

Определение показателей точности метода оценки химической стабильности топлив для реактивных двигателей

Л. А. Власенкова, К. В. Шаталов

25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России, Москва, Россия, e-mail: 25gosnii_16nio@mail.ru

Рассмотрена процедура внутрилабораторного эксперимента по определению показателей точности разработанного метода оценки химической стабильности топлив для реактивных двигателей. Приведён алгоритм обработки результатов эксперимента. Рассчитаны показатели повторяемости, внутрилабораторной прецизионности и точности указанного метода.

Ключевые слова: топливо для реактивных двигателей, химическая стабильность, показатели точности, предел повторяемости, предел прецизионности, стандартное отклонение повторяемости, стандартное отклонение прецизионности.

Одной из характеристик топлив для реактивных двигателей является химическая стабильность – способность топлива противостоять окислительным процессам в условиях транспортирования и хранения при обычных температурах окружающего воздуха [1]. Ранее химическая стабильность топлив для реактивных двигателей оценивалась по концентрации фактических смол в соответствии с ГОСТ 1567–97 (ИСО 6246–95) «Нефтепродукты. Бензины автомобильные и топлива авиационные. Метод определения смол выпариванием струёй», ГОСТ 8489–85 «Топлива моторные. Метод определения фактических смол (по Бударову)» и по кислотности согласно ГОСТ 5985–79 «Нефтепродукты. Метод определения кислотности и кислотного числа» [2]. Применение таких способов оценки позволяет только фиксировать количество образовавшихся к моменту испытания продуктов окисления, но не ранжировать топлива, произведенные по разным технологиям, с разным углеводородным составом по уровню химической стабильности. Для проведения сравнительной оценки топлив для реактивных двигателей, поставляемых по государственному оборонному заказу, в 25 ГосНИИ химмотологии МО РФ был разработан новый квалификационный метод измерения химической стабильности топлив для реактивных двигателей (СТО 0815164-0271–2017 «Топлива для реактивных двигателей. Метод оценки химической стабильности»).

Метод измерения химической стабильности топлив для реактивных двигателей. Сущность метода заключается в термостатировании 75 мл топлива в замкнутом объёме при повышенных температуре (110 °С) и давлении кислорода (400 кПа) в присутствии инициатора окисления (дикумила пероксида) с непрерывными регистрацией температуры, давления кислорода и расчётами массы поглощённого кислорода Δm_{O_2} и максимальной скорости $v_{\max}$ его поглощения [3]. Испытания проводят на установке АИП-20М, которая включает термостат, измерительные бомбы с датчиками температуры и давления, магистраль подачи кислорода, блок управления и компьютер со специальным программным обеспечением, позволяющим в режиме проведения ис-

пытания отслеживать изменения температуры, давления и массы поглощённого кислорода [4].

В настоящее время разработанный метод оценки химической стабильности топлив для реактивных двигателей имеет ограниченную область применения и опробован только в одной лаборатории. Следовательно, согласно РМГ 61–2010 «ГСИ. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки» и ГОСТ Р ИСО 5725-3–2002 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч. 3. Промежуточные показатели прецизионности стандартного метода измерений», определить показатели точности метода можно по показателям внутрилабораторной прецизионности: стандартному отклонению повторяемости σ_r ; пределу повторяемости r ; стандартному отклонению внутрилабораторной прецизионности σ_R ; пределу внутрилабораторной прецизионности R [5].

Экспериментальные исследования. С целью оценки показателей прецизионности во всём диапазоне измеряемых величин выбраны три товарных топлива для реактивных двигателей, описанные в ГОСТ 10227–86 «Топлива для реактивных двигателей. Технические условия (с Изменениями №№ 1, 2, 3, 4, 5, 6)» и изготовленные по принципиально различным технологиям:

топливо для реактивных двигателей ТС-1 на основе прямой керосиновой фракции, $\Delta m_{O_2} = 31,4$ мг, $v_{\max} = 0,058$ мг/мин (образец № 1);

топливо для реактивных двигателей РТ на основе гидроочищенной керосиновой фракции с добавлением противозносной и антиокислительной присадок, $\Delta m_{O_2} = 151,3$ мг, $v_{\max} = 0,175$ мг/мин (образец № 2);

топливо для реактивных двигателей РТ на основе керосиновой фракции гидрокрекинга с добавлением противозносной и антиокислительной присадок, $\Delta m_{O_2} = 653,1$ мг, $v_{\max} = 0,694$ мг/мин (образец № 3).

