

УДК 167.004.12

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ,
ИНСТРУМЕНТОВ И МЕТОДОВ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**С.В. Мищенко¹, С.С.С. Аль-Бусаиди¹, Г.А. Соседов², К.Н. Савин³,
И.Н. Шемякина¹, Д.А. Дивина¹, С.В. Пономарев¹**

*Кафедра «Управление качеством и сертификация» (1);
многопрофильный колледж ТГТУ (2);
кафедра «Экономический анализ и качество» (3);
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; kafedra@uks.tstu.ru*

Ключевые слова и фразы: контрольные карты; методология решения проблем; методы менеджмента качества; метод «мгновенного» источника тепла; температуропроводность; теплоемкость; цикл Деминга.

Аннотация: Рассмотрены вопросы управления качеством процесса исследований теплофизических свойств материалов на основе методологии решения проблем, представляющей собой детализацию цикла Деминга. В рамках этой методологии используются диаграммы Парето и Исикавы, мозговой штурм, FMEA-анализ и другие инструменты и методы менеджмента качества.

Тамбовский государственный технический университет уже достаточно давно и активно использует методы менеджмента качества. Важным направлением в использовании методов менеджмента качества являются научные исследования, проводимые в вузе, в том числе исследования теплофизических свойств материалов.

Выбор оптимальных режимных параметров методов и рациональных конструктивных размеров измерительных устройств приходится осуществлять как при проектировании и разработке новых методов и устройств, так и при модернизации уже используемых установок и систем для теплофизических исследований и измерений.

**Рекомендации по использованию методологии решения проблем
при управлении качеством проектирования и модернизации
теплофизических методов, установок и систем**

На протяжении многих лет в университете накоплен опыт проведения научно-исследовательских работ на основе использования методологии решения проблем [1], предусматривающей осуществление восьми этапов работ (рис. 1).



Рис. 1. Методология решения проблем, совмещенная с фазами цикла Деминга

На **первом этапе** следует сформулировать (определить, описать) постановку проблемы и правильное описание проблемы:

- определяет свойства и специфику проблемы, например то, какие теплофизические свойства (характеристики) необходимо измерять, какие методы и устройства могут быть при этом использованы, с какими погрешностями необходимо измерять теплофизические свойства, какова допустимая длительность процесса измерения и т.п.;

- идентифицирует (устанавливает) следствия и имеющиеся результаты, а не причины, например, применяемые до сих пор методы и устройства имеют погрешности 10–15 %, длительность эксперимента 4 ч, до 20–30 % экспериментов приходится повторять из-за отказов системы;

- фокусирует внимание на различии между тем, как это делается сейчас, и как это должно быть, в частности длительность эксперимента должна быть не более 0,5 ч, а погрешности в пределах 5–7 %;

– включает в себя всесторонние сведения о рассматриваемой проблеме, а именно поиск ответов на вопросы: для достижения каких целей будут проводиться измерения; в каких условиях; как часто; в каких случаях; какова квалификация тех, кто будет проводить измерения; насколько подробной должна быть рабочая инструкция для оператора?

На **втором этапе** необходимо определить имеющуюся на начало работ фактическую ситуацию. Для правильного и успешного разрешения проблемы необходимо знать, как процесс измерения проводится до последнего времени, каковы характеристики (диапазон измерения, точность, длительность, потребляемая мощность и др.) этого процесса и его результатов?

В данном случае необходимо определить множество проявлений проблемы в виде списка возможных неисправностей установки, сбоев в работе программного обеспечения, метрологических отказов информационно-измерительной системы (ИИС) и т.п. Если имеются записи о сбоях, отказах и других проявлениях проблемы, то на основе этих данных можно рекомендовать построить диаграмму Парето [1]. Если такие записи ранее не вели, то следует разработать форму контрольного листка для сбора информации, необходимой для выявления наиболее часто случающихся проявлений проблемы.

