

## ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КОМПЛЕКСА ПОДГОТОВКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

С.А. Тышко

(представил д.т.н., проф. А.М. Крюков)

*В статье на основе анализа известных аналитических выражений для показателей оперативности и информативности предложены соотношения для определения показателей эффективности системы метрологического обслуживания (СМОб) комплекса подготовки геодезических данных (КПГД).*

**Постановка проблемы.** Одной из важнейших задач при создании СМОб КПГД является прогнозная оценка эффективности ее применения. Оценка эффективности СМОб включает в себя выбор соответствующих показателей и получение числовой оценки эффективности применения СМОб [1]. Основными показателями эффективности СМОб являются показатель информативности и показатель оперативности.

**Анализ литературы.** В качестве показателя информативности наиболее часто используется достоверность контроля параметров, а в качестве показателя оперативности – коэффициент технического использования объекта в интервале между двумя последовательными контролями параметров. Аналитические соотношения для определения указанных показателей приведены в [2, 3], однако они не в полной мере отвечают специфике проведения контроля параметров КПГД. Так, при оценке достоверности контроля параметров КПГД необходимо учитывать наличие таких технологических операций, как демонтаж КПГД, доставка его к месту проведения контроля параметров и обратно к месту постоянной дислокации объекта, на котором он размещается, а также установку на объект и проведение контроля функционирования комплекса подготовки геодезических данных в составе объекта.

Для определения коэффициента технического использования КПГД в интервале между двумя последовательными контролями параметров необходимо определить коэффициент оперативной готовности средств измерительного контроля (СИК). Известные аналитические соотношения для определения коэффициента оперативной готовности не учитывают такие режимы подготовки СИК, как определение эталонного значения контролируемого параметра исправным средством и определение эта-

лонного значения средством со скрытым отказом.

**Цель статьи.** Предложить аналитические соотношения для определения достоверности контроля параметров и коэффициента технического использования КППД в интервале между двумя последовательными контролями параметров.

**Основные положения.** В общем случае под достоверностью контроля понимают вероятность принятия правильного решения о техническом состоянии системы по результатам проведения измерительного контроля [2].

Для определения достоверности контроля параметров рассмотрим, в каких состояниях может находиться КППД в процессе проведения измерительного контроля. В процессе проведения измерительного контроля КППД может находиться в следующих состояниях: Q1 – пребывание в исправном состоянии на момент начала проведения измерительного контроля; Q2 – демонтаж КППД из состава объекта и подготовка к транспортированию в исправном состоянии; Q3 – транспортирование КППД к месту проведения измерительного контроля параметров в исправном состоянии; Q4 – проведение измерительных операций по контролю параметров; Q5 – принятие решения о дальнейшем использовании КППД по результатам проведения измерительного контроля параметров; Q6 – транспортирование КППД к месту постоянной дислокации объекта; Q7 – проведение установки КППД на объект; Q8 – проведение контроля функционирования КППД в составе объекта; Q9 – проведение контроля параметров КППД со скрытым отказом; Q10 – проведение контроля функционирования КППД со скрытым отказом; Q11 – забракование КППД по результатам измерительного контроля параметров; Q12 – забракование КППД по результатам проведения контроля функционирования в составе объекта; Q13 – принятие решения о дальнейшем использовании КППД по результатам контроля функционирования в составе объекта.

Пользуясь определением достоверности контроля, приведенным в [3], запишем соотношение для показателя информативности СМОБ КППД:

$$\begin{aligned}
 D = & \frac{P_{1.2} \cdot P_{2.3} \cdot P_{3.4} \cdot P_{4.5} \cdot P_{7.8} \cdot P_{6.7} \cdot P_{8.13} P_{5.6} P_{13.1}}{[(P_{1.2} P_{2.3} P_{3.4} P_{4.5} P_{5.6}) + P_{9.6} (P_{1.9} + P_{1.2} P_{2.9} + \\
 & \rightarrow + P_{1.2} P_{2.3} P_{3.9} + P_{1.2} P_{2.3} P_{3.4} P_{4.9})] \cdot [(P_{6.7} P_{7.8} P_{8.13} \times \\
 & \rightarrow \times P_{13.1}) + P_{10.1} (P_{6.10} + P_{6.7} P_{7.10} + P_{6.7} P_{7.8} P_{8.10})]}. \quad (1)
 \end{aligned}$$

