

УДК 519.718

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства

**ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ОДНОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Царев<sup>1</sup> Юрий Александрович  
д-р техн.наук, профессор  
AuthorID автора: 775075  
[ycarev@donstu.ru](mailto:ycarev@donstu.ru)

Зубрилина<sup>1</sup> Елена Михайловна  
к-т техн.наук, доцент  
SPIN-код: 3173-8875, AuthorID: 328498  
[Elena-zubrilina@rambler.ru](mailto:Elena-zubrilina@rambler.ru)

Грошев<sup>1</sup> Леонид Матвеевич  
д-р техн.наук, профессор  
AuthorID автора: 605446

Полушкин<sup>1</sup> Олег Алексеевич  
д-р техн.наук, профессор  
AuthorID автора: 601390

Хозяев<sup>1</sup> Игорь Алексеевич  
д-р техн.наук, профессор  
AuthorID автора: 105198

Чистяков<sup>1</sup> Андрей Дмитриевич  
д-р техн.наук, профессор  
AuthorID автора: 775075

Максимов<sup>2</sup> Валерий Павлович  
д-р техн.наук, профессор  
[mashprirod@ngma.su](mailto:mashprirod@ngma.su)  
SPIN-код: 4475-3145, AuthorID: 374868  
<sup>1</sup>Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия  
<sup>2</sup>Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт Донской ГАУ, Новочеркасск, Россия

Рассматривается вариант параметрического представления сложного изделия однократного использования в процессе его создания при испытаниях, когда при конструкционных отказах изделия или его составных частей по одному или нескольким параметрам, задаваемым в техническом задании, требуется проведение доработок, ведущих к изменению генеральной совокупности и повторению испытаний, однако возможно сокращение объемов испытаний за счет учета априорной информации. Особенно это актуально при обеспечении надежности сложных изделий однократного использования, составные части которых проходят вначале этапы наземных испытаний, а уже затем в составе сложных изделий – этапы летных испытаний. Конструкционный

UDC 519.718

05.20.01 Technologies and means of agricultural mechanization

**FEATURES OF TECHNICAL RISK ASSESSMENT UNDER NON-DETERMINISTIC STOCHASTIC PARAMETERS**

Tsarev Yuri Alexandrovich  
Dr.Sci.Tech., Professor  
AuthorID: 775075  
[ycarev@donstu.ru](mailto:ycarev@donstu.ru)

Zubrilina Elena Mikhailovna  
Cand.Tech.Sci., associate Professor  
SPIN-code: 3173-8875, AuthorID: 328498  
[Elena-zubrilina@rambler.ru](mailto:Elena-zubrilina@rambler.ru)

Groshev Leonid Matveevich  
Dr.Sci.Tech., Professor  
AuthorID: 605446

Polushkin Pleg Alekseevich  
Dr.Sci.Tech., Professor  
AuthorID: 601390

Khozyaev Igor Alekseevich  
Dr.Sci.Tech., Professor  
AuthorID: 105198

Chistyakov Andrey Dmitrievich  
Dr.Sci.Tech., Professor  
AuthorID: 775075

Maximov Valery Pavlovich  
Dr.Sci.Tech., Professor  
[mashprirod@ngma.su](mailto:mashprirod@ngma.su)  
SPIN-code: 4475-3145, AuthorID: 374868  
*Don state technical University, Rostov-on-don, Russia*  
*Novocherkassk engineering and land reclamation Institute of don state agrarian University, Novocherkassk, Russia*

The article considers a variant of parametric representation of a complex product of single use in the process of its creation during tests, when structural failures of the product or its components in one or more parameters specified in the technical specification require modifications leading to a change in the general amount and repeating of the tests, but it is possible to reduce the volume of tests by taking into account a priori information. This is especially up-to-date while ensuring the reliability of complex single – use products, the components of which are first stages of ground tests, and only then as part of complex products-the stages of flight tests. Structural failure of any component of such a product at the stage of ground tests does not lead to such consequences as if it occurred during flight tests as part of the product.

отказ любого составного элемента такого изделия на этапе наземных испытаний не приводит к таким последствиям, как если бы он произошел при летных испытаниях в составе изделия. Между тем, доработка составного элемента изделия однократного использования, конструкционный отказ которого произошел на этапе летных испытаний в составе изделия, и оценка ее эффективности, может быть проведена на этапе наземных испытаний, в случае рассмотрения сложного изделия в параметрическом виде. Это может значительно снизить затраты на летные испытания сложного изделия, в случае эффективной доработки составного элемента изделия на этапе наземных испытаний, без существенного (временного) снижения общей надежности сложного изделия однократного использования

Ключевые слова: НАДЕЖНОСТЬ ИЗДЕЛИЙ, ИСПЫТАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ, АПРИОРНАЯ ИНФОРМАЦИЯ, ПЛАНЫ ИСПЫТАНИЙ, ПРОГРАММА ИСПЫТАНИЙ