При проектировании новой системы следует сформировать группу экспертов и в процессе мозгового штурма сгенерировать множество возможных проявлений проблемы, а затем экспертным методом определить наиболее вероятные дефекты и несоответствия. Сам процесс измерения желательно наглядно представить в виде поточной диаграммы (блок-схемы последовательности операций) [1].

На **третьем этапе** необходимо идентифицировать всевозможные причины проблемы (например, причины основных видов отказов, источники погрешностей измерений [2, 3] и т.п.), осуществить анализ этих причин и определить наиболее важные из них. При этом можно рекомендовать использование таких инструментов управления качеством [1], как мозговой штурм, диаграмма Исикавы, FMEA-анализ и др. Если на этом этапе определились четыре главные причины проблемы, например, непонятно при каких режимных параметрах метода следует проводить измерения (I); нет ясности о том, какими должны быть конструкционные параметры измерительного устройства (II); используемый аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) имеет низкий уровень помехозащищенности (III); необходимость повторного проведения экспериментов обусловлена износом приспособления для размещения исследуемого образца в измерительном устройстве (IV), то это означает, что *исходная проблема* на данном этапе *сведена к решению четырех задач*, направленных на устранение перечисленных выше причин (I–IV).

На **четвертом этапе** следует уточнить постановку выявленных задач, идентифицировать (генерировать) методы их возможных решений (тех задач, к которым была сведена исходная проблема на предыдущем этапе) и осуществить выбор лучших (оптимальных) вариантов.

Если исходная проблема была сведена к решению четырех задач, то для решения каждой из этих задач в дальнейшем могут быть назначены ответственные лица или сформированы команды из необходимого количества специалистов.

Пятый этап нацелен на тщательное планирование действий по осуществлению (внедрению) улучшенного процесса и/или конструкции. На этом этапе каждой команде или ответственному специалисту следует:

- сформулировать ясный план дальнейших действий;
- идентифицировать потенциальные барьеры (препятствия) и запланировать необходимые предупреждающие действия;
- предусмотреть все необходимые ресурсы для осуществления проектов, в том числе средства и методы мониторинга и измерения в процессе осуществления дальнейших действий;

– определить потребности в обучении и тренинге персонала, вовлеченного в выполнение дальнейших действий.

Для решения задач I, II можно запланировать следующие действия:

– записать постановку математической задачи, описывающей температурные поля в образцах исследуемых материалов при использовании нового метода и устройства;

– сформулировать целевую функцию (функционал), позволяющую выбрать оптимальные режимные параметры и рациональные конструкционные размеры устройства;

– аналитически или численно решить полученную задачу оптимизации и определить рекомендуемые диапазоны выбора как режимных параметров, так и конструкционных размеров.

Если задачи не требуют использования математических моделей, то можно запланировать следующие. Например, для задачи III с помощью мозгового штурма (на основе накопленного опыта проведения работ, обзора литературы, имеющихся в Интернете сведений и других источников информации) следует сгенерировать множество возможных решений задачи, например, список типов и цен помехозащищенных АЦП, список доступных вариантов защиты входных цепей АЦП от помех с указанием затрат на практическое осуществление этих вариантов. В качестве целевой функции при решении такой задачи можно использовать минимизацию затрат на достижение необходимой помехозащищенности измерительного канала.

Для задачи IV повышения надежности приспособления, обеспечивающего постоянное прижимающее усилие при размещении образца в измерительном устройстве, можно запланировать проведение ремонта, изготовление нового приспособления по имеющимся чертежам или разработку улучшенной конструкции и изготовление модернизированного приспособления с размещением заказа на стороне. При этом целевыми функциями могут быть либо минимизация финансовых затрат, либо минимизация затрат времени на улучшение приспособления.

На третьем, четвертом и пятом этапах рекомендуется также использовать FMEA-анализ, QFD-анализ и другие инструменты управления и методы менеджмента качества [1].

Рассмотренные выше пять этапов выполнения работ представляют собой первую фазу Plan цикла улучшения PDCA (Plan–Do–Check–Act: Планируй–Сделай–Проверь–Действуй) Деминга [1].

