

## Раздел IV. Информационные технологии, прикладные информационные системы и сети

УДК 621.391.816

В.Ф. Гузик, А.П. Самойленко, С.А. Панычев

### КОМПЛЕКСНЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

*Рассматривается эффективное бесперебойное функционирование телекоммуникационных сетей автоматическими серверами контроля и диагностирования. Комплексный критерий оценки качества функционирования телекоммуникационной сети должен учитывать показатели, характеризующие безотказность, контролепригодность и ремонтпригодность как самой телекоммуникационной сети, так и технических средств её диагностирования, а также показатели, характеризующие организационную сторону диагностирования. Предложен комплексный критерий оценки качества функционирования телекоммуникационной сети в виде коэффициента готовности, который выработан в предположении, что сервер контроля и диагностирования абсолютно надежен и может принимать конечное число состояний. Входной и выходной информационные потоки, а также поток отказов можно считать простейшими. На основе разработанной модели получены следующие выводы: начиная с  $\mu_{\phi} = \sup \mu_{\phi}$ , при  $K_{\Gamma}^C = K_{\Gamma}^C_{\text{ЗАДАН}}$  дальнейшее повышение быстродействия системы контроля нецелесообразно, так как затраты на повышение коэффициента готовности будут несоизмеримы с величиной его ранга; по заданным коэффициентам загрузки и готовности можно выбрать соответствующее быстродействие системы контроля и диагностирования.*

*Телекоммуникационная сеть; оценка качества; коэффициент готовности; надежность; система массового обслуживания.*

V.Ph. Guzik, A.P. Samoylenko, S.A. Panychev

### COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE QUALITY THE FUNCTIONING OF THE TELECOMMUNICATIONS NETWORK

*Effective smooth operation of telecommunication networks by the automatic control systems and diagnostics is provided. Comprehensive quality functioning assessment of the telecommunications network should take into account the indicators of reliability, testability and maintainability of both the telecommunications network and technical means of diagnosis, as well as indicators of the organizational aspect of diagnosis. A comprehensive quality functioning assessment of the telecommunications network in the form of availability is introduced, which expressed the need in the assumption that the server monitoring and diagnosing are absolutely reliable and can take a finite number of states. The input and output information flows, and the failure rate can be considered the simplest. Based on the developed model, the following conclusions are obtained: since  $\mu_{\phi} = \sup \mu_{\phi}$  when  $K_{\Gamma}^C = K_{\Gamma}^C_{\text{ЗАДАН}}$  a further increase in the speed control system is impractical because of the cost increase availability will be commensurate with the magnitude of his rank; on the specified load factors and availability, you can choose the appropriate system performance of monitoring and diagnosis.*

*Telecommunication network; evaluation of the quality; availability; reliability; queueing system.*

Эффективное бесперебойное функционирование телекоммуникационных сетей (ТКС) обеспечивается автоматическими серверами контроля и диагностирования (СКД). Комплексный критерий оценки качества функционирования ТКС должен учитывать показатели, характеризующие безотказность, контролепригодность и ремонтпригодность как самой телекоммуникационной сети, так и технических средств её диагностирования, а также показатели, характеризующие организационную сторону диагностирования. Анализ процесса взаимодействия ТКС и СКД при контроле и диагностировании позволяет обоснованно, исходя из выбранного критерия организации системы диагностирования, сформулировать требования к СКД с учетом специфики использования и эксплуатации ТКС [1–10].

Вырабатывая комплексный критерий оценки качества функционирования ТКС, полагаем, что СКД абсолютно надежен, и модель системы «ТКС – встроенный функциональный СКД» может принимать конечное число состояний. Входной информационный поток для ТКС, как системы массового обслуживания, с достаточной инженерной точностью можно считать простейшим с  $k$ -й степенью неординарности ( $k=1, 2$ ). Поток отказов ТКС также является простейшим.