Эксперимент проходил в два этапа. На первом этапе устанавливали показатели повторяемости (стандартное отклонение и предел повторяемости), на втором – показатели внутрилабораторной прецизионности (стандартное отклоне-

ние и предел прецизионности) и рассчитывали показатель точности.

Первый этап. Измерения проводили в условиях повторяемости – один контрольный образец испытывал один и тот же оператор с использованием одного и того же испытательного оборудования и средства измерений в течение минимально возможного промежутка времени.

При выборе количества q аналитических серий и числа n параллельных испытаний руководствовались коэффициентом A_r , характеризующим неопределённость оценки стандартного отклонения повторяемости. Параметры q , n выбирали такими, чтобы значение A_r не превышало 0,33. Коэффициент неопределённости A_r вычисляли по формуле

$$A_r = 1,96[2q(n-1)]^{-1/2} = 1,96[2 \cdot 20(2-1)]^{-1/2} = 0,310.$$

Обработку результатов эксперимента и расчёт показателей повторяемости проводили следующим образом. Для каждой из двадцати аналитических серий находили среднее арифметическое $\bar{X}_i$ и выборочную дисперсию S_i^2 :

$$\bar{X}_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} / n;$$

$$S_i^2 = \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{X}_i)^2 / (n-1),$$

где x_{ij} – j -й результат измерения ($j=1, \dots, n$), полученный при реализации i -й аналитической серии ($i=1, \dots, q$).

Затем с использованием статистического критерия Кохрена проверяли, есть ли выбросы (аномальные результаты) в найденных значениях. Цель проверки – выявить слишком большие стандартные отклонения базовых элементов, которые увеличивают оценку стандартного отклонения повторяемости. Критерий Кохрена рассчитывали как отношение наибольшей дисперсии $\max S_i^2$ полученной в одной из аналитических серий, к сумме всех дисперсий для всех аналитических серий:

$$K_p = \max S_i^2 / \sum_{i=1}^q S_i^2.$$

Расчётное значение статистики Кохрена K_p сравнивали с критическим табличным значением критерия Кохрена K_T при уровне значимости $\alpha=0,05$ согласно РМГ 61–2010 и оценивали наличие выбросов. Если $K_p \leq K_T$, то всю совокупность полученных результатов считали однородной и использовали для определения показателей повторяемости (сходимости) методики испытаний.

Не исключённые из расчётов значения дисперсий S_i^2 считали однородными и по ним оценивали стандартное отклонение S_r , характеризующее повторяемость результатов параллельных определений в отдельном диапазоне, который соответствует значению измеряемого показателя качества в контрольном образце:

$$S_r = \sqrt{\sum_{i=1}^{q^*} S_i^2 / q^*},$$

где q^* – число неисключённых дисперсий S_i^2 .

Показатель повторяемости результатов испытаний в виде среднего квадратичного отклонения σ_r (для отдельного поддиапазона измеряемой величины), принимали примерно равным выборочному значению S_r :

$$\sigma_r \approx S_r.$$

Показатель повторяемости результатов испытаний в виде предела повторяемости r (для отдельного поддиапазона измеряемой величины), рассчитывали по формуле

$$r = 2,77\sigma_r,$$

где 2,77 – постоянный множитель для доверительной вероятности $P=0,95$ и числа параллельных определений $n=2$.

Результаты испытаний контрольных образцов и выполненных расчётов по установлению показателей повторяемости для всех оценочных показателей метода приведены в табл. 1–4.