Meanwhile, the refinement of the component element of a single-use product, the structural failure of which occurred at the stage of flight tests as part of the product, and the assessment of its effectiveness, can be carried out at the stage of ground tests, in the case of consideration of a complex product in parametric form. This can significantly reduce the cost of flight testing of a complex product, in the case of effective completion of the component element of the product at the stage of ground tests, without a significant (temporary) decrease in the overall reliability of a complex single-use product

Keywords: PRODUCT RELIABILITY, RELIABILITY TESTS, A PRIORI INFORMATION, TEST PLANS, TEST PROGRAM

Doi: 10.21515/1990-4665-146-002

Перед разработчиком сложных изделий однократного использования (в дальнейшем «изделия») всегда стоит задача минимизация объемов испытаний, при выполнении требований технических заданий (ТЗ) по надежности [1,2].

При разработке и создании сложного изделия в Программе испытаний, в каждом виде испытаний  $j = \overline{1, p}$ , устанавливается определенное количество изделий  $n_j (n_i = 0, 1, 2, \dots)$ , которое необходимо испытать в каждом виде испытаний для подтверждения требований ТЗ [3,4].

Если в ТЗ на каждый параметр изделия задаются показатели надежности, например, в виде нижней границы вероятности безотказной работы ( $P^{TP}; 1$ ), при определенной доверительной вероятности  $\gamma^{TP}$  (для случая малой выборки), то процесс создания такого изделия можно представить в виде непрерывной цепочки роста безотказной работы по каждому параметру, в случае отсутствия отказов [5]

$$\underline{P}_y (Y \in \{Y^A\}) \geq \underline{P}_y^{\text{TP}}, \quad (1)$$

где  $Y = [y_1, \dots, y_d]$ ,  $\forall y_i \in \{y_i^A\}$ ,  $i = \overline{1, d}$ , - вектор выходных параметров (энергетических, тяговых, производственных и других характеристик, определяющих изделие как объект использования), удовлетворяющих критерию пригодности,

где  $\{y_i^A\}$  — область допустимых значений параметров  $y_i$ , задаваемая в ТЗ, в виде одностороннего сверху (снизу) или двустороннего ограничения;

$\underline{P}_y, \underline{P}_y^{\text{TP}}$  — условие безотказной работы и критерий качества, задаваемый на выходные параметры  $Y$  изделия в ТЗ, в виде нижней границы вероятности безотказной работы, при определенной доверительной вероятности.

В случае отказа изделия или его составных частей в любом виде испытаний, происходит остановка испытаний, выявляется причина, производится доработка изделия или его составной части, при этом меняется генеральная совокупность, и если отказ носит конструкционный характер, то все испытания необходимо начинать сначала, чтобы проверить эффективность доработки и выполнить требования ТЗ по созданию изделия. Это характерно, если рассматривается изделие, как систему, состоящую из отдельных элементов (рис. 1) [6,7].

А если конструкционные отказы идут часто и изделие дорогое, то может возникнуть ситуация, когда надо вообще отказаться от создания такого изделия по затратам или срокам на его создание.

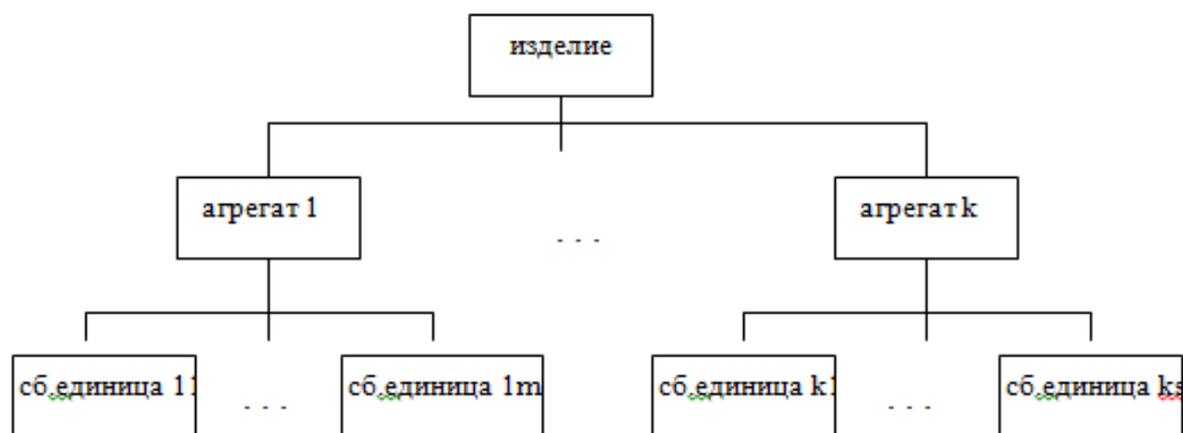


Рис. 1. - Структурная схема изделия, как системы, состоящей из отдельных элементов

Если рассматривать изделие в процессе его создания в виде непрерывной цепочки роста безотказной работы по каждому параметру, то в случае появления конструкционных отказов, и успешных доработок в любом виде испытаний по определенному параметру, возникает возможность использовать априорную информацию за счет учета прошлых положительных испытаний, тем самым сокращая общий объем испытаний по сравнению с представлением изделия в виде системы, состоящей из отдельных элементов.