Функциональный СКД ТКС может быть представлен системой массового обслуживания, входным потоком для которого является простейший поток отказов ТКС. Состояния СКД ТКС и его функционирование в дискретные моменты времени могут быть описаны логическими схемами:

$$S_1 \xrightarrow{U_{Pi}} S'_1 \xrightarrow{T_1} S_2 \xrightarrow{U_{Pi}} S'_2 \xrightarrow{T_2} S_1; \quad S_1 \xrightarrow{U_{Pi}} S'_1 \xrightarrow{T_2} S'_2 \xrightarrow{T_2} S_1; \quad S_1 \xrightarrow{K_1^i} S'_1 \xrightarrow{K_2^i} S_2 \xrightarrow{K_2^i} S_1; \quad K_i \in \overline{UPI}; \quad i = \overline{1, n},$$

где  $S_1$  – дежурное состояние системы;  $S_2$  – рабочее состояние системы;  $S'_1, S'_2$  – состояния переключения системы;  $U_{Pi}$  – число управляющих программ, каждая из которых, соответственно, состоит из команд  $K_1^i, \dots, K_m^i$ ,  $i = \overline{1, m}$ ;  $T_i$  – время выполнения соответствующей программы  $i = \overline{1, m}$ .

Таким образом, при анализе комплексного критерия качества функционирования необходимо рассматривать две подсистемы массового обслуживания: 1) телекоммуникационная сеть и 2) функциональный сервер контроля и диагностирования её работоспособности. Для описания комплекса «ТКС – встроенный функциональный СКД» может быть применена модель марковского процесса с дискретными состояниями и непрерывным временем.

Поставим задачу: определить для любого времени  $t$  комплексный критерий оценки качества функционирования ТКС в виде коэффициента готовности, который в общем случае является функционалом времени и интенсивностей потоков заявок, обслуживания, отказов и восстановлений.

Оптимальная модель функционирования «ТКС – встроенный функциональный СКД» представляется в виде вероятностного графа, представленного на рис. 1.

Вершины графа соответствуют состояниям системы:  $S_1$  – система исправна и находится в дежурном режиме;  $S_2$  – система исправна и находится в рабочем режиме;  $S_3$  – система неисправна и находится в дежурном режиме;  $S_4$  – система неисправна и находится в рабочем режиме. Дуги соответствуют интенсивностям переходов:  $\lambda_p$  – интенсивность поступления заявок (интенсивность информационного потока ТКС);  $\mu_p$  – интенсивность обслуживания заявок (информационного потока);  $\lambda_0$  – интенсивность отказов в дежурном режиме;  $\lambda_\phi$  – интенсивность отказов в рабочем режиме;  $\mu_\psi$  – интенсивность восстановления системы. Каждое состояние системы «ТКС – встроенный функциональный СКД» оценивается соответствующей вероятностью пребывания ТКС в том или ином состоянии  $P(S_1), P(S_2), \dots, P(S_\ell)$ , где  $\ell$  – число состояний системы, образующих полную группу событий.

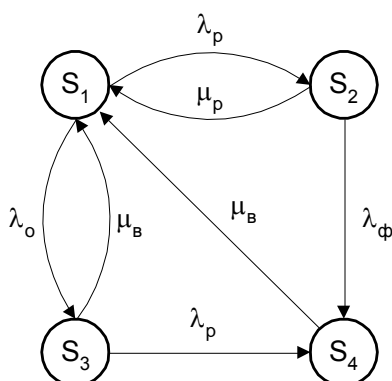


Рис. 1. Вероятностный граф модели «ТКС – встроенная СКД»

Вероятностный граф, описывающий состояние контролируемой ТКС, позволяет отразить этот процесс системой дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена:

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_1(t)}{dt} &= -(\lambda_p + \lambda_0)P_1(t) + \mu_p P_2(t) + \lambda_\phi (P_3(t) + P_4(t)); \\
 \frac{dP_2(t)}{dt} &= -(\lambda_p + \mu_p)P_2(t) + \lambda_p P_1(t); \\
 \frac{dP_3(t)}{dt} &= -(\lambda_p + \lambda_\phi)P_3(t) + \lambda_0 P_1(t); \\
 \frac{dP_4(t)}{dt} &= -\lambda_\phi P_4(t) + \mu_\phi P_2(t) + \lambda_p P_3(t).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Будем считать, что при переходе из состояния  $S_1$  в состояние  $S_2$  имеет место физический отказ, а при переходе из состояния  $S_3$  в состояние  $S_4$  – функциональный. Решение системы уравнений (1) произведем в стационарном и нестационарном режимах и определим верхнюю границу быстродействия СКД, а также оценим зависимость быстродействия от изменения параметров функционирования ТКС.