Шестой этап предусматривает выполнение запланированных усовершенствований на основе предложенных методов решений ранее выявленных задач. Если есть возможность, то первоначально эти решения задач следует осуществлять в небольшом масштабе. Например, сначала надо провести модернизацию только одного экземпляра используемой в лаборатории установки, а модернизацию остальных отложить на более поздние этапы (после получения убедительных доказательств успешности предложенных улучшений).

Выполнение данного этапа работ предусматривает сначала разработку проектов выполнения выбранных решений задач (к которым была сведена проблема на третьем–пятом этапах рассматриваемой методологии), а затем осуществление этих решений первоначально в малом масштабе. В частности, необходимо сделать следующее:

– поставить и решить математические задачи как оптимизации режимных параметров проектируемого (модернизируемого) метода, так и выбора рациональных конструкционных размеров измерительного устройства;

– осуществить проектирование операций метода и конструкции устройства:

а) спроектировать процедуры проведения измерительных операций нового метода (методики), обеспечивающие оптимальные режимы проведения теплофизических измерений;

б) разработать чертежи новой конструкции измерительного устройства (или его узлов), обеспечивающего проведение теплофизических измерений при рациональных конструкционных размерах, позволяющих минимизировать погрешности измерений;

в) разработать алгоритмы как для управления ходом эксперимента, так и для обработки получаемых экспериментальных данных;

– изготовить детали, собрать измерительное устройство и провести его испытания;

– составить и отладить программы по разработанным алгоритмам;

– произвести интеграцию (объединение) изготовленной установки (Hardware) и составленного программного обеспечения (Software) в единую ИИС;

– провести испытания ИИС на материалах с известными теплофизическими свойствами, оценить погрешности измерений;

– при необходимости, разработать методику введения поправок в результаты измерений.

Данный этап совпадает со второй фазой Do цикла улучшения PDCA Деминга [1].

Седьмой этап предусматривает проверку (оценку) результативности и эффективности действий по осуществлению запланированных усовершенствований. При этом надо установить, позволило ли выполнение усовершенствования устранить рассматриваемую проблему полностью или только частично, в частности, удалось ли:

– уменьшить погрешности измерений до требуемой величины;

– повысить воспроизводимость силового воздействия приспособления, обеспечивающего минимизацию тепловых сопротивлений на поверхностях контакта образцов с поверхностями измерительной ячейки;

– снизить вероятную потребность в повторном проведении экспериментов;

– создать успешно действующую методику введения поправок;

– устранить другие симптомы (проявления) рассматриваемой проблемы.

Если симптомы (проявления) рассматриваемой проблемы устранены не все, то возможно, что:

– какое-либо усовершенствование (решение) является неверным (нерезультативным);

– были приняты во внимание ошибочные причины симптомов (проявлений) рассматриваемой проблемы;

– были рассмотрены ошибочные (несоответствующие действительности) проявления (несоответствия, дефекты) проблемы;

– сама проблема была определена неверно.

Если запланированные результаты улучшений достигнуты не в полной мере, то следует вернуться к предыдущим этапам, например, произвести уточнение постановки проблемы и причин ее возникновения, запланировать новый вариант усовершенствования, разработать и осуществить его проект, оценить результативность и эффективность улучшения.

Седьмой этап рассматриваемой методологии соответствует третьей фазе Check цикла улучшения PDCA Деминга [1].

После получения убедительных свидетельств того, что проблема решена, можно перейти к очередному этапу.

На **восьмом этапе** необходимо стандартизировать и осуществить полномасштабное внедрение достигнутого улучшения. На этом этапе необходимо доработать и утвердить проектную документацию выполненного усовершенствования, в том числе:

– внести необходимые изменения в чертежи, алгоритмы и программы;

- на основе накопленного опыта доработать рабочую инструкцию для операторов, осуществляющих измерения теплофизических свойств;
- внедрить усовершенствование на всех установках, используемых в лаборатории;
- при необходимости провести теоретическое обучение и тренинг операторов на рабочих местах;
- периодически контролировать работу операторов для предотвращения неправильного выполнения их действий.