Значения вероятностей перехода из состояния  $i$  в состояние  $j$  ( $P_{i,j}$ ) определяются с использованием соотношений:

$$P_{2.3} = \frac{\omega_{\text{дем}}^2}{(\omega_{\text{дем}} - \lambda_{\text{дем}})^2}; \quad P_{3.4} = \exp(-\lambda_{\text{мп}}\tau_{\text{мп1}}); \quad P_{4.5} = \frac{\omega_{\text{кп}}^2}{(\omega_{\text{кп}} - \lambda_{\text{кп}})^2};$$

$$P_{6.7} = \exp(-\lambda_{\text{мп}}\tau_{\text{мп2}}); \quad P_{7.8} = \frac{\omega_{\text{у}}^2}{(\omega_{\text{у}} - \lambda_{\text{у}})^2}; \quad P_{8.13} = \frac{\omega_{\text{кф}}^2}{(\omega_{\text{кф}} - \lambda_{\text{кф}})^2};$$

$$P_{13.1} = 1 - \alpha_{\text{кф}}; \quad P_{10.1} = \beta_{\text{кф}}; \quad P_{1.9} = 1 - P_{1.2}; \quad P_{2.9} = 1 - P_{2.3};$$

$$P_{3.9} = 1 - P_{3.4}; \quad P_{4.9} = 1 - P_{4.5}; \quad P_{6.10} = 1 - P_{6.7}; \quad P_{7.10} = 1 - P_{7.8};$$

$$P_{8.10} = 1 - P_{8.13}; \quad P_{13.12} = 1 - P_{13.1}; \quad P_{9.11} = (1 - \beta); \quad P_{10.12} = (1 - \beta_{\text{кф}});$$

$$P_{1.2} = \exp(-(\lambda_{\text{хр}}t_{\text{хр}} + \lambda_{\text{тр}}t_{\text{тр}} + \lambda_{\text{пр}}t_{\text{пр}} + \lambda_{\text{ож}}t_{\text{ож}})); \quad P_{9.6} = \beta,$$

где  $\tau_{\text{дем}}$ ,  $\tau_{\text{тр1}}$ ,  $\tau_{\text{тр2}}$ ,  $\tau_{\text{кп}}$ ,  $\tau_{\text{у}}$ ,  $\tau_{\text{кф}}$  – среднее время демонтажа, доставки КППД к месту контроля параметров КППД и обратно, измерительного контроля, установки КППД на объект, контроля функционирования КППД в составе объекта соответственно;  $\lambda_{\text{дем}}$ ,  $\lambda_{\text{тр}}$ ,  $\lambda_{\text{у}}$ ,  $\lambda_{\text{кф}}$ ,  $\lambda_{\text{хр}}$ ,  $\lambda_{\text{пр}}$ ,  $\lambda_{\text{ож}}$  – интенсивности возникновения скрытых отказов при проведении демонтажа КППД, транспортирования, установки на объект, контроле функционирования КППД в составе объекта, хранении, транспортировании, проведении измерений по определению исходных геодезических данных, ожидании к повторному применению соответственно;  $\alpha$  – условная вероятность принятия решения о том, что исправный КППД по окончании измерительного контроля признан неисправным;  $\beta$  – условная вероятность принятия решения о том, что неисправный КППД по окончании контроля признан исправным;  $\alpha_{\text{кф}}$  – условная вероятность принятия решения о том, что исправный КППД по окончании контроля функционирования будет признан неисправным;  $\beta_{\text{кф}}$  – условная вероятность принятия решения о том, что неисправный КППД по окончании контроля функционирования будет признан исправным;  $t_{\text{хр}}$ ,  $t_{\text{тр}}$ ,  $t_{\text{пр}}$ ,  $t_{\text{ож}}$  – общее время нахождения КППД в состоянии хранения, транспортирования, проведения измерений, ожидания к повторному применению в интервале между двумя последовательными контролями параметров соответственно.

Применение коэффициента технического использования КППД в качестве показателя оперативности СМОб обусловлено тем, что он по сравнению с такими показателями, как коэффициент готовности и коэффициент оперативной готовности, наиболее полно отражает влияние на процесс эксплуатации КППД способов проведения измерительного кон-

троля параметров и эксплуатационных характеристик СИК.

Коэффициент технического использования КППД в интервале между двумя последовательными контролями параметров определяется с использованием соотношения [4]:

$$k_{т.и} = \frac{T}{T + \tau_k},$$

где  $T$  – периодичность проведения контроля параметров КППД;  $\tau_k$  – продолжительность цикла контроля.