Стационарный режим характерен тем, что  $P_i = \lim_{t \rightarrow \infty} P_i(t)$  и

$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{dP_i}{dt} = 0; i = \overline{1, n}$ . С учетом этого система (1) будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
 (\lambda_p + \lambda_0)P_1 &= \mu_p P_2 + \lambda_\phi (P_3 + P_4); \\
 (\mu_\phi + \mu_p)P_2 &= \lambda_p P_1; \\
 (\lambda_p + \lambda_\phi)P_3 &= \lambda_0 P_1; \\
 \lambda_\phi P_4 &= \mu_\phi P_2 + \lambda_p P_3; \\
 \sum_{i=1}^4 P_i &= 1.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Решив систему (2), определим вероятности состояний:

$$P_1 = N; P_2 = \frac{\lambda_p N}{\mu_b + \lambda_\phi}; P_3 = \frac{\lambda_0 N}{\lambda_p + \lambda_\phi}; P_4 = \frac{N \lambda_p (\lambda_b (\lambda_p + \lambda_\phi) + \lambda_0 (\mu_b + \mu_p))}{\lambda_\phi (\mu_b + \mu_p) (\lambda_p + \lambda_\phi)};$$

где

$$N = \frac{\lambda_\phi (\mu_b + \mu_p) (\lambda_p + \lambda_\phi)}{\lambda_\phi (\mu_b + \mu_p) (\lambda_p + \lambda_\phi) + (\lambda_p + \lambda_\phi) (\lambda_p \lambda_\phi + \mu_b \lambda_p) + (\mu_b + \mu_p) (\lambda_0 \lambda_\phi + \lambda_0 \lambda_p)}.$$

Величина  $P_1$  представляет собой характеристику коэффициента готовности исправной и находящейся в дежурном состоянии телекоммуникационной сети, который учитывает надежность и быстродействие ТКС. Вероятность  $P_2$  характеризует коэффициент готовности, учитывающий надежностные характеристики ТКС. Сумма  $(P_1 + P_2)$  характеризует интегральный коэффициент готовности в стационарном режиме, являющийся асимптотикой динамического коэффициента готовности при  $t \rightarrow \infty$ :

$$K_\Gamma^C(\lambda_0, \lambda_p, \lambda_\phi, \mu_p, \mu_b) = \lim_{t \rightarrow \infty} K_\Gamma^D(t, \lambda_0, \lambda_p, \lambda_\phi, \mu_p, \mu_b).$$

Анализ модели «ТКС – встроенный функциональный СКД» в стационарном режиме дает значительные погрешности, поэтому целесообразно рассмотреть данную модель при конечных значениях  $t$  в нестационарном режиме. Результатами расчета может быть определение коэффициента готовности для нестационарного режима  $K_\Gamma^D$ .

Найдем функции  $P_i(t)$  распределения времени пребывания системы в каждом состоянии  $S_i$  (см. рис. 1):

$$P_1(t) = 1 - e^{-t(\lambda_p + \lambda_0)}; P_2(t) = 1 - e^{-t(\mu_b + \mu_p)}; P_3(t) = 1 - e^{-t(\lambda_p + \lambda_\phi)}; P_4(t) = 1 - e^{-t\lambda_\phi}.$$

Преобразования  $\tilde{P}_i(S)$  Лапласа-Стилтьеса для этих функций могут быть получены с помощью соотношения

$$\tilde{P}_i(S) = \int_0^\infty e^{-St} P_i(t) dt$$

и имеют вид

$$\tilde{P}_1(S) = \frac{\lambda_p + \lambda_0}{S + \lambda_p + \lambda_0}; \tilde{P}_2(S) = \frac{\mu_b + \mu_p}{S + \mu_b + \mu_p}; \tilde{P}_3(S) = \frac{\lambda_p + \lambda_\phi}{S + \lambda_p + \lambda_\phi}; \tilde{P}_4(S) = \frac{\lambda_\phi}{S + \lambda_\phi}.$$

Среднее время пребывания системы в состоянии  $S_i$  рассчитывается по формуле

$$m_i = \int_0^\infty [1 - P_i(t)] dt$$

и равно, соответственно

$$m_1 = \frac{1}{\lambda_p + \lambda_0}; m_2 = \frac{1}{\mu_b + \mu_p}; m_3 = \frac{1}{\mu_b + \lambda_\phi}; m_4 = \frac{1}{\lambda_\phi}.$$