Например, для некоторой структуры изделия (рис. 2):  $d = 3$  - количество выходных параметров и  $p = 5$  - количество видов испытаний, можно процесс испытаний представить в параметрическом виде [8-10].

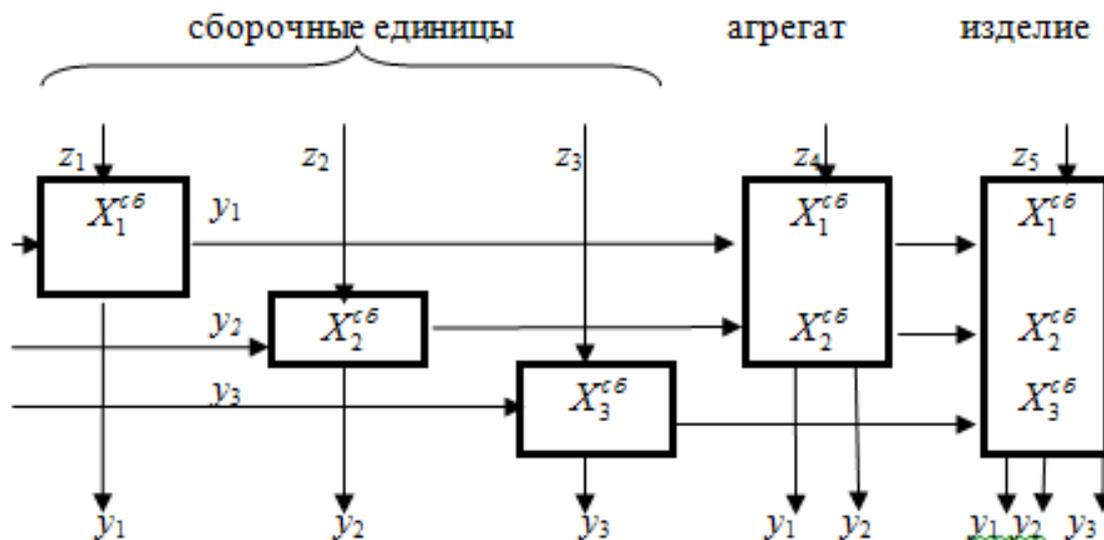


Рис. 2. - Процесс испытания изделия, представленный в параметрическом виде

В данной структуре  $Z = [z_1, z_2, z_3, z_4, z_5], j = \overline{1,5}$  — некоторая программа испытаний, состоящая из видов испытаний, определяемых ТЗ;  $Y = [y_1, y_2, y_3], i = \overline{1,3}$  — некоторый вектор выходных контролируемых параметров;  $X = [X_1^{сб}, X_2^{сб}, X_3^{сб}]$  — некоторый вектор конструкционных параметров [11,12].

Функциональная модель изделия в общем случае может быть представлена [1,2,13]:

$$Y = f(X, Z, N), \tag{2}$$

где  $Z = [z_1, \dots, z_p], j = \overline{1, p}$  - вектор видов испытаний, устанавливаемый требованиями программой испытаний из ТЗ;  $X = [x_1, \dots, x_b], \forall x_r \in \{x_r^d\}, r = \overline{1, b}$ , - вектор параметров (геометрических, массовых, физико-химических и других характеристик, определяющих изделие как объект производства), удовлетворяющих критерию пригодности,

где  $\{x_r^d\}$  — область допустимых значений параметров  $x_r$ , задаваемая в конструкторской документации (КД), в виде одностороннего сверху

(снизу) или двустороннего ограничения;  $N = [n_1, \dots, n_p]$ ,  $j = \overline{1, p}$  - вектор повторностей объектов испытаний изделия (изделия или его составных частей) в каждом виде испытаний [14,15].

Решение поставленной задачи (1,2) возможно путем введения целевой функции по затратам или по времени на создание изделия, в виде задачи оптимального планирования и управления испытаниями, например, по затратам [2,5]:

$$C = \min, \underline{P} \geq \underline{P}^{TP}, T \leq T^{TP}, \quad (3)$$

где  $C$  — затраты на испытания, связанные с разработкой и созданием изделия;  $\underline{P}^{TP}, T^{TP}$  — соответственно требуемые значения надежности и времени на разработку и создание изделия.

