

УДК 621.321

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТИЗОВАННЫХ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО И ТЕПЛОХИМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

ШАТОВА И.А., канд. техн. наук, ЛЕДУХОВСКИЙ Г.В., асп.

Выполнено сопоставление нормативных документов, регламентирующих процедуры статистической обработки результатов измерений. Предложен алгоритм обработки результатов теплотехнического и теплохимического эксперимента, основанный на использовании стандартизованных методов, показаны основные особенности их применения. Сформулированы требования к организации экспериментальных исследований с точки зрения последующей обработки их результатов.

Ключевые слова: теплотехнический и теплохимический эксперимент, показатели точности результатов измерения, обработка результатов эксперимента.

THE PECULIARITIES OF USING STANDARDIZED METHODS OF HEAT ENGINEERING AND HEAT CHEMICAL EXPERIMENT RESULTS STATISTICAL ANALYSIS

I.A. SHATOVA, Ph.D., G.V. LEDUKHOVSKIY, postgraduate

This paper is devoted to the comparison of norm, regulating the procedures of measuring results statistical analysis. The authors suggest the algorithm of heat engineering and heat chemical experiment results analysis, which is based on standardized methods usage. The main peculiarities of their application are also shown. The authors have formulated the requirements to the organization of researches in respect to their further results analysis.

Key words: heat engineering and heat chemical experiment, measuring results accuracy figures, experiment results analysis.

Идентификация математической модели некоторого объекта проводится по результатам экспериментальных исследований. Данные эксперимента представляют собой совокупности значений измеряемых параметров, при этом каждому уровню параметра соответствует ряд его значений. Предварительная обработка результатов испытаний связана с применением статистических методов. В общем случае предусматривается решение следующих задач: повышение качества исходной информации (устранение неоднородностей данных); получение основных вероятностных характеристик экспериментальных данных; получение основных вероятностных характеристик параметров, определяемых косвенно с использованием математической модели.

В специальной литературе описано значительное число статистических методов обработки данных [1]. Выбор метода обработки определяется задачами исследования и направлениями дальнейшего использования получаемых результатов. Однако главным требованием в отношении этих результатов является их представительность. Представительность результатов исследований, в частности, обеспечивается использованием стандартизованных методов обработки экспериментальных данных.

В России действует ряд нормативных документов, регламентирующих процедуры обработки результатов испытаний и способы представления полученных данных. Основная информация содержится в государственных стан-

дартах, рекомендациях и методических указаниях [2–16]. Если нет специальных требований, в ходе обработки результатов измерений должны быть определены следующие характеристики: окончательные результаты измерений и доверительные границы их погрешности, показатели точности результатов измерений.

С введением в действие нормативных документов [2, 6–16] не отменено действие других государственных стандартов и нормативных документов, регламентирующих процедуры обработки экспериментальных данных, таких как [3–5]. Вместе с тем между документами [2, 6–16] и [3–5] имеется ряд различий, в том числе, терминологических. Приведем пример. Процедуру обработки экспериментальных данных, получаемых как совокупность результатов многократных независимых прямых измерений, описывает государственный стандарт [3]. В соответствии с п. 1.1 указанного стандарта при статистической обработке группы результатов наблюдений следует выполнять следующие операции: отсеять грубые промахи; исключить известные систематические погрешности из результатов наблюдений; вычислить среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений; вычислить оценки средних квадратических отклонений результатов наблюдений и результата измерения; проверить гипотезу о принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению; вычислить доверительные границы случайной и неисключенной систематической составляющих погрешности ре-

зультата измерения; вычислить доверительные границы погрешности результата измерения. Сравнение нормативных документов [2, 6–16] и [3] в отношении указанных процедур позволяет выявить следующие различия:

- нормативные документы [2, 6–16] оперируют термином «результат измерения» вместо термина «наблюдение», который используется в [3], термином «окончательный результат измерения», аналогичным применяемому в [3] термину «результат измерения», термином «стандартное отклонение» вместо термина «среднее квадратическое отклонение»;

- в качестве окончательного результата измерения стандартом [3] предписано принимать среднее арифметическое результатов всех измерений. В стандарте [16] процедура получения окончательного результата измерения значительно расширена;

- стандарт [3] может применяться только в том случае, если распределение результатов измерений является нормальным. Стандарты [11–16] указывают на достаточность унимодальности распределения;

- нормативные документы [3–5] используют понятие доверительных границ погрешности результата измерения, а международные стандарты – неопределенности измерений. Связь между альтернативными способами представления результатов показана в [6].