Вероятности  $Q_{ij}(t)$  перехода системы из состояния  $S_i$  в состояние  $S_j$  за время, не превышающее  $t$ , определяются как вероятности появления событий, переводящих систему из состояния  $S_i$  в состояние  $S_j$  раньше, чем появление другого события, выводящего систему из состояния  $S_i$ :

$$\begin{aligned}
 Q_{12}(t) &= \frac{\lambda_p}{\lambda_p + \lambda_0} \left(1 - e^{-t(\lambda_p + \lambda_0)}\right); & Q_{31}(t) &= \frac{\mu_\phi}{\lambda_p + \lambda_\phi} \left(1 - e^{-t(\lambda_p + \lambda_\phi)}\right); \\
 Q_{21}(t) &= \frac{\mu_p}{\mu_\phi + \mu_p} \left(1 - e^{-t(\mu_\phi + \mu_p)}\right); & Q_{24}(t) &= \frac{\mu_\phi}{\mu_\phi + \mu_p} \left(1 - e^{-t(\mu_\phi + \mu_p)}\right); \\
 Q_{13}(t) &= \frac{\lambda_0}{\lambda_p + \lambda_0} \left(1 - e^{-t(\lambda_p + \lambda_0)}\right); & Q_{34}(t) &= \frac{\lambda_p}{\lambda_p + \lambda_\phi} \left(1 - e^{-t(\lambda_p + \lambda_\phi)}\right); \\
 Q_{41}(t) &= 1; \quad t > 0.
 \end{aligned}$$

Аналогично преобразования Лапласа-Стилтьеса выполним для вероятностей переходов:

$$\begin{aligned}
 \tilde{Q}_{12}(S) &= \frac{\lambda_p}{S + \lambda_p + \lambda_0}; & \tilde{Q}_{13}(S) &= \frac{\lambda_0}{S + \lambda_p + \lambda_0}; & \tilde{Q}_{24}(S) &= \frac{\mu_\phi}{S + \mu_\phi + \mu_p}; \\
 \tilde{Q}_{21}(S) &= \frac{\mu_p}{S + \mu_\phi + \mu_p}; & \tilde{Q}_{31}(S) &= \frac{\mu_\phi}{S + \lambda_p + \lambda_\phi}; & \tilde{Q}_{34}(S) &= \frac{\lambda_p}{S + \lambda_p + \lambda_\phi}.
 \end{aligned}$$

Матрица  $\mathbf{P}$  вероятностей переходов и вектор  $\mathbf{M}$  средних времен пребывания системы в каждом состоянии имеют вид:

$$\mathbf{P} = \begin{vmatrix} 0 & \frac{\lambda_p}{\lambda_p + \lambda_0} & \frac{\lambda_p}{\lambda_p + \lambda_0} & 0 \\ \frac{\mu_p}{\mu_\phi + \mu_p} & 0 & 0 & \frac{\mu_\phi}{\mu_\phi + \mu_p} \\ \frac{\lambda_\phi}{\lambda_p + \lambda_\phi} & 0 & 0 & \frac{\lambda_p}{\lambda_p + \lambda_\phi} \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix};$$

$$\mathbf{M} = \|m_i\| = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ \lambda_p + \lambda_0 & \mu_\phi + \mu_p & \lambda_p + \lambda_\phi & \lambda_\phi \end{vmatrix}.$$

Коэффициенты готовности определяются как суммы стационарных вероятностей пребывания системы в состоянии нормального функционирования объектов управления:

$$K_\Gamma^D = \frac{\Delta_1 m_1 + \Delta_2 m_2 + \Delta_3 m_3}{\Delta_1 m_1 + \Delta_2 m_2 + \Delta_3 m_3 + \Delta_4 m_4},$$

где  $\Delta_i$  – миноры, получаемые вычеркиванием  $i$ -го столбца и  $i$ -й строки в определителе матрицы  $(\mathbf{I} - \mathbf{P})$ .