Восьмой этап эквивалентен фазе Акт цикла улучшения PDCA Деминга [1].

После завершения работ необходимо проанализировать результаты выполнения проекта, желательно для этого составить отчет, чтобы сохранить накопленный опыт. Помимо этого, необходимо рассмотреть и обсудить возможность использования выработанного решения проблемы для усовершенствования других теплофизических методов, устройств, установок и систем не только в своей лаборатории, но и в различных подразделениях организации.

Результаты применения методологии решения проблем для выбора оптимальных конструкционных размеров и режимных параметров метода «мгновенного» источника тепла при измерении теплофизических свойств твердых материалов

Физическая модель устройства приведена на рис. 2.

В монографии [3] показано, что определение коэффициента температуропроводности обычно осуществляется с использованием формулы

$$a = \frac{r_0^2}{4\tau_{\max}}, \quad (1)$$

где τ_{\max} – момент времени, в который достигается максимальное значение температуры T_{\max} .

Применение рассмотренной выше методологии решения проблем показало, что вместо измерения момента времени τ_{\max} следует осуществлять измерения (рис. 3) моментов времени τ' , τ'' , соответствующих заданному значению безразмерного параметра

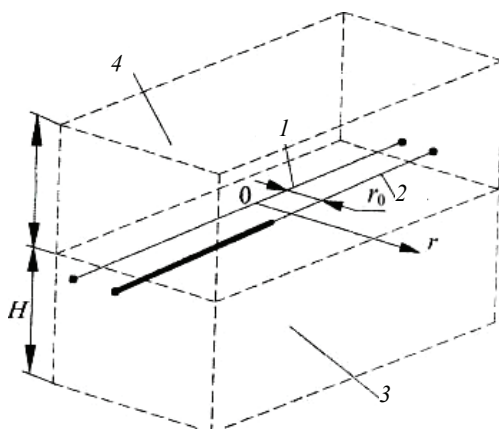


Рис. 2. Физическая модель устройства для реализации метода линейного «мгновенного» источника тепла:

r_0 – расстояние между линейным нагревателем 1 и измерителем температуры 2;
3, 4 – образцы исследуемого материала

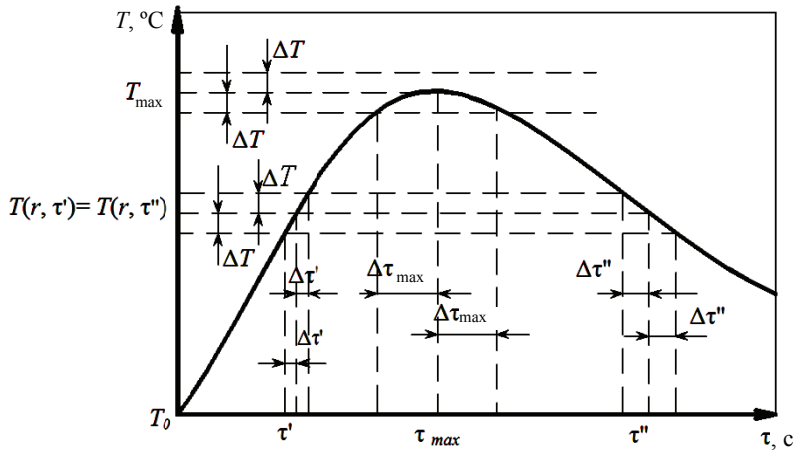


Рис. 3. График, иллюстрирующий зависимость абсолютной погрешности $\Delta\tau$ определения времени от абсолютной погрешности ΔT измерения температуры

$$\alpha = (T(r, \tau) - T_0) / (T_{\max} - T_0),$$

где T_0 , T_{\max} – начальное и максимальное значения температуры в процессе эксперимента; $T(r, \tau)$ – текущее значение температуры в момент времени τ на расстоянии r от места, где подействовал импульсный источник тепла.