Использование основных положений и терминологии нормативных документов [2, 6–16] является предпочтительным, что обусловлено следующими причинами: во-первых, выдвигаемые документами [2, 6–16] требования не противоречат соответствующим требованиям ранее изданных нормативных документов [3–5], а лишь дополняют их; во-вторых, в [2, 6–16] используется терминология международных стандартов, в частности основополагающего стандарта ИСО 5725:1994; стандарты и другие нормативные документы [3–5] являются нормативными документами Российской Федерации. Регламентирующие материалы [3–5] следует использовать, если поставленные задачи не могут быть решены с использованием нормативных документов [2, 6–16].

Показатели точности результатов измерений определяются с учетом требований государственного стандарта ГОСТ Р ИСО 5725-2002 (в шести частях) [11–16] и рекомендаций РГМ 61-2003 [9]. Стандарт [11] устанавливает две основные характеристики точности, определяемые в ходе обработки результатов измерений: правильность и прецизионность. Под правильностью результата измерения понимается степень его близости к условно истинному значению измеряемой величины или, в случае отсутствия эталона измеряемой величины, степень близости среднего значения большой серии результатов измерений к принятому опорному значению.

Под прецизионностью результатов измерения понимается степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных регламентированных условиях. Крайние случаи совокупностей регламентированных условий (например, таких как оператор, используемые средства и методы измерений, калибровка оборудования, параметры окружающей среды, интервалы времени между последовательными измерениями и пр.) составляют условия повторяемости (неизменными остаются все перечисленные факторы, кроме интервалов времени) и условия воспроизводимости (все факторы могут проявлять изменчивость). В большинстве случаев существует возможность расчета только промежуточных показателей прецизионности, дающих оценку способности метода измерений к повторению результатов измерений в точно определенных условиях.

Анализ имеющихся в нормативных документах [2–16] рекомендаций позволяет построить алгоритм обработки результатов теплотехнического или теплохимического эксперимента. Этот алгоритм предусматривает последовательное выполнение следующих операций:

- а) *идентификация и отсеив выбросов с использованием таких методов, как тестирование по критерию Кохрена или статистикам Мандела.* Допускается использование и других методов. Следует отметить, что в большинстве случаев при проведении экспериментальных исследований некоторого теплоэнергетического объекта количество повторных измерений каждого химического параметра в рамках одного опыта не превышает трех, что не позволяет идентифицировать выбросы. Поэтому в таких случаях следует ограничиться применением стандартизированной процедуры определения окончательного результата измерений;

- б) *оценка правильности результатов измерений и исключение известных систематических погрешностей.* Государственный стандарт ГОСТ Р ИСО 5725-4-2002 [14] устанавливает две меры правильности, а именно, систематическую погрешность метода измерения и систематическую погрешность лаборатории. Первая принимается по справочным материалам (при их наличии). Определение систематической погрешности лаборатории (под лабораторией здесь может пониматься оператор, работающий с определенным измерительным прибором) возможно при условиях, если, во-первых, установлено стандартное отклонение повторяемости метода измерений, и во-вторых, известны опорные значения параметров, определенные по методу с пренебрежимо малой систематической погрешностью. В большинстве случаев дублирующие измерения параметров в ходе испытаний объекта не применяются, а стандартное отклонение повторяемости метода измерений неизвестно;

в) *проверка гипотезы о принадлежности результатов измерения нормальному распределению.* В соответствии с требованиями п. 3.1.2 государственного стандарта [3], при числе результатов измерений (в рамках одного опыта) менее 15 принадлежность их нормальному распределению не проверяется. Однако методики, изложенные в данном стандарте, могут применяться только в том случае, если заранее известно, что результаты измерений принадлежат нормальному распределению. Для проверки этой гипотезы следует проводить специальный опыт, в ходе которого каждый из методов измерения параметров должен применяться не менее 15 раз на идентичных образцах (в условиях повторяемости);