Таким образом, коэффициент готовности в нестационарном режиме равен

$$K_\Gamma^D = \frac{A + B + C}{A + B + C + H},$$

где

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{\lambda_p + \lambda_0}; \quad B = \frac{\lambda_p}{(\lambda_\phi + \mu_p)(\lambda_p + \lambda_0)}; \quad C = \frac{\lambda_0}{(\lambda_p + \lambda_\phi)(\lambda_p + \lambda_0)}; \\
 H &= \frac{\lambda_p(\mu_\phi + \mu_p - \mu_p \lambda_p + \mu_p \lambda_\phi)}{\lambda_\phi(\lambda_p + \lambda_\phi)(\lambda_p + \lambda_0)}.
 \end{aligned}$$

На рис. 2–9 представлены результаты серии расчетов зависимостей вероятностей состояний  $S_1$  и  $S_2$  и коэффициента готовности в стационарном и нестационарном режимах от интенсивности восстановления  $\mu_b$  ТКС с функционального СКД при различных значениях коэффициента загрузки  $\rho = \lambda_p / \mu_p$ , а также зависимостей коэффициента готовности  $K_{\Gamma}^D$  в нестационарном режиме от времени  $t$  при различных значениях интенсивности восстановления  $\mu_b$ .

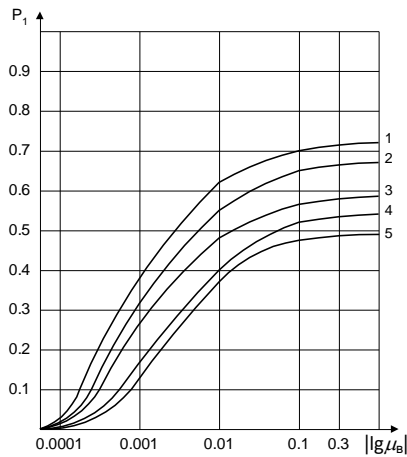


Рис. 2. Зависимость вероятности  $P_1$  от интенсивности восстановления  $\lambda_p=10^{-3}$ ; 1 –  $\rho=5 \cdot 10^{-4}$ ; 2 –  $\rho=5 \cdot 10^{-3}$ ; 3 –  $\rho=5 \cdot 10^{-2}$ ; 4 –  $\rho=5 \cdot 10^{-1}$ ; 5 –  $\rho=8 \cdot 10^{-1}$

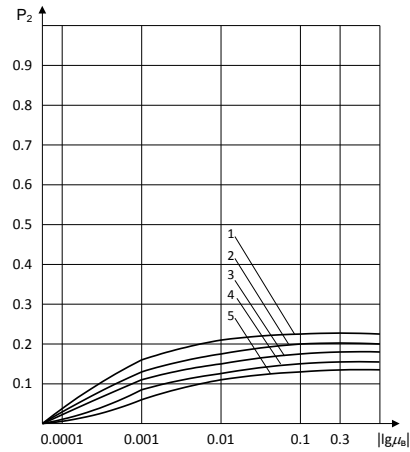


Рис. 3. Зависимость вероятности  $P_2$  от интенсивности восстановления  $\lambda_p=10^{-3}$ ; 1 –  $\rho=5 \cdot 10^{-4}$ ; 2 –  $\rho=5 \cdot 10^{-3}$ ; 3 –  $\rho=5 \cdot 10^{-2}$ ; 4 –  $\rho=5 \cdot 10^{-1}$ ; 5 –  $\rho=8 \cdot 10^{-1}$

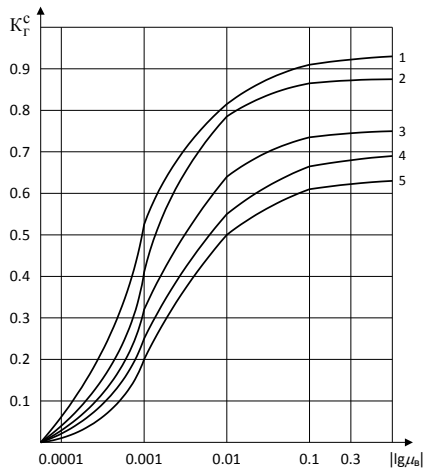


Рис. 4. Зависимость коэффициента готовности в стационарном режиме от интенсивности восстановления  $\lambda_p=10^{-3}$ ; 1 –  $\rho=5 \cdot 10^{-4}$ ; 2 –  $\rho=5 \cdot 10^{-3}$ ; 3 –  $\rho=5 \cdot 10^{-2}$ ; 4 –  $\rho=5 \cdot 10^{-1}$ ; 5 –  $\rho=8 \cdot 10^{-1}$