Время и стоимость на разработку и создание изделия зависит от количества образцов изделий, изготавливаемых и поставляемых на испытания, а также от затрат, например, связанных с испытательной базой  $C^{\sigma}$ . При этом ограничение по времени часто снимается, тогда задача оптимизации (3) будет иметь вид:

найти  $n^*$ , из условия  $\min$  :

$$C = C(X, Z, N) + C^{\sigma} \quad (4)$$

$$x^* \in X; z^* \in Z; n^* \in N,$$

при ограничениях:

$$\underline{P}_Y(Y \in \{Y^A\}) \geq \underline{P}_Y^{TP}; \quad (5)$$

где  $n^*$  — параметры оптимизации на объемы испытаний;  $x^*, z^*$  - условия соответствия конструкционным параметрам и видам испытаний, связанных с разработкой и созданием изделия [10, 12].

Если воспользоваться при оценке результатов испытаний биномиальной схемой, когда рассматривается последовательность  $n_j$  независимых испытаний, проводимых в одинаковых условиях, в каждом из которых возможно два исхода: успех или отказ, то при малом числе

испытаний лучшей оценкой  $P_{ij}$  является использование доверительных интервалов  $[\underline{P}_{ij}, \bar{P}_{ij}]$  при доверительных вероятностей  $\gamma_{ij}$ , которые могут определяться из уравнений Клоппера-Пирсона [4-6]:

$$1 - \gamma_{ij} = \sum_{m_{ij}=0}^{k_{ij}} C_{n_{ij}}^{m_{ij}} \underline{P}_{ij}^{(n_{ij}-m_{ij})} (1 - \underline{P}_{ij})^{m_{ij}}, \quad (6)$$

$$1 - \gamma_{ij} = \sum_{m_{ij}=k_{ij}}^{n_{ij}} C_{n_{ij}}^{m_{ij}} \bar{P}_{ij}^{(n_{ij}-m_{ij})} (1 - \bar{P}_{ij})^{m_{ij}}, \quad (7)$$

описывая тем самым биномиальное распределение  $(n_{ij} - m_{ij})$ ,

где  $C_{n_{ij}}^{m_{ij}} = \frac{n_{ij}!}{m_{ij}!(n_{ij} - m_{ij})!}$ ;  $\underline{P}_{ij}, \bar{P}_{ij}$  — корни уравнений Клоппера-Пирсона;  $\underline{P}_{ij}$

— нижняя граница изделия по  $i$ -му параметру в  $j$ -ом виде испытаний, при плане приемочного контроля  $\underline{P}_{ij} \geq \underline{P}_{ij}^{tp}$ ;  $\bar{P}_{ij}$  — верхняя граница ВБР изделия;  $m_{ij} = 0, 1, 2, \dots$  — количество конструкционных отказов, когда  $y_{ij} \notin \{y_i^n\}$ .

Рассмотрим задачу (рис. 2), связанную с расчетом объема испытаний для случая  $m_{ij}=0$ , когда для всех параметров ставят условия:  $\underline{P}_{ij}^{tp} = 0,9; \gamma_{ij}^{tp} = 0,9$ ;  $i = \overline{1,3}$ , значимость каждого вида испытаний  $P_1^e - P_3^e = 0,33; P_4^e = 0,67; P_5^e = 1$ ;  $\underline{P}_j^b = 0,9; j = \overline{1,5}$ , затраты связанные с испытаниями на каждом из видов  $C_1 - C_3 = 1; C_4 = 2; C_5 = 5$ ;  $C^e$  — не учитывается;  $x^* \in X$  и  $z^* \in Z$  — определены.

Математически задачу (4 - 7) можно представить [1, 2]:

$$\min: C = C_1N_1 + C_2N_2 + C_3N_3 + C_4N_4 + C_5N_5 \tag{8}$$

$$n^* \in N$$

$$\left. \begin{aligned} \underline{P}_1^{TP} &\leq 1 - (1 - \underline{P}_{11}^{TP})(1 - \underline{P}_{14}^{TP})(1 - \underline{P}_{15}^{TP}); \\ \underline{P}_2^{TP} &\leq 1 - (1 - \underline{P}_{22}^{TP})(1 - \underline{P}_{24}^{TP})(1 - \underline{P}_{25}^{TP}); \\ \underline{P}_3^{TP} &\leq 1 - (1 - \underline{P}_{33}^{TP})(1 - \underline{P}_{35}^{TP}), \\ \underline{P}_{11}^{TP} &\leq \underline{P}'_{11} = P_1^6 \underline{P}_{11} = P_1^6 f_2(n_{11}, m_{11}, \gamma^{mp}); \\ \underline{P}_{14}^{TP} &\leq \underline{P}'_{14} = P_4^6 \underline{P}_{14} = P_4^6 f_2(n_{14}, m_{14}, \gamma^{mp}); \\ \underline{P}_{15}^{TP} &\leq \underline{P}'_{15} = P_5^6 \underline{P}_{15} = P_5^6 f_2(n_{15}, m_{15}, \gamma^{mp}); \\ \underline{P}_{22}^{TP} &\leq \underline{P}'_{22} = P_2^6 \underline{P}_{22} = P_2^6 f_2(n_{22}, m_{22}, \gamma^{mp}); \\ \underline{P}_{24}^{TP} &\leq \underline{P}'_{24} = P_4^6 \underline{P}_{24} = P_4^6 f_2(n_{24}, m_{24}, \gamma^{mp}); \\ \underline{P}_{25}^{TP} &\leq \underline{P}'_{25} = P_5^6 \underline{P}_{25} = P_5^6 f_2(n_{25}, m_{25}, \gamma^{mp}); \\ \underline{P}_{33}^{TP} &\leq \underline{P}'_{33} = P_3^6 \underline{P}_{33} = P_3^6 f_2(n_{33}, m_{33}, \gamma^{mp}); \\ \underline{P}_{35}^{TP} &\leq \underline{P}'_{35} = P_5^6 \underline{P}_{35} = P_5^6 f_2(n_{35}, m_{35}, \gamma^{mp}), \end{aligned} \right\} \tag{9}$$