Из анализа данных табл. 1–4 следует, что показатели повторяемости зависят от значения измеряемой величины, и эта зависимость линейная. Значения параметров a , b в линейном уравнении можно вычислить методом наименьших квадратов [6, 7] по следующим формулам:

Таблица 1

Результаты эксперимента по установлению показателей повторяемости образца № 1

Номер серии i	Масса Δm_{O_2} поглощённого кислорода, мг				Максимальная скорость $v_{\max}$ поглощения кислорода, мг/мин			
	x_{ij}		$\bar{X}_i$	S_i^2	x_{ij}		$\bar{X}_i$	S_i^2
	$j=1$	$j=2$			$j=1$	$j=2$		
1	38,2	33,7	35,9	10,1	0,051	0,058	0,055	0,000025
2	32,0	30,6	31,3	0,9	0,058	0,058	0,058	0,000000
3	30,5	34,7	32,6	8,6	0,058	0,058	0,058	0,000000
4	28,9	27,3	28,1	1,2	0,058	0,058	0,058	0,000000
5	27,9	28,3	28,1	0,1	0,058	0,058	0,058	0,000000
6	23,2	30,2	26,7	24,4	0,051	0,058	0,055	0,000025
7	26,7	31,2	28,9	10,1	0,058	0,058	0,058	0,000000
8	29,7	25,8	27,8	7,8	0,058	0,051	0,055	0,000025
9	38,3	29,5	33,9	38,9	0,058	0,058	0,058	0,000000
10	27,3	23,8	25,5	6,3	0,058	0,064	0,061	0,000018
11	34,9	30,9	32,9	8,0	0,058	0,058	0,058	0,000000
12	29,0	33,6	31,3	10,6	0,058	0,058	0,058	0,000000
13	41,3	38,3	39,8	4,6	0,058	0,051	0,055	0,000025
14	41,2	40,4	40,8	0,4	0,064	0,064	0,064	0,000000
15	29,7	27,3	28,5	2,8	0,058	0,058	0,058	0,000000
16	28,3	24,1	26,2	8,9	0,058	0,064	0,061	0,000018
17	36,0	36,3	36,2	0,0	0,058	0,058	0,058	0,000000
18	36,5	34,5	35,5	1,9	0,058	0,058	0,058	0,000000
19	27,4	23,8	25,6	6,6	0,058	0,051	0,055	0,000025
20	34,9	30,9	32,9	8,0	0,064	0,064	0,064	0,000000

$$a = \sum_{l=1}^k S_l / k - b \sum_{l=1}^k \bar{x}_l / k; \quad (1)$$

$$b = \frac{\sum_{l=1}^k \left[\left(\bar{x}_l - \sum_{l=1}^k \bar{x}_l / k \right) \left(S_l - \sum_{l=1}^k S_l \right) \right]}{\sum_{l=1}^k \left(\bar{x}_l - \sum_{l=1}^k \bar{x}_l / k \right)^2}, \quad (2)$$

где S_l – экспериментально найденное значение показателя повторяемости в l -м контрольном образце, $l=1, \dots, k$; $\bar{x}_l$ – среднее значение измеряемой величины в l -м контрольном образце; k – число контрольных образцов.

Для вычисления по формулам (1), (2) дополнительно рассчитывали среднее значение оценочных показателей метода оценки химической стабильности топлив для реактивных двигателей. Уравнения стандартного отклонения σ_r и предела r повторяемости для оценочных показателей Δm_{O_2} , $v_{\max}$ имеют вид соответственно:

$$\sigma_r(\Delta m_{O_2}) = 3,93 + 0,04\bar{x}; \quad r(\Delta m_{O_2}) = 10,89 + 0,12\bar{x};$$

$$\sigma_r(v_{\max}) = 0,005 + 0,05\bar{x}; \quad r(v_{\max}) = 0,01 + 0,13\bar{x}.$$

Второй этап. Измерения проводили в условиях прецизионности. Для каждого контрольного образца операторы последовательно (один за другим) выполняли запланированное число аналитических серий. Результаты отдельных определений внутри одной аналитической серии получали в условиях повторяемости.

При выборе количества q аналитических серий и числа n параллельных испытаний учитывали коэффициент A_R характеризующий неопределённость оценки стандартного отклонения прецизионности. Параметры q , n выбирали такими, чтобы $A_R \leq 0,33$. Коэффициент неопределённости рассчитывали по формуле:

$$A_R = 1,96 \frac{\{q[1+n(\gamma^2-1)]^2 + (n-1)(q-1)\}^{1/2}}{[2\gamma^4 n^2 (q-1)q]^{1/2}} = 0,316,$$

где $\gamma = \sigma_R / \sigma_r$ – дополнительный показатель – отношение стандартных отклонений прецизионности и повторяемости; для большинства методик испытаний нефтепродуктов $\gamma=2$.