В статье [4] показано, что заданному значению $\alpha = (T(r, \tau) - T_0) / (T_{\max} - T_0)$ соответствуют два корня $z' = z(\tau'(\alpha))$, $z'' = z(\tau''(\alpha))$ уравнения

$$z \exp(1 - z) = \alpha. \quad (2)$$

С учетом того, что $z = \frac{r^2}{4a\tau}$ получены расчетные формулы для вычисления коэффициента температуропроводности, в частности,

$$\text{из } z' = z(\tau'(\alpha)) = \frac{r^2}{4a\tau'} \text{ следует, что } a = \frac{r^2}{4z'\tau'}, \quad (3)$$

$$\text{из } z'' = z(\tau''(\alpha)) = \frac{r^2}{4a\tau''} \text{ следует, что } a = \frac{r^2}{4z''\tau''}, \quad (4)$$

где τ' , τ'' – меньший и больший моменты времени, в которые достигается заданное значение $\alpha = (T(r, \tau) - T_0) / (T_{\max} - T_0)$.

По методике, описанной в [2, 3], легко получить выражения для вычисления погрешностей, для случая определения температуропроводности по формулам (3) и (4), в виде:

$$(\delta a)' = \sqrt{4\delta^2 r + \left[\frac{\delta T_{\max}}{\tau' e[1 - z'] \exp(-z')} \right]^2 + \left[\frac{1}{z'(\alpha)} \frac{dz'(\alpha)}{d\alpha} \alpha \right]^2 \left(1 + \frac{1}{\alpha^2} \right) \delta^2 T_{\max}}, \quad (5)$$

$$(\delta a)'' = \sqrt{4\delta^2 r + \left[\frac{\delta T_{\max}}{\tau'' e[1 - z''] \exp(-z'')} \right]^2 + \left[\frac{1}{z''(\alpha)} \frac{dz''(\alpha)}{d\alpha} \alpha \right]^2 \left(1 + \frac{1}{\alpha^2} \right) \delta^2 T_{\max}}. \quad (6)$$

Была также получена зависимость для вычисления среднеквадратичной оценки относительной погрешности измерения объемной теплоемкости c_p , имеющая вид

$$\delta(c_p) = \sqrt{\delta^2 Q_{\text{л}} + 4\delta^2 r + \delta^2 \alpha + \delta^2 [T(r, \tau'(\alpha)) - T_0]} = \sqrt{\delta Q_{\text{л}} + 4\delta^2 r + \delta T_{\text{max}} \left(\frac{2}{\alpha^2} + 1 \right)}, \quad (7)$$

где $\delta Q_{\text{л}}$ – относительные погрешности измерения количества теплоты $Q_{\text{л}}$, которая мгновенно выделяется в единице длины линейного нагревателя; δT_{max} – относительная погрешность измерений максимальной разности температур $T_{\text{max}} - T_0$; δr – относительная погрешность измерения расстояния r между линейным нагревателем 1 и измерителем температуры 2, представленных на рис. 2.

По полученным формулам были рассчитаны зависимости погрешностей $\delta a'$, $\delta a''$, $\delta(c_p)$ от величины α , представленные на рис. 4. В этих расчетах были использованы следующие исходные данные: $Q_{\text{л}} = 350$ (Вт·с)/м; $\Delta Q_{\text{л}} = 7$ Вт·с/м; $r = 5$ мм; $\Delta r = 0,1$ мм; $\Delta T_{\text{max}} = 0,01$ К. В результате были выбраны оптимальные параметры, обеспечивающие наименьшую погрешность.