$$N_1^* = n_{11}, \quad N_2^* = n_{22}, \quad N_3^* = n_{33}, \quad N_4^* = \max(n_{14}; n_{24}), \quad N_5^* = \max(n_{15}; n_{25}; n_{35}),$$

или после подстановки числовых значений в (8, 9):

$$\min: C = N_1 + N_2 + N_3 + 2N_4 + 5N_5$$

$$n^* \in N$$

$$\left. \begin{aligned} 0,9 &\leq 1 - (1 - \underline{P}_{11}^{TP})(1 - \underline{P}_{14}^{TP})(1 - \underline{P}_{15}^{TP}); \\ 0,9 &\leq 1 - (1 - \underline{P}_{22}^{TP})(1 - \underline{P}_{24}^{TP})(1 - \underline{P}_{25}^{TP}); \\ 0,9 &\leq 1 - (1 - \underline{P}_{33}^{TP})(1 - \underline{P}_{35}^{TP}); \\ \underline{P}_{11}^{TP} &\leq \underline{P}'_{11} = 0,33 \underline{P}_{11} = 0,33 f_2(n_{11}, 0, 0,9); \\ \underline{P}_{14}^{TP} &\leq \underline{P}'_{14} = 0,67 \underline{P}_{14} = 0,67 f_2(n_{14}, 0, 0,9); \\ \underline{P}_{15}^{TP} &\leq \underline{P}'_{15} = \underline{P}_{15} = f_2(n_{15}, 0, 0,9); \\ \underline{P}_{22}^{TP} &\leq \underline{P}'_{22} = 0,33 \underline{P}_{22} = 0,33 f_2(n_{22}, 0, 0,9); \end{aligned} \right\}$$

$$\underline{P}_{24}^{TP} \leq \underline{P}'_{24} = 0,67 \quad \underline{P}_{24} = 0,67 f_2(n_{24}, 0, 0,9);$$

$$\underline{P}_{25}^{TP} \leq \underline{P}'_{25} = \underline{P}_{25} = f_2(n_{25}, 0, 0,9);$$

$$\underline{P}_{33}^{TP} \leq \underline{P}'_{33} = 0,33 \quad \underline{P}_{33} = 0,33 f_2(n_{33}, 0, 0,9);$$

$$\underline{P}_{35}^{TP} \leq \underline{P}'_{35} = \underline{P}_{35} = f_2(n_{35}, 0, 0,9),$$

$N_1^* = n_{11}, N_2^* = n_{22}, N_3^* = n_{33}, N_4^* = \max(n_{14}; n_{24}), N_5^* = \max(n_{15}; n_{25}; n_{35}).$

Это задача нелинейного программирования, где: (8) – целевая функция, (9) – нелинейные ограничения, которая может быть решена с помощью программы, методом направленного перебора (например, по первому параметру, рис. 3) [3, 4].

Для формирования программы испытаний изделия для случая, когда все  $m_{ij} = 0$ :  $N_1^* = 2, N_2^* = 2, N_3^* = 6, N_4^* = 2, N_5^* = 17, C = 91.$