г) *проверка приемлемости результатов измерений и установление окончательного результата измерений.* Эти процедуры регламентированы государственным стандартом ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 [16]. Их применение возможно, если измерения всех параметров проведены в точном соответствии с требованиями стандартных методов измерений, а условия измерений конкретного параметра в каждом опыте можно считать близкими к условиям повторяемости. Алгоритм обработки данных в целях оценки их приемлемости и установления окончательного результата измерений изложен в п. 5.2.3 указанного стандарта [16]. Алгоритм предусматривает использование утвержденных значений стандартных отклонений повторяемости, которые для многих из используемых методов измерений не известны. Поэтому в таких случаях следует вычислять оценки стандартных отклонений повторяемости, принимая во внимание, что полученные значения относятся только к условиям проведенных испытаний и их не следует рассматривать как показатели прецизионности методов измерений. Прецизионность результатов измерений параметра в отдельном опыте должна быть сопоставима с прецизионностью его измерений во всех опытах. Поэтому для расчета критического диапазона должна быть использована оценка стандартного отклонения повторяемости, характеризующая условия проведения всех опытов в целом. В качестве такой характеристики может быть принято среднеарифметическое значение стандартного отклонения повторяемости по всем опытам. Усреднение по различным параметрам, измеряемым одним и тем же методом, проводить не следует, поскольку при этом измерения проводятся на различных образцах и условия измерений не являются условиями повторяемости. Проверка приемлемости результатов измерения химических параметров регламентирована нормативным документом [7], который в целом аналогичен стандарту [16]. В зависимости от результатов проверки, за окончательный результат измерения принимается

среднеарифметическое значение или медиана всех результатов измерений;

д) *вычисление оценок стандартного отклонения результатов измерений, стандартного отклонения окончательных результатов измерений, определение доверительных границ случайной и неисключенной систематической составляющих погрешности окончательных результатов измерений, а также определение доверительных границ погрешности окончательных результатов измерений.* Эти операции выполняются в соответствии с требованиями государственного стандарта [3] и не вызывают трудностей.

Сделаем некоторые замечания относительно оценки показателей качества методик количественного химического анализа. В рекомендациях [9] установлены следующие качественные характеристики и их количественные оценки: точность анализа, характеризуемая приписанной характеристикой погрешности методики анализа (основная характеристика); правильность анализа, отражаемая через приписанную характеристику систематической погрешности методики анализа; повторяемость анализа, выражаемая приписанной характеристикой случайной погрешности результатов единичного анализа, получаемых в условиях повторяемости; воспроизводимость анализа, оцениваемая приписанной характеристикой случайной погрешности результатов анализа, полученных в условиях воспроизводимости.

В рамках отдельного опыта в промышленных условиях редко выполняется более трех отборов проб и измерений каждого из контролируемых химических параметров, поэтому на основании полученных данных оценка составляющих по последним трем позициям невозможна. В этих условиях следует воспользоваться известными показателями качества используемых методик количественного химического анализа, а именно, приписанной характеристикой погрешности методики анализа.

В качестве примера использования изложенного алгоритма приведен статистический анализ результатов измерения температуры воды в некотором трубопроводе (см. таблицу).

Анализ рассмотренных нормативных документов позволяет сформулировать ряд требований к организации экспериментальных исследований с точки зрения последующей обработки их результатов с использованием стандартизованных методов:

- для измерения параметров следует использовать методы измерений с известными значениями стандартного отклонения повторяемости и систематической погрешности;

- целесообразно выборочно применять альтернативные средства и методы измерения, характеризующиеся пренебрежимо малым значением систематической погрешности;

- условия измерений каждого параметра в отдельном опыте должны быть близкими к условиям повторяемости;

- необходимо проведение специального опыта по проверке гипотезы о принадлежности результатов измерений каждого параметра нормальному распределению;

- в рамках одного опыта следует предусматривать не менее девяти повторных измерений каждого теплотехнического параметра и, по возможности, не менее трех измерений каждого химического параметра.