Выражение для  $\tau_k$  определяется с использованием соотношения

$$\tau_k = \tau_{п} + \left[ k_{ог} \tau_k + (1 - k_{ог}) (\tau_k + \tau_p P_{ОФ} + (1 - P_{ОФ}) \tau_3) \right] + \tau_{об} + \tau_{вв},$$

где  $k_{ог}$  – коэффициент оперативной готовности СИК;  $\tau_k$  – продолжительность контроля параметров;  $\tau_p$  – средняя продолжительность проведения ремонта СИК;  $\tau_3$  – средняя продолжительность замены неисправного СИК исправным из состава обменного фонда;  $P_{ОФ}$  – вероятность отсутствия необходимого СИК в составе обменного фонда;  $\tau_{в}$  – средняя продолжительность восстановления отказавшего СИК.

Для определения  $k_{ог}$  на основе математического аппарата полумарковских процессов используется модель эксплуатации СИК.

В процессе эксплуатации СИК могут находиться в одном из следующих состояний: S1 – ожидание проведения работ по контролю параметров в исправном состоянии; S2 – устранение отказа у СИК; S3 – ожидание проведения работ по контролю параметров со скрытым отказом; S4 – проведение ложного ремонта; S5 – периодическая калибровка (поверка) в исправном состоянии; S6 – периодическая калибровка (поверка) со скрытым отказом; S7 – определение эталонного значения контролируемых параметров исправным СИК; S8 – определения эталонного значения контролируемых параметров СИК со скрытым отказом; S9 – пребывание в готовности к контролю параметров, эталонное значение определено с установленным значением погрешности; S10 – пребывание в готовности к контролю параметров, эталонное значение определено с погрешностью, превышающей установленное значение.

Исходя из определения  $k_{ог}$ , приведенного в [4], значение  $k_{ог}$  будет соответствовать значению вероятности нахождения СИК в состояниях S1, S7 и S9.

Для определения вероятностей нахождения СИК в состояниях S1, S7 и S9 воспользуемся алгоритмом анализа математических моделей, построенных с применением аппарата полумарковских процессов, пред-

ложенным в [3], приняв следующие допущения: отказы в процессе проведения работ по контролю параметров КППД, проведения калибровки у СИК не возникают; явные отказы у СИК в состоянии определения эталонных значений и в состоянии их хранения подчинены экспоненциальному закону распределения с интенсивностью возникновения явных отказов  $\omega_d$  и  $\omega_x$ ; скрытые отказы СИК в состоянии определения эталонных значений и в состоянии их хранения подчинены экспоненциальному закону распределения с интенсивностью возникновения скрытых отказов  $\Omega_d$  и  $\Omega_x$ ; продолжительность выполнения работ по восстановлению исправного состояния СИК и проведения ложного ремонта подчинена закону распределения Эрланга первого порядка со средней продолжительностью выполнения работ  $T_B$  и  $T_{Bл}$  соответственно.

Тогда независимые функции распределения  $Q_{i,j}(t)$  времени ожидания переходов примут вид:

$$\begin{aligned}
 Q_{1,2}(t) &= 1 - \exp(-\omega_x t); & Q_{1,3}(t) &= 1 - \exp(-\Omega_x t); & Q_{1,5}(t) &= \begin{cases} 0, & t < \tau_{\Pi}; \\ 1, & t \geq \tau_{\Pi}; \end{cases} \\
 Q_{1,7}(t) &= 1 - \exp(-\lambda t); & Q_{2,1}(t) &= 1 - \left(1 + \frac{2t}{T_B}\right) \exp\left(-\frac{2t}{T_B}\right); \\
 Q_{3,8}(t) &= 1 - \exp(-\lambda t); & Q_{3,6}(t) &= \begin{cases} 0, & t < (\tau_{\Pi} - \mu_{1,3}); \\ 1, & t \geq (\tau_{\Pi} - \mu_{1,3}); \end{cases} & Q_{3,2}(t) &= \exp(-\omega_x t); \\
 Q_{4,1}(t) &= 1 - \left(1 + \frac{2t}{T_{Bл}}\right) \exp\left(-\frac{2t}{T_{Bл}}\right); & Q_{5,1}(t) &= \begin{cases} 0, & t < T_{\Pi}; \\ (1 - \alpha_{\Pi}), & t \geq T_{\Pi}; \end{cases}; \\
 Q_{5,4}(t) &= \begin{cases} 0, & t < T_{\Pi}; \\ \alpha_{\Pi}, & t \geq T_{\Pi}; \end{cases} & Q_{6,2}(t) &= \begin{cases} 0, & t < T_{\Pi}; \\ (1 - \beta), & t \geq T_{\Pi}; \end{cases} & Q_{6,3}(t) &= \begin{cases} 0, & t < T_{\Pi}; \\ \beta, & t \geq T_{\Pi}; \end{cases}; \\
 Q_{7,2}(t) &= \exp(-\omega_d t); & Q_{7,8}(t) &= \exp(-\Omega_d t); & Q_{7,9}(t) &= \begin{cases} 1, & t \geq T_K; \\ 0, & t < T_K; \end{cases} \\
 Q_{8,2}(t) &= \exp(-\omega_d(t - \mu_{7,8})); & Q_{8,10}(t) &= 1 - \exp(-\omega_d(t - \mu_{7,8})); \\
 Q_{9,1}(t) &= \begin{cases} 0, & t < T_{кп}; \\ 1, & t \geq T_{кп}; \end{cases} & Q_{10,3}(t) &= \begin{cases} 0, & t < T_{кп}; \\ 1, & t \geq T_{кп}; \end{cases}
 \end{aligned}$$

