

## ОБЪЕДИНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ ОДНОКРАТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Царев Ю.А., Филобок С.В.

Донской государственный технический университет (ДГТУ), г. Ростов-на-Дону

### METHOD OF MINIMUM ENTROPY OF THE COMBINATION OF THE TEST RESULTS OF COMPLEX PRODUCTS SINGLE USE

*Tsarev Y.A., Filobok S.V. Is considered one of the possible approaches to combine the information of the test results of a sophisticated product single use when you create it.*

При разработке и создании сложных изделий однократного использования приходится разрабатывать программы испытаний, в которых в различных видах испытаний  $i = \overline{1, \xi}$  требуется испытать определённое количество изделий  $n_i (n_i = 0, 1, 2, \dots)$  с целью обеспечения необходимых требований по надёжности, определяемых техническим заданием. Чем дороже одно такое испытание, тем естественно стремление как можно меньше проводить таких испытаний с изделиями однократного использования, но с другой стороны объём испытаний определяет надёжность создаваемого изделия.

В процессе создания изделия происходят отказы, и изделие приходится дорабатывать, следовательно, первоначальный план испытаний, отражаемый в программе испытаний необходимо корректировать. Но как объединить результаты испытаний по видам или даже в одном виде испытаний, если из-за доработок меняется генеральная совокупность изделий, и как определить эффективность проведенной доработки, если приходится иметь дело с малыми выборками. Практика, когда на каждое оказавшее изделие в виде испытания добавляется одно доработанное, даже если больше отказов по данному контролируемому параметру не произошло, не всегда может быть научно обосновано.

В технических заданиях на сложные изделия показатели надёжности могут задаваться на все основные параметры  $\theta_j$ ,  $j = \overline{1, \mu}$ . При создании сложных изделий приходится иметь дело с малой выборкой, поэтому на основные параметры изделия задаются нижние границы вероятности безот-

казной работы  $\underline{P}_j^{mp}$ , с доверительными вероятностями  $\gamma_j^{mp}$ .

Таким образом, с целью обеспечить требования надёжности существует проблема объединения в программе результаты испытаний изделий разной генеральной совокупности по нескольким параметрам, по видам и внутри видов испытаний. Частично решению этой проблемы посвящены работы Судакова Р.С.

Ввод же в эксплуатацию не отработанных изделий чреват тем, что находясь на дежурстве в течение продолжительного времени, изделия однократного использования никак не проявляют степень, своей готовности выполнить требования технического задания по нормативным параметрам, хотя на этот счет и проводят контрольно-выборочные испытания, которые позволяют контролировать, однако, не столько надёжность изделия, сколько стабильность производства самих сложных изделий.

Исходя из того, что в каждом виде испытания сложного изделия присуща неопределенность в конечных результатах, впрочем, как и во всей программе процесса его создания, а тем более в попытке объединения результатов, не принадлежащих одной генеральной совокупности, используем энтропию как меру неопределенности. Ряд свойств энтропии, такие как аддитивность, достоверность и равновероятность позволяют объединять результаты независимых испытаний создаваемого изделия по видам в комплексной программе испытаний. Так для  $i = \overline{1, \xi}$  независимых видов испытаний, являющихся отражением всего процесса функционирования изделия, энтропия равна [1]

$$H(X) = -\sum_{i=1}^{\xi} p_i \lg p_i, \quad (1)$$

где  $p_i$  – вероятность (достоверность) получения информации в  $i$ -ом виде испытаний изделия,  $\sum_{i=1}^{\xi} p_i \geq 1$ .

Например, в случае максимальной неопределенности по видам испытаний, для  $\xi = 5$

|       |     |     |     |     |     |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| $i$   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |
| $p_i$ | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |

$$H(X) = 0,69897,$$

и если достоверность в последних видах испытаний увеличивается, из-за того, что имитируется большая часть реальных условий эксплуатации,

|       |     |     |     |     |     |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| $i$   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |
| $p_i$ | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,4 |

то энтропия уменьшается,  $H(X) = 0,61604$ .

Очевидно, стремление проводить испытания в более весомых видах испытаний, однако они могут быть и более затратными, но вопрос оптимизации в статье не рассматривается.

Исходя из независимости видов испытаний и малой выборки в каждом  $i$ -м виде испытаний, для одного  $j$ -го параметра можно записать [2]

$$\underline{P}_j^{mp} \leq \underline{P}_j = 1 - \prod_{i=1}^{\xi} (1 - \underline{p}_{ji}), \quad (2)$$

где  $\underline{P}_j^{mp}$  – требуемое значение нижней границы вероятности безотказной работы;

$\underline{P}_j$  – расчетное значение нижней границы вероятности безотказной работы по всем  $\xi$  видам испытаний;

$\underline{p}_{ji}$  – расчетное значение нижней границы вероятности безотказной работы  $j$ -го параметра в  $i$ -ом виде испытаний, которое само находится в интервале  $[p_i^h, p_i^s]$ , и для которого  $0 \leq p_i^h < 1$ ;  $0 < p_i^s = p_i \leq 1$  (1).

Введем условие, когда в каждом  $i$ -ом виде испытаний реализуется биномиальная схема испытаний – испытание изделия считается успешным, если каждый  $j$ -й основной параметр в результате испытания находится в заданных пределах ( $\theta_j^h \leq \theta_j \leq \theta_j^s$ ), при заданных на каждый параметр  $\underline{P}_j^{mp}$  и  $\gamma_j^{mp}$ , то

где для параметра вероятность безотказной работы определяется из выражения [3, 4]

$$1 - \gamma_j^{mp} = \sum_{m=0}^k C_n^m \underline{p}_{ji}^{n-m} (1 - \underline{p}_{ji})^m, \quad (3)$$

где  $\underline{p}_{ji}$  – нижняя граница вероятности безотказной работы, реализуемая в  $i$ -м виде испытания по  $j$ -му параметру изделия, которая при  $m_{ji} = 0$  из (3) определяется

$$\underline{p}_{ji} = \sqrt[n_i]{1 - \gamma_j^{mp}},$$

$m_{ji}$  – количество отказов по  $j$ -му параметру в  $i$ -м виде испытания.