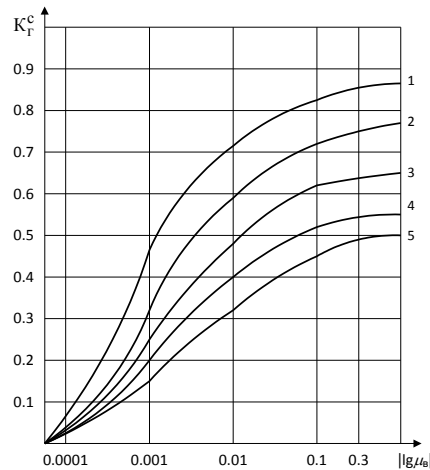


Рис. 5. Зависимость коэффициента готовности в стационарном режиме от интенсивности восстановления  $\lambda_p=10^{-2}$ ; 1 –  $\rho=5 \cdot 10^{-4}$ ; 2 –  $\rho=5 \cdot 10^{-3}$ ; 3 –  $\rho=5 \cdot 10^{-2}$ ; 4 –  $\rho=5 \cdot 10^{-1}$ ; 5 –  $\rho=8 \cdot 10^{-1}$

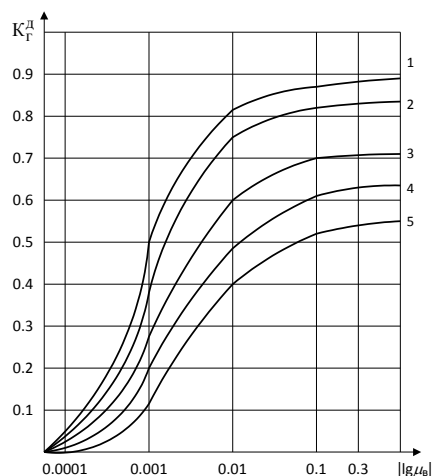


Рис. 6. Зависимость коэффициента готовности в нестационарном режиме от интенсивности восстановления  $\lambda_p=10^{-3}$ ; 1 –  $\rho=5 \cdot 10^{-4}$ ; 2 –  $\rho=5 \cdot 10^{-3}$ ; 3 –  $\rho=5 \cdot 10^{-2}$ ; 4 –  $\rho=5 \cdot 10^{-1}$ ; 5 –  $\rho=8 \cdot 10^{-1}$

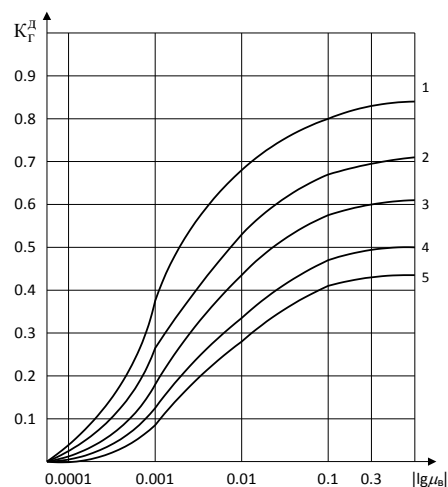


Рис. 7. Зависимость коэффициента готовности в нестационарном режиме от интенсивности восстановления  $\lambda_p=10^{-2}$ ; 1 –  $\rho=5 \cdot 10^{-4}$ ; 2 –  $\rho=5 \cdot 10^{-3}$ ; 3 –  $\rho=5 \cdot 10^{-2}$ ; 4 –  $\rho=5 \cdot 10^{-1}$ ; 5 –  $\rho=8 \cdot 10^{-1}$

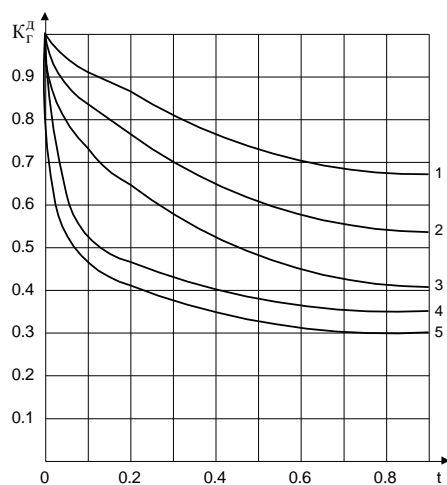


Рис. 8. Зависимость коэффициента готовности в нестационарном режиме от времени  $\lambda_p=10^{-3}$ ;  $\rho=5 \cdot 10^{-2}$ ; 1 –  $\mu_6=1$ ; 2 –  $\mu_6=10^{-1}$ ; 3 –  $\mu_6=10^{-2}$ ; 4 –  $\mu_6=10^{-3}$ ; 5 –  $\mu_6=10^{-4}$

