

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ, ПРОЦЕССОВ И УСЛУГ

---

УДК 53.089.6.004.12

*Д.А. Дивина\**

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ КАРТ ШУХАРТА ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ КАЛИБРОВКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Определение удельной теплоемкости материалов относится к области калориметрии, изучающей методы и средства измерения теплотехнических свойств материалов. Результаты калориметрических измерений используются [1]:

- в научных исследованиях;
- при проектировании технологических процессов и аппаратов, промышленных и гражданских сооружений;
- при контроле и испытании качества продукции (переработанных материалов).

Наиболее точные измерения теплоемкости веществ обычно проводят в адиабатическом калориметре. Экспериментальное определение удельной теплоемкости материалов выполняется с использованием автоматизированной измерительной установки на базе модифицированного С-калориметра типа ИТ-С-400 (рис. 1), в котором реализован метод монотонного разогрева [1], предназначенный для исследования температурной зависимости теплоемкости твердых тел, сыпучих и волокнистых материалов, а также жидкостей с плотностью  $\geq 800$  кг/м<sup>3</sup>. Ход эксперимента и обработка экспериментальных данных осуществляется под управлением персонального компьютера, в соответствии с программой Main\_ITC.vi, разработанной на кафедре УКиС ТГТУ в среде LabView-7.0.

Измерительная установка не подлежит государственному метрологическому контролю и надзору, поэтому периодически (с интервалом в один месяц) проводится ее калибровка [2], позволяющая установить соотношение между значением величины, полученным с помощью данной измерительной установки, и соответствующим значением величины, определенным с помощью стандартного образца с целью

---

\* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ГОУ ВПО ТГТУ А.Г. Дивина, д-ра техн. наук, проф. ГОУ ВПО ТГТУ С.В. Пономарева.

определения действительных метрологических характеристик этого средства измерений.

Для наглядного отображения результатов измерения и сравнения их со стандартным значением удельной теплоемкости кварцевого оптического стекла  $c = 840$  Дж/(кг·К) при 100 °С [3] были построены контрольные карты скользящих размахов  $MR$  (рис. 1, *a*) и индивидуальных значений  $X$  (рис. 1, *б*). Вид контрольных карт выбран не случайно, так как в данном процессе измерения непрактично использование рациональных подгрупп [4], необходимых для построения карты средних ( $\bar{X}$ ) и размахов ( $R$ ), потому что время, необходимое для проведения подобного эксперимента настолько велико, что его многократное проведение нецелесообразно.

### 1. Десять последовательных измерений удельной теплоемкости

Наименование показателя	Значение для подгруппы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Удельная теплоемкость $c$ , Дж/(кг·К)	803,5	812,9	823,6	776,3	806,1	854,1	786,4	785,9	800,5	820,6
Скользящий размах $MR$		9,4	10,7	47,3	29,8	48	67,7	0,5	14,6	20,1

На основе рекомендаций [4] были рассчитаны основные характеристики используемых контрольных карт.

#### Линии контрольной карты для скользящих размахов:

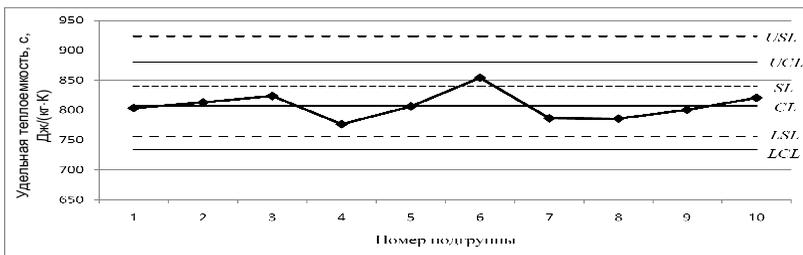
- Центральная линия  $CL = \bar{R} = 27,57$  Дж/(кг·К);
- Верхняя контрольная граница  $UCL = D_4 \bar{R} = 3,27 \cdot 27,57 = 90,06$  Дж/(кг·К);
- Нижняя контрольная граница  $LCL = D_3 \bar{R} = 0 \cdot 27,57 = 0$  Дж/(кг·К).