Обработку результатов эксперимента и расчет показателей прецизионности проводили следующим образом. Для каждой из шестнадцати аналитических серий рассчитывали среднее арифметическое $\bar{X}_i$. Полученные значения проверяли на наличие выбросов по критерию Граббса. Цель проверки – выявить базовые элементы (средних значений по сериям), которые являются слишком большими или слишком маленькими и могут дать завышенную оценку стандартного отклонения прецизионности. Для проверки, не является ли выбросом наибольшая (наименьшая) величина из средних значений по сериям $\bar{X}_i$, вычисляли статистику Граббса как отношение разности наибольшего $\max \bar{X}_i$ (наименьшего $\min \bar{X}_i$) значения и общего среднего значения $\bar{X}_i$ l -го контрольного образца к его стандартному отклонению S_i :

$$G_{\max(\min)} = [\max(\min) \bar{X}_i - \bar{X}_i] / S_i.$$

Таблица 2

Результаты эксперимента по установлению показателей повторяемости образца № 2

Номер серии i	Масса Δm_{O_2} поглощённого кислорода, мг				Максимальная скорость $v_{\max}$ поглощения кислорода, мг/мин			
	x_{ij}		$\bar{X}_i$	S_i^2	x_{ij}		$\bar{X}_i$	S_i^2
	$j=1$	$j=2$			$j=1$	$j=2$		
1	142,8	149,3	146,1	21,2	0,211	0,211	0,2110	0,0000
2	128,9	130,4	129,7	1,1	0,159	0,159	0,1590	0,0000
3	148,0	125,4	136,7	255,4	0,161	0,153	0,1570	0,0000
4	179,2	149,3	164,3	447,0	0,153	0,160	0,1565	0,0000
5	161,7	140,7	151,2	221,1	0,255	0,204	0,2295	0,0013
6	131,4	157,8	144,6	348,5	0,211	0,203	0,2070	0,0000
7	138,9	130,4	134,7	36,1	0,153	0,153	0,1530	0,0000
8	135,9	124,6	130,2	63,9	0,153	0,152	0,1525	0,0000
9	148,7	118,4	133,6	457,7	0,16	0,175	0,1675	0,0001
10	159,8	145,6	152,7	100,8	0,153	0,153	0,1530	0,0000
11	187,6	166,8	177,2	216,3	0,204	0,153	0,1785	0,0013
12	153,2	158,0	155,6	11,5	0,152	0,160	0,1560	0,0000
13	202,2	183,5	192,8	175,7	0,153	0,153	0,1530	0,0000
14	157,4	133,4	145,4	287,1	0,152	0,152	0,1520	0,0000
15	187,4	166,0	176,7	638,9	0,204	0,204	0,2040	0,0000
16	153,8	158,0	155,9	106,4	0,212	0,153	0,1825	0,0017
17	140,1	148,3	144,2	33,6	0,212	0,204	0,2080	0,0000
18	160,5	145,1	152,8	118,6	0,204	0,153	0,1785	0,0013
19	148,4	137,7	143,1	57,2	0,153	0,153	0,1530	0,0000
20	169,1	149,0	159,1	202,0	0,204	0,153	0,1785	0,0013

Таблица 3

Результаты эксперимента по установлению показателей повторяемости образца № 3

Номер серии i	Масса Δm_{O_2} поглощённого кислорода, мг				Максимальная скорость $v_{\max}$ поглощения кислорода, мг/мин			
	x_{ij}		$\bar{X}_i$	S_i^2	x_{ij}		$\bar{X}_i$	S_i^2
	$j=1$	$j=2$			$j=1$	$j=2$		
1	678,9	641,3	660,1	706,9	0,614	0,714	0,664	0,005
2	621,1	638,8	630,0	156,6	0,767	0,718	0,743	0,001
3	685,9	633,6	659,7	1367,4	0,713	0,665	0,689	0,001
4	630,8	690,3	660,6	1770,1	0,665	0,665	0,665	0,000
5	675,3	643,2	659,3	515,2	0,717	0,764	0,741	0,001
6	620,3	675,0	647,6	1495,9	0,613	0,662	0,638	0,001
7	641,5	687,9	664,7	1078,2	0,717	0,716	0,717	0,000
8	680,6	630,1	655,4	1275,1	0,764	0,716	0,740	0,001
9	684,3	630,4	657,4	1452,6	0,764	0,717	0,741	0,001
10	658,4	610,6	634,5	1143,7	0,717	0,712	0,715	0,000
11	694,2	647,3	670,8	1099,8	0,616	0,563	0,590	0,001
12	620,1	659,9	640,0	792,0	0,767	0,768	0,768	0,000
13	654,6	623,3	639,0	489,8	0,764	0,717	0,741	0,001
14	681,5	624,3	652,9	1636,5	0,615	0,662	0,639	0,001
15	678,3	630,8	654,6	1128,1	0,56	0,617	0,589	0,002
16	680,3	630,4	655,4	1245,0	0,614	0,714	0,664	0,005
17	665,9	630,4	648,2	630,1	0,767	0,718	0,743	0,001
18	679,4	632,1	655,8	1118,6	0,713	0,665	0,689	0,001
19	678,3	634,7	656,5	950,5	0,665	0,665	0,665	0,000
20	681,2	637,3	659,3	963,6	0,717	0,764	0,741	0,001