Тогда на принятых выше условиях результаты испытаний по  $j$ -му параметру по  $\xi$  видам испытаний могут быть объединены.

Например, для одного параметра и равных затрат двух видов испытаний ( $\xi=2$ ), при  $m_1 = m_2 = 0$ ;  $p_1 = 0,2$ ;  $p_2 = 1$ ;  $\gamma^{TP} = 0,9$ ;  $\underline{P}^{mp} = 0,9$ , если запланировали провести в первом виде испытаний  $n_1 = 3$ , то для обеспечения требований технического задания ( $\gamma^{TP} = 0,9$ ;  $\underline{P}^{mp} = 0,9$ ), с использованием выражений (2) и (3), необходимо провести во втором виде испытаний  $n_2 = 20$  (использовался метод направленного перебора).

$$0,9 \leq 0,901 = 1 - (1 - 0,2 * 0,093)(1 - 1,0 * 0,891).$$

Здесь не рассматривались вопросы стоимости одного испытания и возможных отказов, а, следовательно, нет пересчетов объемов испытаний, не решались задачи оптимизации процесса создания изделия, поскольку рассматривается лишь вопрос объединения результатов испытаний по видам в условиях неопределенности. Проблема объединения результатов испытаний с учетом отказов, при биномиальной схеме испытаний, может решаться по предложенной схеме, однако она весьма трудоемкая и не входит в объем статьи.

### Библиографический список

1. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей. - М.: Наука, 1969.
2. Статистические задачи обработки систем и таблицы для числовых расчетов показателей надёжности. Учеб. пособие для вузов. Под ред. Р.С. Судакова. - М.: Высшая школа, 1975.
3. Царев, Ю.А. Непараметрический подход к объединению результатов разнородных

испытаний сложной технической системы / Надежность и контроль качества.-1991, № 7.

4. Царев, Ю.А. Планирование и управление объемом испытаний сложных техниче-

ских изделий в комплексной программе экспериментальной отработки. - Ростов на Дону, ДГТУ, 2009.

УДК 621.43.068.4

## СОВМЕСТНАЯ РАБОТА УЗЛОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ ГБО ДЛЯ ДВС С ИСКРОВОМ ЗАЖИГАНИЕМ

Шишков В.А., Лесных Ю.И.

Самарский государственный аэрокосмический университет, филиал, г. Тольятти

### JOINT WORK OF UNITS AND CHARACTERISTICS OF ELEMENTS GAS THE EQUIPMENT FOR THE ENGINE OF INTERNAL COMBUSTION WITH SPARK IGNITION

*The mutual influence of the characteristics of the engine and fuel elements gas of the equipment on algorithm of management the engine of internal combustion with spark ignition working on gas fuel is shown. On the basis of researches carried out the author, develops algorithm of management gas the engine of internal combustion on various modes of his work in view of joint work of all elements gas of the equipment and engine.*

Каждый элемент топливной системы газобаллонного оборудования (ГБО) имеет свои характеристики (например, расходные – зависимость расхода газа от перепада давления; напорные – зависимость давления на выходе из элемента или его входе от расхода газа; гидравлические – зависимость гидравлического сопротивления от расхода газа и т.д.). В динамических режимах (при ускорениях или замедлениях транспортного средства, а на стационарных режимах при циклической работе отдельных элементов, например, электромагнитных форсунок) изменение рабочей точки на характеристике одного элемента приводит к изменению рабочей точки на характеристике другого элемента ГБО. Для корректной работы двигателя и элементов ГБО в конкретной системе топливоподачи необходимо определить совместную работу её элементов. Этим вопросом занимаются разработчики и производители автомобилей на газовом топливе. Вопрос совместной работы и правильный подбор элементов ГБО к конкретному двигателю и автомобилю является важной задачей с точки зрения выполнения последним современных требований, как по токсичности отработавших газов, так и по ездовым качествам.

В работе [1] приведён алгоритм расчёта топливных элементов газобаллонного оборудования без учёта их совместной работы. На переходных режимах работы двигателя для коррекции газовой подачи необходимо учитывать положения рабочих точек на характеристиках всех элементов ГБО.

#### Совместная работа элементов ГБО

Распишем уравнения расходных, напорных или гидравлических характеристик для каждого элемента ГБО с граничными условиями газа на входе и выходе из топливной системы для стационарных режимов работы двигателя:

- граничное условие: на входе во впускной трубопровод ДВС это изменение в нём давления  $p_{вп}$  при увеличении частоты  $n$  вращения коленчатого вала и расхода воздуха  $G_b$  через двигатель  $p_{вп} = f(n; G_b; T_b)$ , где  $T_b$  – температура воздуха на впуске;

- уравнение расхода газа  $G_r$  через форсунку [1] в зависимости от перепада давления  $\Delta p_\phi$  между внутренней полостью ramпы и впускным трубопроводом ДВС  $G_r = f(\Delta p_\phi; T_{гр})$ , где  $\Delta p_\phi = p_{гр} - p_{вп}$ ;  $T_{гр}$  – температура газа в ramпе форсунок;  $p_{гр}$  – давление в газовой ramпе;

- гидравлическое сопротивление трубопровода от газового редуктора до ramпы