

А. А. КОВЕЛЬ, С. В. ПОКИДЬКО

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА В УСЛОВИЯХ ФАКТОРНОЙ НИШИ

Рассмотрена специфика математического планирования эксперимента при разработке электронных устройств космической аппаратуры, функционирующих в одинаковых эксплуатационных условиях.

Ключевые слова: планирование эксперимента, функциональный узел, факторная ниша.

Практика математического планирования эксперимента (МПЭ) широко применяется в технологии наземной экспериментальной отработки [1, 2] электронных устройств космического приборостроения. Использование МПЭ [3] в этой области позволило расширить спектр прикладных и интерпретационных возможностей метода посредством введения понятия групповых математических моделей, формирования испытательных тестов, „восстановления“ результатов нереализованных экспериментов, оценки запасов работоспособности функциональных узлов и их совместимости в единой структуре и др. [1]. Одной из таких возможностей МПЭ стало моделирование процесса совместного функционирования узлов аппаратуры, исследованных автономно (иногда на разных предприятиях), но предназначенных для работы в составе одного прибора или устройства бортовой аппаратуры космического аппарата (КА),

когда эксплуатационные воздействия являются общими для всех ее составляющих. Такими воздействиями (факторами) могут быть температура, напряжения питания, уровни помех, механические воздействия и др. Единство уровней факторов и их случайных изменений позволяет объединить их понятием факторная ниша.

Проиллюстрируем это на примере двух функциональных узлов (далее — узлов 1 и 2), работающих в составе одного устройства (рис. 1).

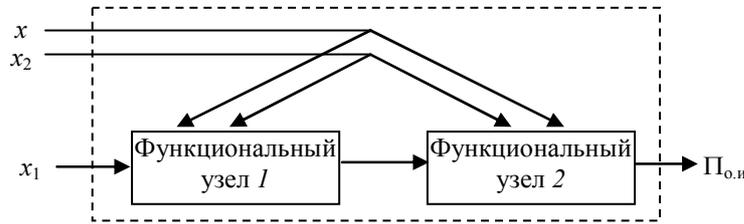


Рис. 1

Исходным массивом являются результаты МПЭ при обработке первого узла. Для выявления влияния внутренних факторов (разброса параметров активных и пассивных элементов узла), МПЭ проводят на κ образцах [2], и результаты планирование формируют коридор откликов (рис. 2), которые являются отражением малой выборки [4] и не охватывают весь диапазон возможных разбросов параметров объекта исследования ($\Pi_{o,и}$). Вследствие ограниченных ресурсов экспериментальной отработке, как правило, подвергаются не более 10 образцов ($\kappa \leq 10$), поэтому разбросы результатов опытов на других образцах могут быть спрогнозированы, например, путем использования аппарата толерантных пределов [5, 6]:

$$\Pi'_{o,и} = \Pi_{ср} \pm \kappa^t S(\Pi)_N,$$

где $\Pi'_{o,и}$ — возможные толерантные пределы ($\underline{\Pi}'$ — нижний, $\overline{\Pi}'$ — верхний) для каждого опыта; $\Pi_{ср}$ — среднее значение результатов $\Pi_{o,и}$ для κ образцов при каждом опыте; κ^t — табулированный коэффициент; $S(\Pi)_N$ — оценка среднеквадратичного отклонения $\sigma(\Pi)$ при каждом опыте.