Таблица 4

Расчётные величины при установлении показателей повторяемости образцов №№ 1–3

Расчётная величина	$S_i^2(\Delta m_{O_2})$, мг			$S_i^2(v_{\max})$, мг/мин		
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 1	№ 2	№ 3
Общее среднее	31,4	151,3	653,1	0,058	0,175	0,694
Статистика Кохрена	0,243	0,168	0,084	0,241	0,241	0,195
Табличное значение критерия Кохрена	0,389	0,389	0,389	0,389	0,389	0,389
Стандартное отклонение повторяемости	2,8	13,8	32,4	0,019	0,019	0,036
Предел повторяемости	7,8	38,2	89,8	0,053	0,053	0,099

Для результатов l -го контрольного образца, не содержащих выбросы, рассчитывали общее среднее значение $\bar{X}_l^*$ и его дисперсию $(S_l^*)^2$:

$$\bar{X}_l^* = \sum_{i=1}^{q^*} \bar{X}_i / q^* ;$$

$$(S_l^*)^2 = \sum_{i=1}^{q^*} (\bar{X}_i - \bar{X}_l^*)^2 / (q^* - 1),$$

где q^* – общее число результатов, не содержащих выбросы.

Затем для l -го контрольного образца рассчитывали стандартное отклонение внутрилабораторной прецизионности:

$$S_R = \sqrt{(S_l^*)^2 + S_r^2}.$$

Таблица 5

Результаты эксперимента по установлению показателей внутрилабораторной прецизионности образца № 1

Номер i серии	Масса Δm_{O_2} поглощённого кислорода, мг			Максимальная скорость $v_{\max}$ поглощения кислорода, мг/мин		
	x_{ij}		$\bar{X}_i$	x_{ij}		$\bar{X}_i$
	$j=1$	$j=2$		$j=1$	$j=2$	
1	38,2	33,7	35,9	0,058	0,058	0,058
2	32,0	30,6	31,3	0,064	0,064	0,064
3	30,5	34,7	32,6	0,058	0,058	0,058
4	28,9	27,3	28,1	0,058	0,058	0,058
5	28,3	28,3	28,3	0,058	0,058	0,058
6	35,4	37,8	36,6	0,058	0,058	0,058
7	27,0	31,2	29,1	0,058	0,040	0,049
8	41,5	29,5	35,5	0,058	0,051	0,055
9	37,7	35,0	36,3	0,059	0,058	0,059
10	26,4	27,6	27,0	0,058	0,051	0,055
11	28,7	26,4	27,6	0,058	0,066	0,062
12	33,3	32,2	32,7	0,065	0,059	0,062
13	36,5	37,4	37,0	0,058	0,058	0,058
14	34,9	30,9	32,9	0,058	0,051	0,055
15	37,6	40,1	38,9	0,064	0,064	0,064
16	36,5	34,5	35,5	0,051	0,058	0,062

Расчётное значение статистики Граббса G_p сравнивали с критическим (табличным) значением критерия Граббса G_T при уровне значимости $\alpha=0,05$ согласно РМГ 61–2010. Если расчётное значение критерия Граббса превышало его критическое значение ($G_{m\max} > G_T$ и (или) $G_{m\min} > G_T$), то соответствующий результат $\bar{X}_{m\max}$ или (и) $\bar{X}_{m\min}$ из дальнейших расчётов исключали и повторяли процедуру расчёта общего среднего значения $\bar{X}_m$ для m -го контрольного образца. Проверку выбросов продолжали до момента выполнения условий $G_{m\max} \leq G_T$; $G_{m\min} \leq G_T$.