где  $\tau_{\Pi}$  – периодичность проведения калибровки (поверки) СИК;  $\lambda$  – интенсивность поступления заявок на проведение работ по контролю технического состояния КППД;  $\mu_{1,3}$  – среднее время нахождения СИК в состоянии S1 до перехода в состояние S3;  $T_{\Pi}$  – продолжительность калибровки СИК;  $\alpha_{\Pi}$  – условная вероятность признания исправного СИК неисправным

по результатам проведения калибровки;  $\beta_{\Pi}$  – условная вероятность признания неисправного СИК исправным по результатам проведения калибровки;  $T_k$  – средняя продолжительность проведения работ по определению эталонного значения контролируемых параметров;  $\mu_{7,8}$  – среднее время нахождения СИК в состоянии S7 до перехода в состояние S8;  $T_{\text{кп}}$  – средняя продолжительность проведения контроля параметров КППД.

Аналитическое соотношение для определения показателя оперативности СМОБ КППД примет вид:

$$\begin{aligned}
 K_{\text{т.и}} = & \frac{T}{T + \tau_{\Pi} + \tau_{\text{об}} + \tau_{\text{вв}} + \left[ (\tau_k + \tau_p P_{\text{ОФ}} + (1 - P_{\text{ОФ}}) \tau_3) \times \right. \\
 \rightarrow & \left. \left( \frac{T_{\text{кп}} + \frac{1}{\omega_x + \Omega_x + \lambda} \left( 1 - e^{-(\omega_x + \Omega_x + \lambda) \tau_{\Pi}} \right) + \frac{1}{\omega_d + \Omega_d} \left( 1 - e^{-(\omega_d + \Omega_d) T_k} \right) \right)}{\mu} \right) + \\
 \rightarrow & \left. \left( \frac{T_{\text{кп}} + \frac{1}{\omega_x + \Omega_x + \lambda} \left( 1 - e^{-(\omega_x + \Omega_x + \lambda) \tau_{\Pi}} \right) + \frac{1}{\omega_d + \Omega_d} \left( 1 - e^{-(\omega_d + \Omega_d) T_k} \right) \right)}{\mu} \right) + \tau_k \right] \cdot (2)
 \end{aligned}$$

**Выводы** Выражениями (1) и (2) определяются показатели оперативности и информативности СМОБ КППД. Данные соотношения наиболее полно отражают особенности проведения измерительного контроля и применения СИК для контроля параметров КППД.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдеевский и др. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 3: Эффективность технических систем. – 224 с.*
2. *ОСТ 4ГО.091.034-73. Аппаратура контрольно-измерительная автоматическая. Методы проектирования. Оценка достоверности. – М.: Изд. стандартов, 1974. – 23 с.*
3. *Чумаков Н.М., Серебряный Е.И. Оценка эффективности сложных технических устройств. – М.: Сов. радио, 1980. – 192 с.*
4. *ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 92 с.*

Поступила 17.08.2004

**ТЫШКО Сергей Александрович**, адъюнкт кафедры метрологии и стандартизации ХВУ. В 1992 году окончил ХВВКИУРВ. Область научных интересов – метрологическое обслуживание измерительных систем специального назначения.

---