#### Линии контрольной карты индивидуальных значений:

- Центральная линия  $CL = \bar{X} = 806,99$  Дж/(кг·К);
- Верхняя контрольная граница  $UCL = \bar{X} + E_2 \bar{R} = 806,99 + 2,66 \cdot 27,57 = 880,31$  Дж/(кг·К);
- Нижняя контрольная граница  $LCL = \bar{X} - E_2 \bar{R} = 806,99 - 2,66 \cdot 27,57 = 733,67$  Дж/(кг·К);
- Стандартное значение [3]  $SL = 840$  Дж/(кг·К);
- Наибольшее предельное значение  $USL = SL + 10\% = 924$  Дж/(кг·К);
- Наименьшее предельное значение  $LSL = SL - 10\% = 756$  Дж/(кг·К).



а)



б)

**Рис. 1. Контрольные карты показаний автоматизированной измерительной установки:**

а – карта скользящих размахов (MR);

б – карта индивидуальных значений (X)

Анализ контрольных карт показывает, что процесс стабилен по разбросу и положению среднего. В этом случае следует рассчитывать индексы воспроизводимости на основе собственной изменчивости процесса  $\sigma_1$  [5]:

$$\sigma_1 = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{27,567}{1,28} = 24,439 ,$$

где  $\bar{R}$  – средний скользящий размах;  $d_2$  – коэффициент, значения которого зависят от числа точек  $n$ , использованных для расчета скользящих размахов в MR-карте. По данным [4]  $d_2 = 1,128$ .

Значения индексов воспроизводимости  $C_p$  и  $C_{pk}$  рассчитывают по следующим формулам [5]:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_1} = \frac{924 - 756}{6 \times 24,439} = 1,146 ;$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \bar{X}}{3\sigma_1}, \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma_1}\right) = \min\left(\frac{924 - 806,99}{3 \cdot 24,439}, \frac{806,99 - 756}{3 \cdot 24,439}\right) = 0,695.$$

Рассчитанное значение  $C_{pk}$  достаточно мало, следовательно, возможности процесса измерения нельзя считать приемлемыми, необходимо улучшить настройку процесса на центр поля допуска.

Максимальная относительная погрешность измерения удельной теплоемкости стандартного образца  $\delta = -7,583\%$ , а средняя относительная погрешность за десять измерений  $\delta_{cp} = -3,929\%$ .

Приведенные расчеты показывают, что точность процесса можно повысить путем введения поправки в результаты измерений:

$$\nabla = SL - CL = 33,01 \frac{Дж}{кг \cdot К},$$
$$c^{исп} = c^{изм} + \nabla,$$

где  $c^{исп}$  – исправленное значение удельной теплоемкости;  $c^{изм}$  – измеренное значение удельной теплоемкости.

Таким образом, использование контрольных карт позволяет провести более тщательный анализ процесса измерения и разработать предложения по его совершенствованию на основе полученных данных.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы, госконтракт № 14.740.11.0141.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теоретические и практические основы теплофизических измерений / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко, А.Г. Дивин, В.А. Вертоградский, А.А. Чуриков ; под ред. С.В. Пономарева. – М. : ФИЗМАЛИТ, 2008. – 408 с.
2. РМГ29-99. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Метрология. Основные термины и определения. – М. : Издательство стандартов, 2000. – 52 с.
3. ГОСТ Р 15130–86. Стекло кварцевое оптическое. Общие технические условия. – М. : Издательство стандартов, 1999. – 30 с.
4. ГОСТ Р 50779.42–99. Статистические методы. Контрольные карты Шухарта. – М. : Издательство стандартов, 1999. – 36 с.
5. ГОСТ Р 50779.44–99. Статистические методы. Показатели возможностей процессов. – М. : Издательство стандартов, 2001. – 20 с.

*Кафедра «Управление качеством и сертификация» ГОУ ВПО ТГТУ*