Для отдельного поддиапазона значения измеряемого показателя качества принимали следующие показатели внутрилабораторной прецизионности в виде среднего

Таблица 6

Результаты эксперимента по установлению показателей внутрилабораторной прецизионности образца № 2

Номер i серии	Масса Δm_{O_2} поглощённого кислорода, мг			Максимальная скорость $v_{\max}$ поглощения кислорода, мг/мин		
	x_{ij}		$\bar{X}_i$	x_{ij}		$\bar{X}_i$
	$j=1$	$j=2$		$j=1$	$j=2$	
1	169,6	150,1	159,9	0,211	0,211	0,211
2	147,9	125,1	136,5	0,159	0,159	0,159
3	163,4	145,3	154,4	0,161	0,153	0,157
4	115,8	121,5	118,6	0,153	0,160	0,157
5	129,7	119,3	124,5	0,161	0,153	0,157
6	130,3	145,6	138,0	0,212	0,204	0,208
7	141,3	153,4	147,4	0,159	0,204	0,182
8	165,2	155,3	160,3	0,212	0,153	0,183
9	158,2	144,7	151,5	0,255	0,204	0,230
10	166,3	140,3	153,3	0,211	0,203	0,207
11	116,9	123,2	120,1	0,175	0,204	0,190
12	173,4	156,3	164,9	0,211	0,204	0,208
13	134,3	116,7	125,5	0,153	0,153	0,153
14	138,9	122,7	130,8	0,153	0,152	0,153
15	145,6	120,4	133,0	0,204	0,160	0,182
16	155,7	130,4	143,1	0,255	0,160	0,208

Таблица 7

Результаты эксперимента по установлению показателей внутрилабораторной прецизионности образца № 3

Номер <i>i</i> серии	Масса Δm_{O_2} поглощённого кислорода, мг		Максимальная скорость $v_{\max}$ поглощения кислорода, мг/мин			
	x_{ij}		$\bar{X}_i$		$\bar{X}_i$	
	$j=1$	$j=2$	$j=1$	$j=2$	$j=1$	$j=2$
1	700,3	706,6	703,5	0,614	0,714	0,664
1	697,3	670,4	683,8	0,767	0,718	0,743
2	685,9	703,1	694,5	0,713	0,665	0,689
3	705,3	673,4	689,4	0,665	0,665	0,665
4	661,3	643,9	652,6	0,717	0,764	0,741
5	645,3	629,3	637,3	0,613	0,662	0,638
6	615,4	631,6	623,5	0,613	0,763	0,688
7	685,5	699,5	692,5	0,561	0,611	0,586
8	610,3	630,4	620,4	0,767	0,768	0,768
9	719,5	688,6	704,0	0,717	0,716	0,717
10	710,2	683,0	696,6	0,611	0,615	0,613
11	609,3	630,1	619,7	0,660	0,661	0,661
12	705,8	650,4	678,1	0,617	0,567	0,592
13	705,6	691,7	698,7	0,764	0,716	0,740
14	598,7	620,4	609,6	0,708	0,718	0,713
15	643,4	621,6	632,5	0,674	0,664	0,669
16	694,7	685,9	690,3	0,674	0,664	0,669

ности для всех оценочных показателей метода приведены в табл. 5–8.

Уравнения стандартного отклонения σ_R и предела R прецизионности для оценочных показателей Δm_{O_2} , $v_{\max}$ имеют вид соответственно:

$$\sigma_R(\Delta m_{O_2}) = 5,07 + 0,04\bar{x}; \quad R(\Delta m_{O_2}) = 14,10 + 0,12\bar{x};$$

$$\sigma_R(v_{\max}) = 0,005 + 0,070\bar{x}; \quad R(v_{\max}) = 0,01 + 0,20\bar{x}.$$

