

## К ВОПРОСУ О ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕГЕРМЕТИЧНОСТИ ГАЗОНАПОЛНЕННЫХ ПРИБОРОВ ПРИ ИХ ГРУППОВЫХ ИСПЫТАНИЯХ

### ON THE QUESTION OF THE PROBABILITY OF DETECTING LEAKAGE OF GAS-FILLED DEVICES DURING THEIR GROUP TESTS

С.А.Бушин, (ORCID 0000-0002-7037-1283), / vniia4@vniia.ru

**S.A.Bushin**

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», г. Москва.

*В докладе представлены теоретические исследования, целью которых являлось определение максимальной вероятности обнаружения утечек в миниатюрных газонаполненных разрядниках, подлежащих групповому контролю герметичности, с использованием способа накопления на основе масс-спектрометрического метода, а также путей по оптимизации времени, затрачиваемого на данные испытания.*

*Ключевые слова: Газонаполненный разрядник, камера накопления, вероятность обнаружения течи, вероятность события.*

*The report presents theoretical studies aimed at determining the maximum probability of detecting leaks in miniature gas-filled dischargers subject to group tightness control, using the accumulation method based on the mass spectrometric method, as well as ways to optimize the time spent on test data.*

*Keywords: Gas-filled discharger, accumulation chamber, probability of detecting a leak, probability of an event.*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

При разработке масс-спектрометрической установки финишного контроля герметичности газонаполненных разрядников (УФКГ) [1,2] введению в паспорт на разрабатываемое оборудование какого-либо контролируемого технологического параметра в качестве одной из значимых функциональных характеристик предшествовало проведение исследовательского процесса. В частности, одним из таких исследуемых параметров, подлежащих всесторонней оценке, являлся численный показатель количества камер накопления необходимых для реализации способа накопления, применяемого при контроле герметичности разрядников.

Следует отметить, что использование не одной камеры, а камер заранее определенного количества, в которых приборы из контролируемой партии будут размещаться либо группами, либо по отдельности позволяет более оперативно проводить идентификацию течей, что в свою очередь положительно влияет на снижение общего хронометража испытаний на герметичность. Это обстоятельство создает возможность заменять или откачивать одни камеры с размещенными в них приборами, в то время как в других происходит накопление.

В связи с этим требовалось выяснить – каким образом можно достичь максимальной вероятности правильного обнаружения утечек в газонаполненных приборах и сколько для этого принципиально требуется накопительных камер?

## МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Чтобы можно было однозначно ответить на этот довольно непростой вопрос, возникла необходимость в проведении оценочных расчетов, прибегнув для этого к основам теории вероятностей [3]. Были рассмотрены несколько возможных случаев (вариантов) зависимости допускаемого количества камер накопления от заданного значения вероятности обнаружения негерметичного(ых) прибора(ов) с течью(течами).

В частности, рассмотрен случай, когда общее число контролируемых приборов равно семи.

Ниже представлен общий ход рассуждений при выполнении расчетов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Допустим, что количество негерметичных приборов равно 1 шт.. Последовательно уменьшая число контролируемых приборов, путем их поштучного изъятия из камеры накопления, с проведением при этом каждый раз процедуры контроля герметичности по остатку приборов получим, что численное значение вероятности  $P(A)$ , как степени возможности события  $A$ , при котором первый же изъятый прибор окажется негерметичным, будет равна:

$$P(A) = \frac{1}{7} = 0,14.$$

При этом значения вероятности обнаружения негерметичного прибора при последующих испытаниях составят 0,17; 0,2; 0,25; 0,33; 0,5 и 1 соответственно.

Для случая, когда негерметичными являются уже два прибора (допустим, что вероятность появления бракованных приборов составляет 30 % от изготавливаемой партии), вероятность  $P(A)$ , характеризующая численное значение степени возможности события, что из двух изъятых друг за другом приборов оба окажутся негерметичными, может быть определена по формуле:

$$P(A) = P(A_1) \cdot P(A_2|A_1) = \frac{2}{7} \cdot \frac{1}{6} = 0,048, \quad (1)$$

где  $P(A_1)$  – появление негерметичного прибора при первом контроле;

$P(A_2|A_1)$  – появление негерметичного прибора при повторном контроле.

