



УДК 78.21.35

© 2017 г. С.А. Шерстобитов

(Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург)

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА ПО ПОВЕРКЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

В работе предложена методика формирования требований к системе контроля функционирования автоматизированного рабочего места по поверке средств измерений. Полученные результаты могут быть использованы при обосновании требований к методам и средствам контроля автоматизированных рабочих мест различного назначения.

Ключевые слова: автоматизированное рабочее место, средства измерений, система контроля, достоверность и стоимость контроля, метод неопределенных множителей Лагранжа.

DOI: 10.22250/isu.2017.51.95-99

Введение

Сегодня не существует такой области науки и техники, такой сферы практической деятельности людей, где одним из решающих факторов прогресса не были бы измерения. Для сопоставления результатов измерений, выполненных различными средствами измерений в различных условиях, различных местах и в различное время, необходимо обеспечить единство измерений [1]. Достижение единства и требуемой точности измерений в свою очередь обеспечивается метрологическим обслуживанием *средств измерений* (СИ) и эталонов, включающим их поверку и аттестацию. В настоящее время для решения задач метрологического обслуживания СИ используются различные *автоматизированные рабочие места* (АРМ), которые представляют собой сложные программно-технические комплексы, предназначенные для автоматизации деятельности поверителей [2].

В процессе функционирования АРМ по поверке СИ возможно появление различного рода ошибок. Они могут быть обусловлены неопределенностью, неоднозначностью, неполнотой и нечеткостью исходных данных и знаний о состоянии АРМ по поверке СИ, а также значительной динамикой изменения данных. Это оказывает существенное влияние на достоверность результатов поверки СИ.

Обеспечение достоверности результатов поверки СИ возможно с использованием системы контроля. Для формирования требований к системе контроля

функционирования АРМ по поверке СИ предлагается методика, которая включает следующие этапы: расчет достоверности результатов поверки СИ с использованием АРМ; определение критических этапов информационного процесса функционирования АРМ по поверке СИ; определение требуемых показателей эффективности контроля функционирования АРМ по поверке СИ.

Для расчета достоверности результатов поверки СИ с использованием АРМ используется модель, которая предложена в статье [3]. В основе модели лежит понятие случайной величины продолжительности работы АРМ. Для получения интегральных характеристик АРМ по поверке СИ применен стохастический граф информационного процесса функционирования и его матричное представление.

Для определения критических этапов информационного процесса функционирования АРМ по поверке СИ используется методика, описанная в работе [4] и основанная на исследовании влияния достоверности контроля на различных этапах процесса функционирования АРМ по поверке СИ.

Целью настоящей работы является определение требуемых показателей эффективности контроля функционирования АРМ по поверке СИ. В качестве показателей используются: q_i – достоверность контроля i -го этапа информационного процесса функционирования АРМ по поверке СИ, представляющая собой вероятность объективного соответствия результатов контроля действительному техническому состоянию объекта; c_i – удельная стоимость контроля i -го этапа. Для определения указанных показателей необходимо решить прямую и обратную задачи оптимизации распределения ресурсов системы контроля функционирования АРМ по поверке СИ.

Постановка и решение оптимизационной задачи

Представим процесс функционирования АРМ по поверке СИ в виде стохастического графа, в котором вершины соответствуют этапам процесса функционирования. Вероятности нахождения АРМ в том или ином состоянии описываются произвольными законами распределения. Переход из одного состояния в другое определяется достоверностью контроля. При этом возможен переход к предыдущим этапам или повторение текущего с образованием обратных связей.

Рассмотрим вариант соединения вершин стохастического графа процесса функционирования АРМ по поверке СИ (рис. 1). Для выбранного варианта поставим и решим прямую и обратную оптимизационные задачи. Прямая задача формулируется следующим образом: необходимо обеспечить максимальную достоверность результатов поверки СИ при ограничении на стоимость системы контроля. Обратная задача: требуется обеспечить заданную достоверность результатов поверки СИ при минимуме стоимости системы контроля.

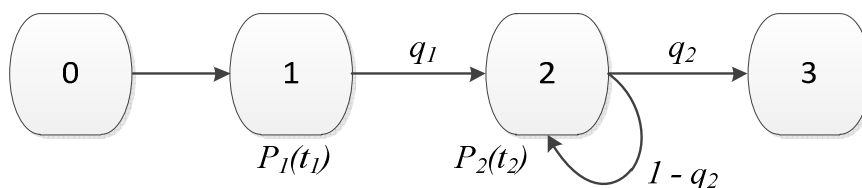


Рис. 1. Стохастический граф организации процесса функционирования.