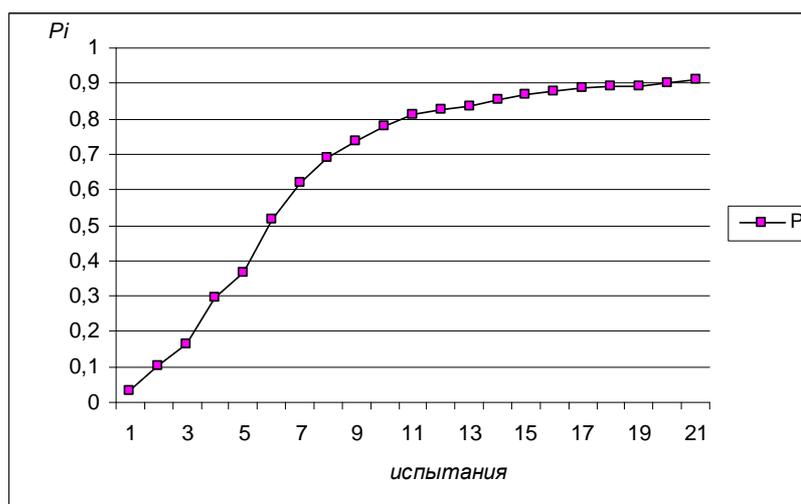


Рис. 3. - Рост надежности изделия по первому параметру ( $N_1^* = 2, N_4^* = 2, N_5^* = 17, m_{ij} = 0$ )

Предположим, что на пятом этапе, что характерно для ЛИ изделий в десятом испытании по первому параметру произошел конструкционный отказ ( $m_{15} = 1$ ). Как должна измениться программа испытаний с учетом априорной информации, если причина установлена и проведена

доработка? В противном случае, после доработки, все 17 испытаний надо проводить заново.

В этом случае математическая задача (8, 9) может принять вид [1]:

$$\min: C = N_1 + N_2 + N_3 + 2N_4 + 5N_5$$

$$n^* \in N$$

$$0,9 \leq 1 - (1 - \underline{P}_{11}^{TP})(1 - \underline{P}_{14}^{TP})(1 - \underline{P}_{15}^{TP});$$

$$0,9 \leq 1 - (1 - \underline{P}_{22}^{TP})(1 - \underline{P}_{24}^{TP})(1 - \underline{P}_{25}^{TP});$$

$$0,9 \leq 1 - (1 - \underline{P}_{33}^{TP})(1 - \underline{P}_{35}^{TP}),$$

$$\underline{P}_{11}^{TP} \leq \underline{P}'_{11} = 0,33 \quad \underline{P}_{11} = 0,33 f_2(n_{11}, 0, 0,9);$$

$$\underline{P}_{14}^{TP} \leq \underline{P}'_{14} = 0,67 \quad \underline{P}_{14} = 0,67 f_2(n_{14}, 0, 0,9);$$

$$\underline{P}_{15}^{TP} \leq \underline{P}'_{15} = \underline{P}_{15}^H + \underline{P}_{15} (\underline{P}_{15}^B - \underline{P}_{15}^H);$$

$$\underline{P}_{15} = f_2(n_{15}, 0, 0,9);$$

$$\underline{P}_{15}^H = f_2(10, 1, 0,9) = 0,663; \forall \underline{P}'_{ij} \in [\underline{P}_{15}^H, \underline{P}_{15}^B];$$

$$\underline{P}_{15}^B = 0,9;$$

$$\underline{P}_{22}^{TP} \leq \underline{P}'_{22} = 0,33 \quad \underline{P}_{22} = 0,33 f_2(n_{22}, 0, 0,9);$$

$$\underline{P}_{24}^{TP} \leq \underline{P}'_{24} = 0,67 \quad \underline{P}_{24} = 0,67 f_2(n_{24}, 0, 0,9);$$

$$\underline{P}_{25}^{TP} \leq \underline{P}'_{25} = \underline{P}_{25} = f_2(n_{25}, 0, 0,9);$$

$$\underline{P}_{33}^{TP} \leq \underline{P}'_{33} = 0,33 \quad \underline{P}_{33} = 0,33 f_2(n_{33}, 0, 0,9);$$

$$\underline{P}_{35}^{TP} \leq \underline{P}'_{35} = \underline{P}_{35} = f_2(n_{35}, 0, 0,9),$$

$N_1^* = n_{11}, N_2^* = n_{22}, N_3^* = n_{33}, N_4^* = \max(n_{14}; n_{24}), N_5^* = \max(n_{15}; n_{25}; n_{35})$ .

Решая задачу математического программирования относительно  $N$ , когда  $m_{15} = 1$  [3, 4]:

$$N_1^* = 2+2, N_2^* = 2, N_3^* = 6, N_4^* = 2+1, N_5^* = 10+8, C = 100.$$

Графически это можно представить, например, для первого параметра, рис. 4.