Пример статистической обработки результатов измерения теплотехнического параметра

| № п/п | Наименование показателя, единица измерения | Обозначение | Метод определения | Значение | | | | | | | | |
|-------|---|-----------------------------------|---|---|------|------|--------|------|------|--------|------|------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | Номер опыта | j | - | 1 | | | | | | | | |
| 2 | Число результатов измерений | N _j | - | 9 | | | | | | | | |
| 3 | Измеряемый показатель, средство измерения (стандарт на изготовление) | - | - | температура воды в трубопроводе, термометр ртутный лабораторный ТЛ-4 № 3 (ТУ 25-2021.003-88 «Термометры ртутные стеклянные лабораторные») | | | | | | | | |
| 4 | Номер результата измерения | i | - | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 5 | Результат измерения, °С | y _{ji} | результат измерения | 62,5 | 72,3 | 62,4 | 70,8 | 65,6 | 63,5 | 69,8 | 63,7 | 70,1 |
| 6 | Идентификация выбросов | - | тестирование по критерию Кохрена | - | | | | | | | | |
| 6.1 | Число групп результатов измерений | t | - | 3 | | | | | | | | |
| 6.2 | Номер группы результатов измерения | b | - | 1 | | | 2 | | | 3 | | |
| 6.3 | Число результатов измерения в группе b | n | - | 3 | | | 3 | | | 3 | | |
| 6.4 | Номер результата измерения в группе b | k | - | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 6.5 | Результат k-го измерения в группе b, °С | y _{jbk} | результат измерения | 62,5 | 72,3 | 62,4 | 70,8 | 65,6 | 63,5 | 69,8 | 63,7 | 70,1 |
| 6.6 | Среднеарифметическое значение в группе b, °С | \bar{y}_{jb} | $\bar{y}_{jb} = \frac{\sum_{k=1}^n y_{jbk}}{n}$ | 65,733 | | | 66,633 | | | 67,867 | | |
| 6.7 | Оценка внутриэлементного стандартного отклонения в группе b, °С | s _{jb} | $s_{jb} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (y_{jbk} - \bar{y}_{jb})^2}$ | 5,687 | | | 3,758 | | | 3,612 | | |
| 6.8 | Максимальное значение квадрата внутриэлементного стандартного отклонения, (°С) ² | s _{jb(max)} ² | (s _{jb(max)}) ² | 32,343 | | | - | | | - | | |
| 6.9 | Тестовая статистика Кохрена | C _j | $C_j = \frac{s_{jb(max)}^2}{\sum_{b=1}^t s_{jb}^2}$ | 0,544 | | | - | | | - | | |
| 6.10 | Критическое значение критерия Кохрена C _{1%} ^{кр} | C _{1%} ^{кр} | таблица значений критерия Кохрена по t и n | 0,942 | | | - | | | - | | |
| 6.11 | Критическое значение критерия Кохрена C _{5%} ^{кр} | C _{5%} ^{кр} | таблица значений критерия Кохрена по t и n | 0,871 | | | - | | | - | | |
| 6.12 | Вывод о совместимости данных | - | C _j ≤ C _{5%} ^{кр} – данные совместимы, C _{5%} ^{кр} < C _j ≤ C _{1%} ^{кр} – квазивыброс; C _j > C _{1%} ^{кр} – выброс | данные совместимы | | | | | | | | |
| 6.13 | Результат измерения после исключения грубых промахов, °С | y _{ji} | результат измерения | 62,5 | 72,3 | 62,4 | 70,8 | 65,6 | 63,5 | 69,8 | 63,7 | 70,1 |
| 7 | Проверка гипотезы о принадлежности результатов измерений нормальному распределению | - | специальный опыт с числом измерений более 15, анализ результатов по составному d-m-критерию | распределение результатов измерений признано нормальным | | | | | | | | |
| 8 | Установление окончательного результата измерений | - | п. 5 ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 | - | | | | | | | | |