В РМГ 61–2010 установлено, что для эмпирических методов, имеющих ограниченное применение, показатель точности формируют только на основе показателя прецизионности. Для доверительной вероятности $P=0,95$ верхнюю Δ_v и нижнюю Δ_n границы погрешности любого результата из совокупности результатов испытаний, полученных по эмпирической методике рассчитывают по формуле

$$\Delta = |\Delta_n| = \Delta_v = 1,96\sigma_R.$$

Тогда вычислять границы погрешности оценочных показателей метода оценки химической стабильности топлив для реактивных двигателей – массы поглощённого кислорода и максимальной скорости поглощения кислорода, можно по выражениям

$$\Delta(\Delta m_{O_2}) = 27,6 + 24\bar{x}; \quad \Delta(v_{\max}) = 0,02 + 0,39\bar{x}.$$

Закключение. Таким образом, экспериментально установлено, что значения показателей точности зависят от значений измеряемых величин (массы поглощённого кислорода, максимальной

скорости поглощения кислорода). Получены линейные уравнения для расчёта показателей точности метода измерения химической стабильности топлив для реактивных двигателей.

Результаты эксперимента были представлены во ВНИИМС, где была проведена метрологическая экспертиза и аттестация метода оценки химической стабильности топлив для реактивных двигателей, получено свидетельство об аттестации методики измерений № 205-47/RA.RU.311787-2016/2017 от 25 августа 2017 г. Методика измерений зарегистрирована в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений под номером 1.31.2017.28829.

Литература

1. Гришин Н. Н., Середа В. В. Энциклопедия химмотологии. М.: Издательство «Перо», 2016. 807 с.
2. Данилов А. М. Введение в химмотологию. М.: Издательство «Техника», ООО «ТУМА ГРУПП», 2003. 464 с.
3. Власенкова Л. А., Шаталов К. В., Лихтерова Н. М. Исследование химической стабильности топлив для реактивных двигателей // Труды 25 ГосНИИ МО РФ. 2018. Вып. 58. С. 173–179.

Расчётные величины при установлении показателей прецизионности образцов №№ 1–3

Расчётная величина	$\bar{X}_i(\Delta m_{O_2})$			$\bar{X}_i(v_{\max})$		
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 1	№ 2	№ 3
Общее среднее арифметическое	32,8	141,3	664,8	0,058	0,184	0,680
Статистика Граббса максимального значения	1,607	1,607	1,148	1,480	1,842	1,641
Статистика Граббса минимального значения	1,560	1,551	1,616	2,423	1,262	1,772
Табличное значение критерия Граббса	2,585	2,585	2,585	2,585	2,585	2,585
Стандартное отклонение внутрилабораторной прецизионности	3,75	14,6	34,2	0,004	0,025	0,053
Предел внутрилабораторной прецизионности	10,4	33,2	94,7	0,011	0,069	0,147

квадратического отклонения σ_R и предела прецизионности R :

$$\sigma_R \approx S_R; \quad R = 2,77\sigma_R.$$

Результаты испытаний контрольных образцов и проведённых расчетов по установлению показателей прецизион-

4. **Свид-во** об офиц. регистрации программы для ЭВМ № 2015660585 «Программа записи и визуализации данных с прибора АИП 20» / Анисимов Д. И., Шаталов К. В., Власенкова Л. А. (Ru) // Программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных микросхем. 2015. № 201566085.

5. **Шаталов К. В.** Алгоритм определения показателей точности квалификационных методов // Труды 25 ГосНИИ МО РФ. 2016. Вып. 57. С. 351.

6. **Дёрффель К.** Статистика в аналитической химии. М.: Мир, 1994. 268 с.

7. **Митропольский А. К.** Техника статистических вычислений. М.: Гос. издательство физико-математической литературы, 1961. 479 с.

Дата принятия: 23.08.2018.

The accuracy indexes determination of the method of chemical stability assessment of jet fuels

L. A. Vlasenkova, K. V. Shatalov

*The 25th State Research Institute of Chemmotology of Ministry of Defense of the Russian Federation
Moscow, Russia, e-mail: 25gosnij_16nio@mil.ru*

A description of the procedure for carrying out an intralaboratory experiment for determining the accuracy indices of a new method for accessing the chemical stability of jet fuels and algorithm for processing the experimental results. The parameters of repeatability, intra-laboratory precision and accuracy rates of this method.

Key words: jet fuels, chemical stability, accuracy indicators, repeatability limit, precision limit, standard deviation of repeatability, standard deviation of precision.