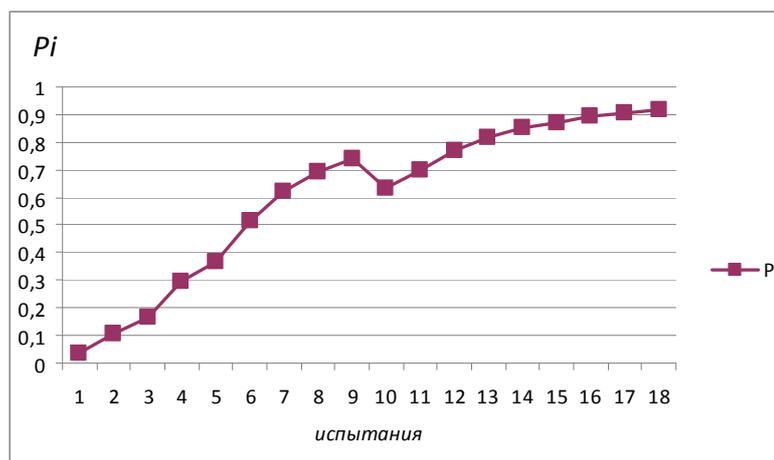


Рис. 4. - Рост надежности изделия, с учетом априорной информации по первому параметру ( $N_1^* = 4, N_4^* = 3, N_5^* = 18, m_{15} = 1$ )

В общем виде процесс создания (отработки) сложного технического изделия однократного использования в параметрическом виде (по параметрам) может быть представлен, рис. 5.

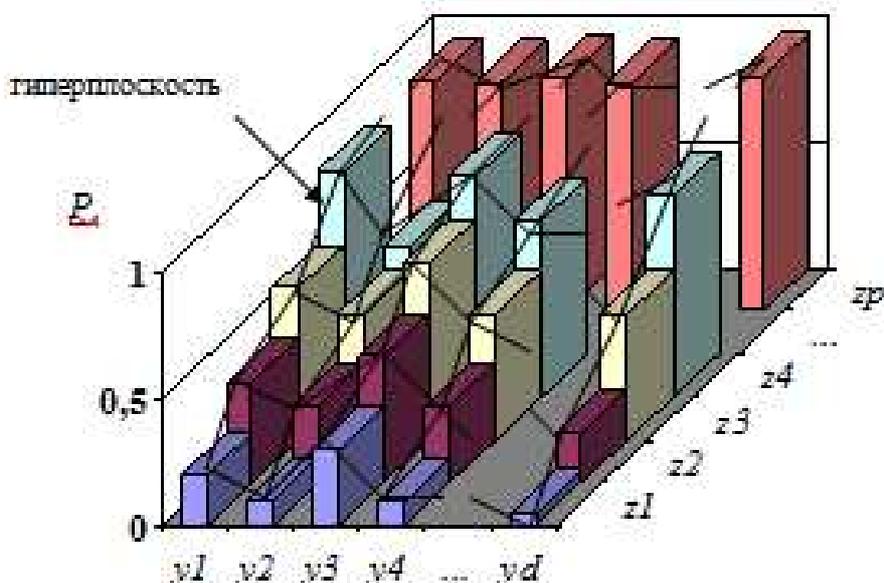


Рис. 5. - Фрагмент гиперплоскости роста надежности выходных параметров изделия  $y_i, i = \overline{1, d}$  в процессе опытной отработки

по видам испытаний  $z_j, j = \overline{1, p}$ .

Таким образом, учет априорной информации после доработки заключается в том, что для выполнения требований ТЗ, следует в первом

виде испытания провести два дополнительных успешных испытания, в четвертом одно и восемь в заключительном виде испытания (например, если это ЛИ) [1,5,12].

Аналогичные расчеты можно вести для любых ситуаций, однако, если конструкционные отказы идут непрерывно, то очевидно, что от такого проекта необходимо отказаться, из-за существенного роста стоимости или сроков на создание. Однако все во многом зависит от выбора на начальном этапе значений  $P_{ij}^B$  и  $P_I^e$ ,  $i = \overline{1, d}$ ,  $j = \overline{1, p}$  !.

### Литература

1. Царев Ю.А. Планирование и управление объемом испытаний сложных технических изделий в комплексной программе экспериментальной отработки. Монография. - Ростов н/Д, ДГТУ, 2009. – 89 с.
2. Царев Ю.А. Непараметрический подход к объединению результатов разнородных испытаний сложной технической системы / Надежность и контроль качества.-1991, №7.
3. Круталевич А.Г. Функциональная модель системы объективного контроля для испытаний сложных технических систем // Радиотехника. 2010. № 11. С. 110-112.
4. Терентьев А.И. Идентификация параметров функционирования сложных технических систем на основе априорной информации и результатов испытаний // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2008. № 5. С. 56-62.
5. Царев Ю.А, Айдинян А. Р. Планирование и управление объемом испытаний сложных технических изделий в комплексной программе экспериментальной отработки. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2009615291 Российская Федерация. - Зарег. 24.09.09 в Реестре программ для ЭВМ.
6. Судаков Р.С., Северцев Н.А., Титулов В.Н., Чесноков Ю.М. Статистические задачи отработки систем и таблицы для числовых расчетов показателей надежности / Под ред. проф. Р.С.Судакова. - М.: Высшая школа, 1975. – 604 с.
7. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности – М.: Наука, 1988. – 524 с.
8. Гишваров А.С. Моделирование ускоренных испытаний технических систем на надежность и ресурс // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2007. Т. 9. № 1. С. 26-40.
9. ГОСТ Р 27.607-2013 Надежность в технике (ССНТ). Управление надежностью. Условия проведения испытаний на безотказность и статистические критерии и методы оценки их результатов. М.: Стандартинформ, 2015.
10. Мирный Р.А., Соловьев А.Д. Оценка надежности системы по результатам испытаний ее компонент // «Кибернетика на службу коммунизма»: сборник Т. 2, - М, Энергия, 1964.
11. Касьянов В.Е. Аналитическое определение параметров закона Вейбулла для генеральной совокупности конечного объема по выборочным данным прочности стали // Инженерный Вестник Дона, № 2, 2012 г.