| № п/п | Наименование показателя, единица измерения | Обозначение | Метод определения | Значение | | | | | | | | | | | |
|-------|---|-------------------------------------|---|---|------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | - | 72,3 | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| 8.1 | Максимальное значение из результатов измерений, °С | $(y_{ji})_{max}$ | максимальное значение из результатов измерений y_{ji} | - | 72,3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 8.2 | Минимальное значение из результатов измерений, °С | $(y_{ji})_{min}$ | минимальное значение из результатов измерений y_{ji} | - | - | 62,4 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 8.3 | Критическая разность, °С | $((y_{ji})_{max} - (y_{ji})_{min})$ | $((y_{ji})_{max} - (y_{ji})_{min})$ | 9,9 | | | | | | | | | | | |
| 8.4 | Коэффициент критического диапазона | $f(N_j)$ | таблица государственного стандарта ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 по значению N_j | 4,4 | | | | | | | | | | | |
| 8.5 | Оценка стандартного отклонения повторяемости для условий измерения параметра в целом для всех опытов, °С | $S_r(y)$ | $S_r(y) = \frac{\sum_{j=1}^q S_r(y_j)}{q}$ (q – количество опытов, в которых измерялся параметр y и результаты измерений не исключены в полном объеме при тестировании выбросов) | 0,5 | | | | | | | | | | | |
| 8.6 | Критический диапазон, °С | $CR_{0,95}(N_j)$ | $CR_{0,95}(N_j) = f(N_j)\sigma_r$ | 2,2 | | | | | | | | | | | |
| 8.7 | Вывод о соотношении критического диапазона и разности максимального и минимального значений | - | - | Разность $((y_{ji})_{max} - (y_{ji})_{min})$ превышает критический диапазон | | | | | | | | | | | |
| 8.8 | Окончательный результат измерения, °С | \bar{y}_j | медиана результатов измерений | 65,6 | | | | | | | | | | | |
| 9 | Стандартное отклонение результатов измерений, °С | $S(y_{ji})$ | $S(y_{ji}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_j} (y_{ji} - \bar{y}_j)^2}{N_j - 1}}$ | 4,149 | | | | | | | | | | | |
| 10 | Стандартное отклонение окончательного результата измерения, °С | $S(\bar{y}_j)$ | $S(\bar{y}_j) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_j} (y_{ji} - \bar{y}_j)^2}{N_j(N_j - 1)}}$ | 1,383 | | | | | | | | | | | |
| 11 | Доверительные границы случайной составляющей погрешности окончательного результата измерения | - | п. 3 ГОСТ 8.207-76 | - | | | | | | | | | | | |
| 11.1 | Коэффициент Стьюдента | t_c | таблица значений коэффициента Стьюдента по значению N_j при доверительной вероятности 95 % | 2,306 | | | | | | | | | | | |
| 11.2 | Доверительные границы случайной составляющей погрешности окончательного результата измерения, °С | ε_j | $\varepsilon_j = t_c S(\bar{y}_j)$ | 3,189 | | | | | | | | | | | |
| 12 | Доверительные границы неисключенной систематической составляющей погрешности окончательного результата измерения, °С | θ_j | предел основной абсолютной погрешности метода измерения по техническому паспорту средства измерений | 0,5 | | | | | | | | | | | |
| 13 | Доверительные границы погрешности окончательного результата измерения, °С | Δ_j | $\Delta_j = 1,1\sqrt{\varepsilon_j^2 + \theta_j^2}$ | 3,551 | | | | | | | | | | | |
| 14 | Оценка стандартного отклонения промежуточной прецизионности (при изменении интервалов времени между замерами и оператора), °С | $S_{I(TO)}(y_j)$ | $S_{I(TO)}(y_j) = \sqrt{\frac{1}{t(n-1)}} \times x \sqrt{\sum_{b=1}^t \sum_{k=1}^n (y_{jkb} - \bar{y}_{jb})^2}$ | 4,454 | | | | | | | | | | | |
| 15 | Представление окончательного результата измерения | - | ГОСТ 8.207-76 | $(65,600 \pm 3,551) \text{ °С, } 95 \%$ | | | | | | | | | | | |

Заключение

В целях обеспечения представительности получаемых результатов экспериментальные исследования объектов теплоэнергетики следует организовывать с учетом нормативных документов, регламентирующих процедуры статистической обработки результатов измерений. Комплекс действующих в настоящее время нормативных документов включает две группы: документы, введенные в действие до 2000 г., действующие лишь на территории Российской Федерации, и относительно новые документы, соответствующие международным стандартам. Между этими регламентирующими материалами существует ряд различий. Предпочтительным является применение документов второй группы, однако к настоящему времени еще не накоплена достаточная база значений статистических характеристик многих методов измерений, что не позволяет полностью перейти к использованию международных стандартов. В этих условиях целесообразно сбалансировано применять методики, изложенные в документах обеих групп. С учетом этого разработан представленный выше алгоритм статистической обработки результатов измерений теплотехнических и химических параметров.

Список литературы

1. **Теоретические** основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Под общ. ред. чл.-корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 2001.