Нулевой узел является истоком графа, узлы 1 и 2 соответствуют этапам процесса функционирования АРМ, а узел 3 служит стоком графа. Обозначим вероятности безошибочной работы АРМ на i -х этапах в течение времени t_i через $P_i(t_i)$, а достоверность контроля i этапа – через q_i , $i = 1, 2$. При этом должны выполняться условия равенства единице суммы достоверностей контроля на выходе из каждого узла. Возможны два варианта прямой оптимизационной задачи.

Вариант а). Необходимо обеспечить максимальную достоверность результатов проверки СИ $P(q_2) \rightarrow \max$ при ограничении на стоимость системы контроля $C(q_2) = C_0$ при заданных удельных стоимостях контроля второго этапа, т.е. распределить ресурс системы контроля между прямым переходом и обратной связью второго этапа. Решение получим, используя метод неопределенных множителей Лагранжа [5]. Функция Лагранжа имеет вид:

$$L(q_2, \gamma) = \frac{P_1(t_1)q_1P_2(t_2)q_2}{1 - P_2(t_2)(1 - q_2)} + \gamma(c_2q_2 + c_{22}(1 - q_2) - C_0), \quad (1)$$

где c_2 – удельная стоимость контроля второго этапа при прямом переходе; c_{22} – удельная стоимость контроля второго этапа при обратном переходе; γ – неопределенный множитель Лагранжа. Первое слагаемое в формуле (1) представляет собой аналитическое выражение для достоверности результатов проверки СИ, полученное на основе модели, которая описана в работе [3]. Дифференцируя (1) по аргументам q_2 и γ , приравнивая полученные выражения к нулю, получим систему уравнений

$$\frac{\partial L(q_2, \gamma)}{\partial q_2} = 0, \quad \frac{\partial L(q_2, \gamma)}{\partial \gamma} = 0. \quad (2)$$

Решив (2), получим значение q_2 , обеспечивающее максимум достоверности результатов проверки СИ P при ограничении на стоимость системы контроля C_0 .

Вариант б). Необходимо обеспечить максимальную достоверность результатов проверки СИ $P(q_1, q_2) \rightarrow \max$ при ограничении на стоимость системы контроля $C(q_1, q_2) = C_0$ при заданных удельных стоимостях контроля первого и второго этапов, т.е. распределить ресурс системы контроля между первым этапом, а также прямым переходом и обратной связью второго этапа.

Для этого случая функция Лагранжа имеет вид

$$L_1(q_1, q_2, \gamma) = \frac{P_1(t_1)q_1P_2(t_2)q_2}{1 - P_2(t_2)(1 - q_2)} + \gamma(c_1q_1 + c_2q_2 + c_{22}(1 - q_2) - C_0), \quad (3)$$

где c_1 – удельная стоимость контроля первого этапа.

Возьмем производные от функции Лагранжа по аргументам, приравняем их к нулю, получим систему уравнений:

$$\frac{\partial L_1(q_1, q_2, \gamma)}{\partial q_1} = 0, \quad \frac{\partial L_1(q_1, q_2, \gamma)}{\partial q_2} = 0, \quad \frac{\partial L_1(q_1, q_2, \gamma)}{\partial \gamma} = 0. \quad (4)$$

Решая приведенную систему уравнений, получим значения q_1 и q_2 , обеспечивающие максимум достоверности результатов проверки СИ P при ограничении на стоимость системы контроля C_0 .

В формулировке обратной оптимизационной задачи требуется обеспечить заданную достоверность результатов проверки СИ $P(q_1, q_2) = P_0$ при минимуме

стоимости системы контроля $C(q_1, q_2) \rightarrow \min$.

Для решения этой задачи используется функция Лагранжа вида

$$L_2(q_1, q_2, \gamma) = c_1 q_1 + c_2 q_2 + c_{22}(1 - q_2) + \gamma \left(\frac{P_1(t_1) q_1 P_2(t_2) q_2}{1 - P_2(t_2)(1 - q_2)} - P_0 \right). \quad (5)$$

Дифференцируя функцию (5) по q_1 , q_2 и γ , приравнявая результаты к нулю, получим систему уравнений:

$$\frac{\partial L_2(q_1, q_2, \gamma)}{\partial q_1} = 0, \quad \frac{\partial L_2(q_1, q_2, \gamma)}{\partial q_2} = 0, \quad \frac{\partial L_2(q_1, q_2, \gamma)}{\partial \gamma} = 0. \quad (6)$$

Решая (6), находим искомые значения q_1 и q_2 , обеспечивающие заданную вероятность безошибочной работы АРМ по поверке СИ P_0 при минимуме стоимости функционирования системы контроля C .