12. Гаглоева И.Э. Разработка математической модели комплексной оценки состояния электроэнергетических объектов // Инженерный Вестник Дона, №3, 2013 г.
13. Джонсон Н. Л. Одномерные дискретные распределения [Электронный ресурс]; пер. 2-го англ. изд. — 3-е изд. (эл.). — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 559 с.
14. Malic Henrick John. Distribution of the sum of truncated binomial variates. "Canad. Math. Bull. 1969, 12, No. 3, 334-336.
15. Montgomery, D.C. Introduction to statistical quality control - New York: John Wiley and Sons, 2009. – 754 p.

### References

1. Carev Ju.A. Planirovanie i upravlenie ob#emom ispytaniy slozhnyh tehniceskikh izdelij v kompleksnoj programme jeksperimental'noj otrabotki. Monografija. - Rostov n/D, DGTU, 2009. – 89 s.
2. Carev Ju.A. Neparаметрический подход к об#единению резултатов разнородных испытаний сложной технической системы / Надежность i kontrol' kachestva.-1991, №7.
3. Krutalevich A.G. Funkcional'naja model' sistemy ob#ektivnogo kontrolja dlja ispytaniy slozhnyh tehniceskikh sistem // Radiotekhnika. 2010. № 11. S. 110-112.
4. Terent'ev A.I. Identifikacija parametrov funkcionirovanija slozhnyh tehniceskikh sistem na osnove apriornoj informacii i rezul'tatov ispytaniy // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Jelektronika. 2008. № 5. S. 56-62.
5. Carev Ju.A, Ajdinjan A. R. Planirovanie i upravlenie ob#emom ispytaniy slozhnyh tehniceskikh izdelij v kompleksnoj programme jeksperimental'noj otrabotki. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM 2009615291 Rossijskaja Federacija. - Zareg. 24.09.09 v Reestre programm dlja JeVM.
6. Sudakov R.S., Severcev N.A., Titulov V.N., Chesnokov Ju.M. Statisticheskie zadachi otrabotki sistem i tablicy dlja chislovyh raschetov pokazatelej nadezhnosti / Pod red. prof. R.S.Sudakova. - M.: Vysshaja shkola, 1975. – 604 s.
7. Gnedenko B.V., Beljaev Ju.K., Solov'ev A.D. Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti – M.: Nauka, 1988. – 524 s.
8. Gishvarov A.S. Modelirovanie uskorenyh ispytaniy tehniceskikh sistem na nadezhnost' i resurs // Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tehniceskogo universiteta. 2007. T. 9. № 1. S. 26-40.
9. GOST R 27.607-2013 Nadezhnost' v tehnikе (SSNT). Upravlenie nadezhnost'ju. Uslovia provedenija ispytaniy na bezotkaznost' i statisticheskie kriterii i metody ocenki ih rezul'tatov. M.: Standartinform, 2015.
10. Mirnyj R.A., Solov'ev A.D. Ocenka nadezhnosti sistemy po rezul'tatam ispytaniy ee komponent // «Kibernetika na sluzhbu kommunizma»: sbornik T. 2, - M, Jenergija, 1964.
11. Kas'janov V.E. Analiticheskoe opredelenie parametrov zakona Vejbul'a dlja general'noj sovokupnosti konechnogo ob#ema po vyborochnym dannym prochnosti stali // Inzhenernyj Vestnik Dona, № 2, 2012 g.
12. Gagloeva I. Je. Razrabotka matematicheskoj modeli kompleksnoj ocenki sostojanija jelektrojenergeticheskikh ob#ektov // Inzhenernyj Vestnik Dona, №3, 2013 g.
13. Dzhonson N. L. Odnomernye diskretnye raspredelenija [Jelektronnyj resurs]; per. 2-go angl. izd. — 3-e izd. (jel.). — M. : BINOM. Laboratorija znaniy, 2014. – 559 s.
14. Malic Henrick John. Distribution of the sum of truncated binomial variates. "Canad. Math. Bull. 1969, 12, No. 3, 334-336.
15. Montgomery, D.C. Introduction to statistical quality control - New York: John Wiley and Sons, 2009. – 754 p.