Если рассмотреть вариант использования двух камер накопления, то небезынтересно будет узнать – как перераспределятся значения вероятностей обнаружения течей для одного и двух негерметичных приборов, при условии, что выбор камер является равновероятным? В зависимости от размещения прибора(ов) в камерах накопления возможны следующие варианты: 1) негерметичный прибор окажется в окружении либо трех, либо двух приборов; 2) два негерметичных прибора окажутся в камерах накопления либо вместе, либо порознь вместе с оставшимися герметичными приборами.

Необходимо найти вероятность того, что в результате изъятия наугад из одной из камер накопления прибор после контроля окажется негерметичным. Рассмотрим три события:

- $H_1$  – выбор первой камеры накопления;
- $H_2$  – выбор второй камеры накопления;
- $A$  – обнаружение негерметичного прибора.

Так как первые два события по условию являются равновероятными, то

$$P(H_1) = P(H_2) = \frac{1}{2}.$$

Условные вероятности события  $A$  при событиях  $H_1$  и  $H_2$  соответственно равны:

1-ый вариант – а)  $P(A|H_1) = \frac{1}{4}$ ;  $P(A|H_2) = 0$ ; б)  $P(A|H_1) = 0$ ;  $P(A|H_2) = \frac{1}{3}$ ;

2-й вариант – а)  $P(A|H_1) = \frac{1}{2}$ ;  $P(A|H_2) = 0$ ; б)  $P(A|H_1) = \frac{1}{4}$ ;  $P(A|H_2) = \frac{1}{3}$ .

Вероятность данного события можно оценить по формуле полной вероятности:

а)  $P(A) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \cdot 0 = 0,125$

и

б)  $P(A) = \frac{1}{2} \cdot 0 + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} = 0,167$

соответственно для первого варианта.

Для второго варианта получим вероятность обнаружение двух негерметичных приборов равную:

а)  $P(A) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot 0 = 0,25$

и

б)  $P(A) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} = 0,292$ .

Аналогично предшествующим вычислениям можно оценить вероятности обнаружения негерметичных приборов для случаев с тремя и семью камерами накопления при сохранении допущений по общему числу контролируемых и негерметичных приборов. При этом вероятности обнаружения негерметичного(ых) прибора(ов) (событие А) для 3-х камер (в одной камере размещаются три прибора, в остальных двух – по два прибора) и 7-ми камер накопления (в каждой камере по одному прибору) получим из следующих формул:

$$P(A) = P(H_1) \cdot P(A|H_1) + P(H_2) \cdot P(A|H_2) + P(H_3) \cdot P(A|H_3) \quad (2, а)$$

и

$$P(A) = P(H_1) \cdot P(A|H_1) + P(H_2) \cdot P(A|H_2) + P(H_3) \cdot P(A|H_3) + P(H_4) \cdot P(A|H_4) + P(H_5) \cdot P(A|H_5) + \dots + P(H_6) \cdot P(A|H_6) + P(H_7) \cdot P(A|H_7). \quad (2, б)$$

Поскольку  $P(H_1) = P(H_2) = P(H_3) = \frac{1}{3}$  для случая с тремя камерами, а условные вероятности события А при событиях  $H_1, H_2$  и  $H_3$  соответственно равны:

а) когда два негерметичных прибора находятся в разных камерах

$$- P(A|H_1) = 0; \quad P(A|H_2) = \frac{1}{2}; \quad P(A|H_3) = \frac{1}{2};$$

б) при совместном размещении двух негерметичных приборов в одной из камер

$$- P(A|H_1) = 0; \quad P(A|H_2) = 0; \quad P(A|H_3) = 1$$

то, соответственно для вариантов а) и б) по формуле (2, а) получим:

$$P(A) = \frac{1}{3} = 0,333.$$

При рассмотрении варианта контроля герметичности с семью камерами накопления, вероятности выбора одной из камер равны между собой,

$$P(H_1) = P(H_2) = P(H_3) = P(H_4) = P(H_5) = P(H_6) = P(H_7) = \frac{1}{7},$$

а условные вероятности события А при событиях  $H_1, H_2, H_3, H_4, H_5, H_6, H_7$  имеют следующие значения:

- 1)  $P(A|H_1) = P(A|H_2) = P(A|H_3) = P(A|H_4) = P(A|H_5) = 0$  (при данном размещении),
- 2)  $P(A|H_6) = P(A|H_7) = 1$ .