2. **Измерения прямые** однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результатов измерений. Рекомендации по метрологии. Государственная система обеспечения единства измерений: Р 50.2.038-2004. – Взамен МИ 1552-86: утв. Федеральным агентством по техн. регулированию и метрологии 27.10.2004: введ. в действие с 01.01.05. – М.: Изд-во стандартов, 2005.

3. **ГОСТ 8.207-76. Прямые** измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Введ. 15.03.1976. – М.: Гос. комитет стандартов Совета Министров СССР; М.: Изд-во стандартов, 1976.

4. **Измерения косвенные.** Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей: МИ 2083-90: Введ. в действие с 01.01.1992. – М.: Изд-во стандартов, 1991.

5. **Результаты** и характеристики погрешности измерений. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений: МИ 1317-86. – Взамен ГОСТ 8.011-72: утв. Госстан-

Шатова Ирина Анатольевна,
МП «Ивгортеплоэнерго»,
кандидат технических наук, нач. службы К и ДТЭ,
телефон (4932) 20-60-66.

Ледуховский Григорий Васильевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант кафедры тепловых электрических станций,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. В, ауд. 408,
телефон (4932) 41-60-56,
e-mail: lgv83@yandex.ru

дартом СССР 16.04.1986: введ. в действие с 01.01.1987. – М.: Изд-во стандартов, 1986.

6. **Применение** «Руководства по выражению неопределенности измерений». Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений: РГМ 43-2001: утв. Гос. комитетом Российской Федерации по стандартизации и метрологии 26.03.03: введ. в действие с 01.07.03. – М.: Изд-во стандартов, 2003.

7. **Методики** количественного химического анализа. Процедуры проверки приемлемости результатов анализа. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений: МИ 2881-2004: утв. ФГУП «УНИИМ» 20.06.04: – Екатеринбург: ФГУП «УНИИМ», 2004.

8. **Показатели** точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений: МИ 2336-2002. – Взамен МИ 2336-95: утв. ФГУП «УНИИМ» 24.10.02: – Екатеринбург: ФГУП «УНИИМ», 2002.

9. **Показатели** точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений: РГМ 61-2003: утв. Федеральным агентством по техн. регулированию и метрологии 27.10.04: введ. в действие с 01.01.05. – М.: Изд-во стандартов, 2004.

10. **Внутренний** контроль качества результатов количественного химического анализа. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений: МИ 2335-2003. – Взамен МИ 2335-95: утв. ФГУП «УНИИМ» 18.09.03: – Екатеринбург: ФГУП «УНИИМ», 2003.

11. **ГОСТ Р ИСО 5725-2002.** Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. В 6 ч. Ч. 1. Основные положения и определения: Р ИСО 5725-1-2002. Введ. 23.04.02. – М.: Госстандарт России; М.: Изд-во стандартов, 2002.

12. **ГОСТ Р ИСО 5725-2002.** Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. В 6 ч. Ч. 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений: Р ИСО 5725-2-2002. Введ. 23.04.02. – М.: Госстандарт России; М.: Изд-во стандартов, 2002.

13. **ГОСТ Р ИСО 5725-2002.** Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. В 6 ч. Ч. 3. Промежуточные показатели прецизионности стандартного метода измерений: Р ИСО 5725-3-2002. Введ. 23.04.02. – М.: Госстандарт России; М.: Изд-во стандартов, 2002.

14. **ГОСТ Р ИСО 5725-2002.** Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. В 6 ч. Ч. 4. Основные методы определения правильности стандартного метода измерений: Р ИСО 5725-4-2002. Введ. 23.04.02. – М.: Госстандарт России; М.: Изд-во стандартов, 2002.

15. **ГОСТ Р ИСО 5725-2002.** Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. В 6 ч. Ч. 5. Альтернативные методы определения прецизионности стандартного метода измерений: Р ИСО 5725-5-2002. Введ. 23.04.02. – М.: Госстандарт России; М.: Изд-во стандартов, 2002.

16. **ГОСТ Р ИСО 5725-2002.** Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. В 6 ч. Ч. 6. Использование значений точности на практике: Р ИСО 5725-6-2002. Введ. 23.04.02. – М.: Госстандарт России; М.: Изд-во стандартов, 2002.