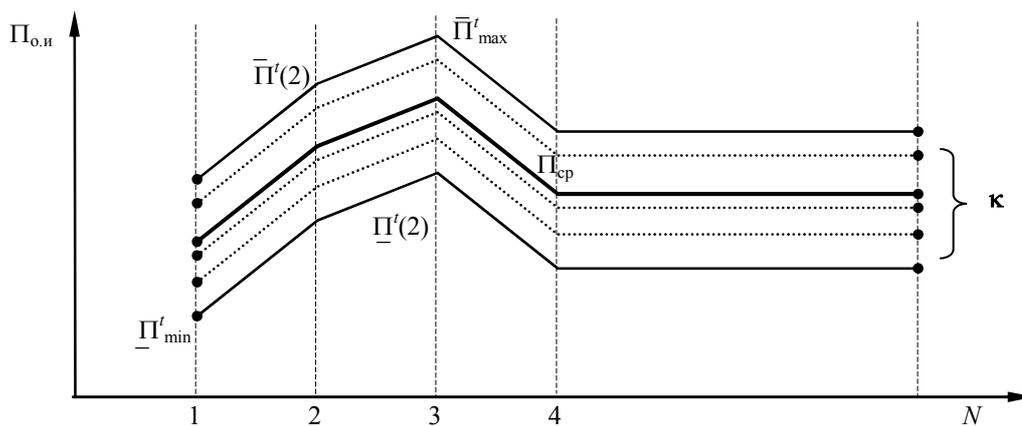


Рис. 2

Пусть представленная факторограмма (см. рис. 2) отражает результаты МПЭ для узла 1 (по оси абсцисс — номера 1, 2, 3, ..., N опытов согласно матрице планирования, по оси ординат — результаты, полученные в ходе каждого опыта). Тогда экстремальные отклонения ($\underline{\Pi}'_{min}, \overline{\Pi}'_{max}$) при традиционном планировании должны быть выбраны в качестве уровней

варьирования $(-1, +1)$ выходного параметра $\Pi_{\text{вых}}$ узла 1, являющегося входным фактором для узла 2 (см. рис. 1). Однако анализ совместной работы двух узлов, функционирующих в условиях общей факторной ниши, показывает, что при 1-м опыте фиксируются одни параметры Π_{min} и Π_{max} [$\underline{\Pi}^t(1), \overline{\Pi}^t(1)$], при 2-м опыте — другие параметры $\underline{\Pi}^t(2), \overline{\Pi}^t(2)$ и т.д. Таким образом, только варьируя значение $\Pi_{\text{вх}}$ узла 2 на уровнях, соответствующих $\underline{\Pi}^t(N), \overline{\Pi}^t(N)$, т.е. на нижнем и верхнем уровнях $\Pi_{\text{о.и}}$ при каждом $(N\text{-м})$ опыте, полученных для узла 1, можно корректно воспроизвести совместную работу узлов 1 и 2 в условиях общей факторной ниши.

Если МПЭ для узла 2 будет проведено при других уровнях входных воздействий, то полученные результаты не будут корректно отражать предстоящую совместную работу функциональных узлов.

Рассмотрим матрицу планирования (МП) (рис. 3), отражающую результаты, представленные на факторограмме (см. рис. 2). Так как на функциональные узлы воздействуют три фактора (x_1, x_2, x_3) , в традиционной МП предусмотрены 8 опытов (в предположении линейной модели), но, учитывая результаты опытов для \mathbf{k} образцов при одинаковой совокупности факторов, следует каждый опыт связывать с двумя результатами: в первом опыте — $\underline{\Pi}^t(1), \overline{\Pi}^t(1)$, во втором — $\underline{\Pi}^t(2), \overline{\Pi}^t(2)$ и т.д.

Номер опыта	x_1		x_2	x_3	$\Pi_{\text{о.и}}$
	+	$\overline{\Pi}^t$			
1	+	$\overline{\Pi}^t(1)$	+	+	
	+	$\underline{\Pi}^t(1)$	+	+	
2	-	$\overline{\Pi}^t(2)$	+	+	
	-	$\underline{\Pi}^t(2)$	+	+	
3	+	$\overline{\Pi}^t(3)$	-	+	
	+	$\underline{\Pi}^t(3)$	-	+	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
8	-	$\overline{\Pi}^t(8)$	-	-	
	-	$\underline{\Pi}^t(8)$	-	-	