Следовательно, вероятность обнаружения двух негерметичных приборов с последовательно проводимым контролем герметичности для случая с семью камерами, рассчитываемой по формуле (2, б), будет равна:  $P(A) = 0,286$ .

Если в случае с семью камерами при числе негерметичных приборов в партии задаться значениями 3, 4, 5, 6 и 7 штук, то вероятность их обнаружения  $P(A)$  соответственно будет равна 0,43; 0,57; 0,71; 0,86 и 1.

## **ВЫВОДЫ**

Таким образом, можно заключить: полученные значения вероятностей обнаружения приборов, подлежащих отбраковке при их заданном числе и с разным количеством камер накопления, показывают, что чем больше величина соотношения числа камер к числу контролируемых приборов (в пределах эта величина должна стремиться к единице), тем более возможно обнаружение негерметичного прибора. При этом 100 %-тная вероятность обнаружения негерметичного прибора в пределах порога чувствительности проводимых испытаний наступает в случае, когда в основе контроля лежит принцип: один прибор – одна камера, что является оптимальным решением. Тем более, что только в этом случае количество итераций, связанных с выводом установки на режим измерений, и соответственно общие значения временных затрат, требующихся на идентификацию негерметичного прибора в зависимости от заданной вероятности появления приборов с течью и количества камер накопления, учитывая операции по вскрытию объемов последних на атмосферу и перераспределению приборов в данных объемах, будет сведено по времени до минимума. В частности, следует отметить, что на установке УФКГ предусмотрено восемь камер накопления, одна из которых используется под образцовый (контрольный) герметичный прибор.

При этом экспериментально установлено, что продолжительность времени на подготовку разрядников к испытаниям на установке УФКГ, включая загрузку в камеры накопления и их последующую высоковакуумную откачку, составляет 2,5–3 часа. Следует подчеркнуть, что общее время, непосредственно затрачиваемое для всех семи газонаполненных приборов при последовательно проводимом контроле герметичности, не превышает, в отсутствие "больших" утечек ( $>1 \cdot 10^{-8}$  Па·м<sup>3</sup>/с), интервал в 30 мин. Нетрудно будет подсчитать к каким временным затратам приведет проведение группового анализа из семи вышеуказанных приборов, если использовать разбивку на группы с количеством более одного: для этого потребуются проведение дополнительного контроля на герметичность с загрузкой в камеры накопления каждого отдельно взятого разрядника из группы, где перед этим по результатам предварительно проведенных испытаний была зафиксирована утечка, превышающую установленную норму герметичности.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Bushin, S. A. Automated equipment for final leak tightness inspection of miniature gas-filled instruments / S. A. Bushin, T. I. Kozlovskaya // Proc. 15th Asia-Pacific Conference on Non-Destructive Testing (APCNDT2017), 13-17 november, Singapore, 2017 – Режим доступа: [http://www.ndt.net/events/APCNDT2017/app/content/Paper/31\\_Bushin\\_Rev4.pdf](http://www.ndt.net/events/APCNDT2017/app/content/Paper/31_Bushin_Rev4.pdf). – 01.03.2018.
2. Патент №101072 на промышленный образец РФ, МКИ G 01 M 3/02, 3/26. Автоматизированная установка финишного контроля герметичности / Г.А. Смирнов, А.С. Хапов, Т.И. Козловская, С.А. Бушин, А.П. Баканов, Е.В. Черных, С.С. Галкин. ФГУП ВНИИА; Заявл. 24.08.15; Опубл. 28.11.16.
3. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей: учебник для втузов / Е. С. Вентцель; – 3-е изд., стер. – Москва: Наука, 1964. – 576 с.