambda_{43} P_4 + \lambda_{23} P_2 - \lambda_{34} P_3 - \lambda_{36} P_3 + \lambda_{63} P_6 + \lambda_{53} P_5; \\ \dot{P}_4(t) = \lambda_{34} P_3 - (\lambda_{43} + \lambda_{45} + \lambda_{46} + \lambda_{47}) P_4; \\ \dot{P}_5(t) = \lambda_{45} P_4 - (\lambda_{53} + \lambda_{57}) P_5; \\ \dot{P}_6(t) = \lambda_{46} P_4 + \lambda_{36} P_3 - (\lambda_{63} + \lambda_{67}) P_6; \\ \dot{P}_7(t) = \lambda_{47} P_4 + \lambda_{67} P_6 + \lambda_{57} P_5 - \mu \cdot P_7. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь $P_i(t)$ – вероятность нахождения ДС в текущий момент времени t в состоянии S_i . Начальные условия для момента времени $t_0 = 0$ зададим в виде: $P_1(t_0) = 1; P_i(t_0) = 0 \forall i = 2, \dots, 7$. В качестве контрольного соотношения для оценки верности решения системы уравнений в контрольных точках временного полуинтервала будем использовать выражение

$$\sum_{i=1}^{n=7} P_i(t) = 1 \quad \forall t \in (t_0, t_N].$$

Система дифференциальных уравнений (2) представляет собой приближенную (линейную) модель эволюции состояний системы «ОД-СД-СВР» в условиях действия внутренних и внешних возмущений. Модель

реализована в виде неоднородной цепи Маркова и может быть решена численным методом.

Отметим, что множество интенсивностей $\Lambda_1 = (\lambda_{4,5}; \lambda_{4,6}; \lambda_{4,7}; \lambda_{5,7}; \lambda_{6,7})$ характеризует стратегию использования некоторым фиктивным злоумышленником набора возмущений, которые имеют цель - нарушить процесс нормального функционирования АПК. Множество же интенсивностей переходов $\Lambda_2 = (\lambda_{4,3}; \lambda_{5,3}; \lambda_{6,3}; \mu)$, напротив, характеризует компенсационные возможности рассматриваемой системы «ОД-СД-СВР».

В процессе вычислительного эксперимента установлено, что значения вероятностей P_3 и P_4 , которые являются доминирующими составляющими вероятности устойчивой работы, стабилизируются к моменту времени $t \geq t^*$ [2]. Вероятность срыва работы (отказа) $P_{cp} \equiv P_7(t)$ монотонно возрастает, хотя и остается пренебрежительно малой по отношению к вероятности устойчивой работы $P_{yc}(t)$.

Разработанная математическая модель преимущественно ориентирована на задачу анализа динамики выделенных функциональных состояний системы «ОД-СД-СВР» и оценку устойчивости функционирования АПК в условиях воздействия дестабилизирующих факторов. Реализация математической модели выполнена в интегрированной вычислительной среде Mathcad на основе применения стандартных инструментальных средств численного интегрирования. Из результатов вычислительного эксперимента установлено, что синтезированная полумарковская модель с достаточной точностью отражает реальный процесс функционирования АПК, оснащенного встроенным механизмом восстановления работоспособности.

Предложенный подход может быть использован для прогностической оценки показателей живучести КВС и обоснования требований к базовым компонентам МОЖ.

Литература

1. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Академия, 2007. 464 с.

2. Мясников В.А., Мельников Ю.Н., Абросимов Л.И. Методы автоматизированного проектирования систем телеобработки данных: учеб. пособие. М.: Энергоатомиздат, 1992. 288 с.

3. Надеждин Е.Н., Ляхович А.А. Сетевая модель задачи управления процессом эксплуатации сложного технического объекта / Тульский артиллерийский инженерный институт. -Тула, 2006.- 12 с.: 4 ил. - Библиогр.: 8 назв.- Рус.- Деп. в ВИНТИ 24.11.2006 г. № 1458- В 2006. Указатель № 1. - 2007.

4. Надеждин Е.Н., Пракопович Л.И. Анализ живучести автоматизированной системы управления с распределенной обработкой данных // Сборник тезисов докладов 6-й научно-технической конференции. Пенза: Пензенский артил. инж. институт, 2008. С. 67-68.