Пример. На основании статистических данных проведенных испытаний для АРМ по поверке СИ получены плотности распределений случайных величин вероятностей безошибочной работы $f_1(t)$ и $f_2(t)$ 1 и 2 этапов соответственно (см. рис. 1). Они подчинены нормальному закону с характеристиками $m_1 = 3$, $\sigma_1 = 1$ и $m_2 = 5$, $\sigma_2 = 1.2$ соответственно.

Заданы: удельная стоимость контроля первого этапа $c_1 = 40$ у.е., удельные стоимости контроля второго этапа при прямом $c_2 = 40$ у.е. и обратном $c_{22} = 20$ у.е. переходах, длительности $t_1 = 4.29$ мин., $t_2 = 6.01$ мин., 1 и 2 этапов соответственно.

1. При решении варианта а) прямой оптимизационной задачи требуется обеспечить максимальную достоверность результатов поверки СИ $P(q_2) \rightarrow \max$ при ограничении на стоимость системы контроля $C(q_2) = C_0 = 38$ у.е. при заданных удельных стоимостях контроля второго этапа.

Подставим исходные данные в функцию Лагранжа (1). Продифференцируем функцию сначала по аргументу q_2 , потом по аргументу γ . Приравнявая полученные выражения к нулю, получим систему уравнений. Решив систему уравнений, получим значение оптимальной достоверности контроля второго этапа $q_2 = 0.9$, необходимое для обеспечения максимума достоверности результатов поверки СИ, которая составит $P(q_2) = 0.7$, при заданном ограничении на стоимость системы контроля $C_0 = 38$ у.е.

2. При решении варианта б) прямой оптимизационной задачи требуется обеспечить максимальную достоверность результатов поверки СИ $P(q_1, q_2) \rightarrow \max$ при ограничении на стоимость системы контроля $C(q_1, q_2) = C_0 = 65$ у.е. при заданных удельных стоимостях контроля первого и второго этапов. Подставим исходные данные в уравнение (3), продифференцируем (3) по соответствующим аргументам и приравняем полученные выражения к нулю. Решив полученную систему уравнений, найдем оптимальные значения достоверностей контроля этапов 1 и 2: $q_1 = 0.86$, $q_2 = 0.54$, необходимых для того, чтобы обеспечить максимум достоверности результатов поверки СИ, которая составит $P(q_1, q_2) = 0.67$, при заданном ограничении на стоимость системы контроля $C_0 = 65$ у.е.

3. В формулировке обратной задачи оптимизации требуется обеспечить заданную достоверность результатов поверки СИ $P(q_1, q_2) = P_0 = 0.6$ при минимуме стоимости системы контроля $C(q_1, q_2) \rightarrow \min$.

Для решения этой задачи функция Лагранжа представляется в виде (5). Подставим в формулу (5) исходные данные, продифференцируем (5) по аргументам q_1 , q_2 , γ и, приравняв полученные выражения к нулю, получим систему уравнений. Решив найдем искомые значения $q_1 = 0.96$ и $q_2 = 0.58$, обеспечивающие заданную вероятность безошибочной работы АРМ по поверке СИ $P_0 = 0.6$ при минимуме стоимости функционирования системы контроля C , равной 69.74 у.е.

Заключение

Используя предложенный подход, можно решить оптимизационные задачи и для более сложных вариантов построения графа процесса функционирования АРМ по поверке СИ, с наличием большего числа этапов и обратных связей. Однако это приводит к усложнению математических расчетов, что требует дополнительного моделирования и экспериментальных исследований.

Решения систем уравнений (2), (4) и (6) могут быть получены как в аналитическом виде для простых функций, так и численными методами, – например, с использованием процедур программы MathCad.

Полученные результаты могут быть использованы при обосновании требований к методам и средствам контроля автоматизированных рабочих мест различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусеница Я.Н., Новиков А.Н., Малахов А.В., Шерстобитов С.А. Метрология, стандартизация и сертификация / под ред. А.Н. Дорохова. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2016.
2. Гусеница Я.Н., Малахов А.В. Имитационная модель функционирования реконфигурируемых метрологических комплексов в условиях неопределенности информации о моментах поступления средств измерений на метрологическое обслуживание // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2016. – № III-1(27). Науки о природе и технике. – С. 32-46.
3. Смагин В.А., Шерстобитов С.А. Оценивание длительности и количества информационной работы в цикле управляющей сети // Информация и космос. – 2016. – № 1. – С. 75-79.
4. Шерстобитов С.А., Новиков А.Н. Определение критичности узлов информационной управляющей сети с учетом контроля // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2016. – № III-1(27). Науки о природе и технике. – С. 47-52.
5. Смирнов В.И. Курс высшей математики. – Т.1. – М.: ГИТТЛ, 1956.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Е.А. Шеленком.

E-mail:

Шерстобитов Сергей Александрович – radosti_yad@mail.ru.