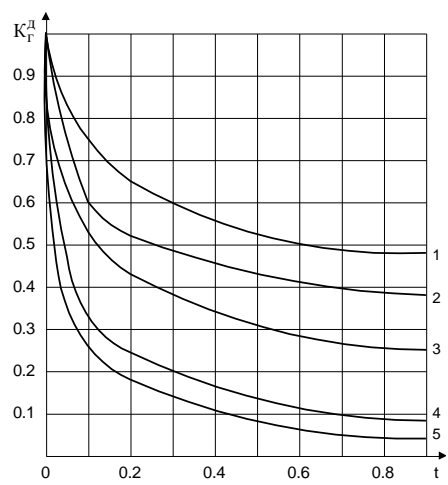


Рис. 9. Зависимость коэффициента готовности в нестационарном режиме от времени  $\lambda_p=10^{-2}$ ;  $\rho=5 \cdot 10^{-2}$ ; 1 –  $\mu_6=1$ ; 2 –  $\mu_6=10^{-1}$ ; 3 –  $\mu_6=10^{-2}$ ; 4 –  $\mu_6=10^{-3}$ ; 5 –  $\mu_6=10^{-4}$

Анализ графиков функциональной зависимости вероятностей и коэффициентов готовности от интенсивности восстановления, т.е. быстродействия сервера контроля и диагностики, приводит к следующим выводам:

- ◆ стационарный процесс, характеризующийся  $\frac{\partial \mathcal{P}_i}{\partial \mu_b} = 0$ , наступает при  $\mu_b = \sup \mu_b$ , следовательно, верхняя граница быстродействия может быть выбрана в зависимости от предъявляемых требований к функциональному СКД, отображенных в  $K_\Gamma^C$ . Начиная с  $\mu_b = \sup \mu_b$ , при  $K_\Gamma^C = K_{\Gamma \text{ЗАДАН}}^C$  дальнейшее повышение быстродействия СКД нецелесообразно, так как затраты на повышение коэффициента готовности будут несоизмеримы с величиной его ранга;
- ◆ при изменении коэффициента загрузки  $\rho$  наблюдается изменение соотношений между значениями вероятностей состояния: с увеличением коэффициента загрузки, при  $\rho \rightarrow 1$ , повышается быстродействие СКД, поскольку преобладающим состоянием ТТС будет  $S_2$  (см. рис. 1), избыточного времени восстановления за счет нахождения ТКС в дежурном режиме будет недостаточно. По заданным коэффициентам загрузки и готовности можно выбрать соответствующее значение  $\mu_b$ , а следовательно, и быстродействие СКД;
- ◆ график зависимости  $K_\Gamma(\mu_b)$  позволяет определить максимальную границу  $\sup \mu_b$ , обеспечивающую  $\frac{\partial K_\Gamma}{\partial \mu_b} = 0$ , т.е. обосновать выбор необходимого диапазона быстродействия для соответствующего информационного потока, определяемого интенсивностью  $\lambda_p$ ;
- ◆ с повышением коэффициента загрузки  $\rho$  функциональная зависимость  $K_\Gamma(\mu_b)$  имеет тенденцию стать более пологой и с меньшим значением ординаты коэффициента готовности  $K_\Gamma$ ;
- ◆ точка  $\sup \mu_b$  при  $\frac{\partial K_\Gamma}{\partial \mu_b} = 0$  в связи с вышесказанным смещается вправо, её смещение обосновывает необходимость повышения быстродействия СКД.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Самойленко А.П.* Основы теории надежности автоматизированных систем обработки информации и управления. – Таганрог: ТРТУ, 2000. – 122 с.
2. *Согомонян Е.С., Слабаков Е.В.* Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые систем. – М.: Радио и связь, 1989. – 208 с.
3. *Капур К., Ламберсон Л.* Надежность и проектирование систем. – М.: Мир, 1980. – 604 с.
4. *Czajkowski D.R., Strobel D.S., Li E.* Radiation hardened high performance image processing system for new responsive space missions // Proceeding of the AIAA SPACE 2009 Conference & Exposition, American Institute of Aeronautics and Astronautics, USA, 2009.
5. *Русанов В.Н., Сильянов Н.В., Киселёв А.Ю., Пряничников С.В.* Самодиагностируемая резервированная бортовая вычислительная систем // Авиакосмическое приборостроение. – 2014. – № 2.
6. *Денисенко В.* Беспроводные локальные сети // СТА. – 2009. – № 1. – С. 182-187.
7. *Вишневецкий В.Т., Селинова О.В.* Системы поллинга: теория и применение в широкополосных беспроводных сетях. – М.: Техносфера, 2007. – 312 с.
8. *Панычев А.И., Дубинская И.В.* Анализ интенсивности сигналов локальной беспроводной сети связи в смежных помещениях // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 11 (148). – С. 44-50.