Рис. 3

Для исследования узла 2 в тех же условиях (одна факторная ниша) факторы взаимодействия ($\Pi_{\text{вых}}$ узла 1 = $\Pi_{\text{вх}}$ узла 2) воспроизводятся на тех уровнях, которые могли быть зафиксированы при совместной работе узлов 1 и 2. Тогда в МП для узла 2, составленной с учетом этих соображений, будет отражено при трех факторах (x_1, x_2, x_3) вдвое больше опытов, но воспроизведены результаты для \mathbf{k} образцов обоих узлов (см. рис. 3). Полученные результаты при реализации МП позволяют построить математические модели для параметра $\Pi_{\text{ср}}$ узлов 1 и 2 (базовая модель) и возможных нижних и верхних толерантных пределов $(\underline{\Pi}^t, \overline{\Pi}^t) \Pi_{\text{о.и}}$.

Такое моделирование совместной работы функциональных узлов продуктивно и при другом их количестве (рис. 4). При этом чтобы моделировать совместную работу, например,

трех узлов при возможных вариациях внутренних факторов каждого (k -выборки), в МП должно быть представлено варьирование уровней $\underline{\Pi}^t(N), \overline{\Pi}^t(N)$ каждого узла, как при традиционном планировании эксперимента [3].

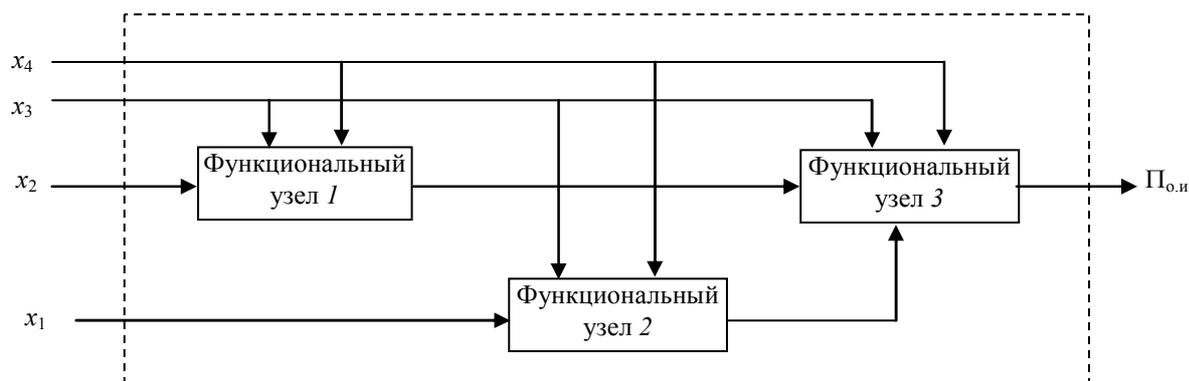


Рис. 4

Исследования, результаты которых представлены в настоящей статье, выполнены в рамках Федеральной целевой программы „Научные и научно-педагогические кадры инновационной России“ на 2009—2013 гг., гос. контракт № 02.740.11.0621.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковель А. А., Покидько С. В. Математическое планирование эксперимента при отработке электронных устройств // Изв. вузов. Приборостроение. 2008. Т. 51, № 8. С. 13—18.
2. Ковель А. А. Установление допусков на параметры электронных устройств по результатам многофакторного эксперимента // Там же. С. 18—22.
3. Барабашук В. И. и др. Планирование эксперимента в технике. Киев: Техника, 1984.
4. Гаскаров Д. В., Шаповалов В. И. Малая выборка. М.: Статистика, 1978.
5. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики. М.: Наука, 1969.
6. Мюллер П. и др. Таблицы по математической статистике. М.: Финансы и статистика, 1982.

Сведения об авторах

- Анатолий Архипович Ковель** — д-р техн. наук, профессор; Сибирский государственный аэрокосмический университет им. акад. М.Ф. Решетнёва, кафедра космических информационных систем, Красноярск; E-mail: kovel.bogdan@mail.ru
- Сергей Владимирович Покидько** — канд. техн. наук; Сибирский федеральный университет, Железногорский филиал; E-mail: elin@krasmail.ru

Рекомендована СибГАУ

Поступила в редакцию
19.11.10 г.