9. IEEE Std 802.12.4™, 2003. IEEE Standard for Information Technology. – Telecommunications and information exchange between Systems. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer Specifications for LowRate Wireless Personal Area Networks IEEEESA Standard Board. – 12 May 2003. – 679 p.
10. Бакулин В.Н., Малков С.Ю., Гончаров В.В., Ковалев В.И. Управление обеспечением стойкости сложных технических систем. – М.: Физматлит, 2006. – 300 с.

#### REFERENCES

1. *Samoylenko A.P.* Osnovy teorii nadezhnosti avtomatizirovannykh sistem obrabotki informatsii i upravleniya [Fundamentals of the theory of reliability of the automated systems of information processing and management]. Taganrog: TRTU, 2000, 122 p.
2. *Sogomonyan E.S., Slabakov E.V.* Samoproveryaemye ustroystva i otkazoustoychivye system [Self checking device and fault-tolerant systems]. Moscow: Radio i svyaz', 1989, 208 p.
3. *Kapur K., Lamberson L.* Nadezhnost' i proektirovanie system [Reliability and systems engineering]. Moscow: Mir, 1980, 604 p.
4. *Czajkowski D.R., Strobel D.S., Li E.* Radiation hardened high performance image processing system for new responsive space missions, *Proceeding of the AIAA SPACE 2009 Conference & Exposition, American Institute of Aeronautics and Astronautics, USA, 2009.*
5. *Rusanov V.N., Sil'yanov N.V., Kiselev A.Yu., Pryanichnikov S.V.* Samodiagnostiruemaya rezervirovannaya bortovaya vychislitel'naya sistem [Canadiannational redundant onboard computer systems], *Aviakosmicheskoe priborostroenie [Aerospace instrumentation]*, 2014, No. 2.
6. *Denisenko V.* Besprovodnye lokal'nye seti [Wireless LAN], *STA [Modern Automation Technology]*, 2009, No. 1, pp. 182-187.
7. *Vishnevskiy V.T., Selinova O.V.* Sistemy pollinga: teoriya i primeneniye v shirokopolosnykh besprovodnykh setyakh [System polling: theory and application in broadband wireless networks]. Moscow: Tekhnosfera, 2007, 312 p.
8. *Panychev A.I., Dubinskaya I.V.* Analiz intensivnosti signalov lokal'noy besprovodnoy seti svyazi v smezhnykh pomeshcheniyakh [Analysis of the wireless local area network signals intensity in adjacent rooms], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences]*, 2013, No. 11 (148), pp. 44-50.
9. IEEE Std 802.12.4™, 2003. IEEE Standard for Information Technology. Telecommunications and information exchange between Systems. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer Specifications for LowRate Wireless Personal Area Networks IEEEESA Standard Board, 12 May 2003, 679 p.
10. *Bakulin V.N., Malkov S.Yu., Goncharov V.V., Kovalev V.I.* Upravlenie obespecheniem stoykosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Managing the sustainability of complex technical systems]. Moscow: Fizmatlit, 2006, 300 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.П. Карелин.

**Гузик Вячеслав Филиппович** – Южный федеральный университет; e-mail: gvfd@dce.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371737; кафедра вычислительной техники; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

**Самойленко Анатолий Петрович** – e-mail: rts@tgn.sfedu.ru; кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; доцент.

**Паньчев Сергей Андреевич** – e-mail: gvfd@dce.sfedu.ru; тел.: +78634371737; кафедра вычислительной техники; аспирант.

**Guzik Vyacheslav Philipovich** – Southern Federal University; e-mail: gvfd@dce.sfedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371737; the department of computing; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

**Samoylenko Anatoly Petrovich** – e-mail: rts@tgn.sfedu.ru; the department of radio engineering and telecommunication systems; associate professor.

**Panychev Sergey Andreevich** – e-mail: gvfd@dce.sfedu.ru; the department of computing; post-graduate student.