Как видно из графиков, приведенных на рис. 4, при измерении коэффициента температуропроводности оптимальное значение α находится в диапазоне 0,4...0,6. Путем проведения более точных расчетов (с мелким шагом по переменной α) были определены минимальные значения погрешностей и соответствующие им оптимальные значения α :

$$\delta a'_{\text{min}} = 4,22 \% \quad \text{при } \alpha_{\text{опт}} = 0,48;$$

$$\delta a''_{\text{min}} = 4,87 \% \quad \text{при } \alpha_{\text{опт}} = 0,6.$$

Таким образом, для получения минимальной погрешности измерения коэффициента температуропроводности лучше использовать исходные данные, полученные в момент времени τ' (на восходящей ветви температурной кривой). При этом оптимальным значением параметра α при измерении температуропроводности является величина $\alpha = 0,48$ при величине расстояния $r = 5$ мм. При этих вели-

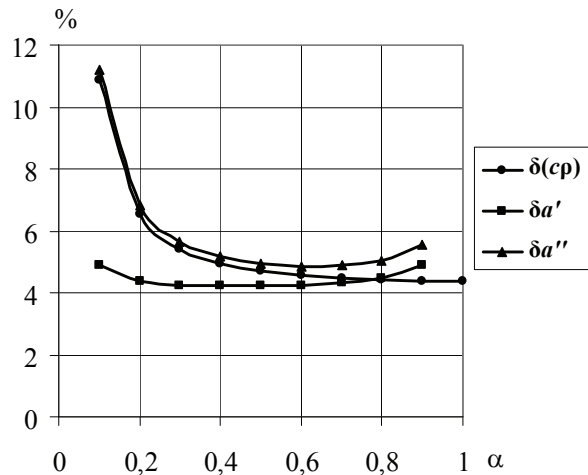


Рис. 4. Зависимость относительных погрешностей $\delta a'$, $\delta a''$ определения температуропроводности и относительной погрешности $\delta(c_p)$ определения объемной теплоемкости от значения α для $Q_{\text{л}} = 350$ Вт·с/м, $r = 5$ мм

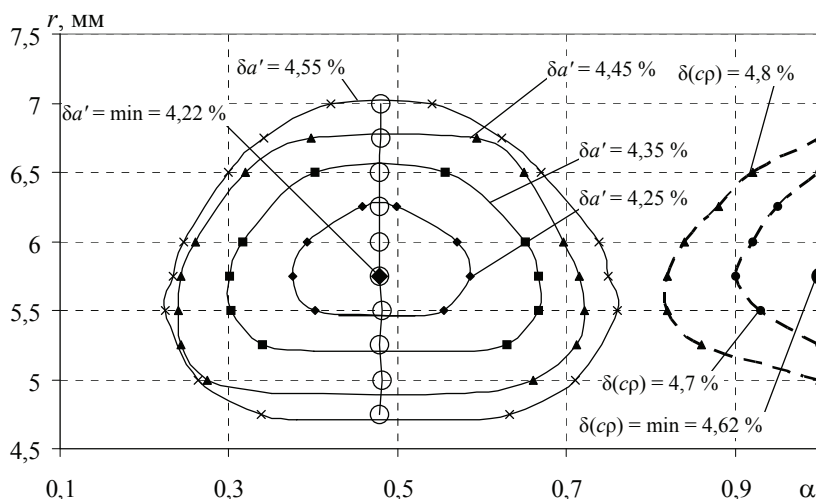


Рис. 5. Линии равного уровня погрешностей измерения температуропроводности α и объемной теплоемкости $ср$ (при использовании метода мгновенного источника тепла)

чинах α , r и указанных выше значениях $Q_{\text{л}} = 350 \text{ Вт}\cdot\text{с/м}$, $\Delta Q_{\text{л}} = 7 \text{ Вт}\cdot\text{с/м}$, $\Delta r = 0,1 \text{ мм}$, $\Delta T_{\text{max}} = 0,01 \text{ К}$, получаем $T_{\text{max}} - T_0 = 0,99 \text{ К}$, $\tau_{\text{max}} = 52,08 \text{ с}$ и погрешность определения температуропроводности $\delta a' = 4,22 \%$.

Для минимизации погрешностей измерения объемной теплоемкости $ср$ ее нужно вычислять по значениям физических величин, полученным в тот момент времени, когда температура достигает максимума, то есть при $\alpha = 1$. Тогда при $Q_{\text{л}} = 350 \text{ Вт}\cdot\text{с/м}$, $\Delta Q_{\text{л}} = 7 \text{ Вт}\cdot\text{с/м}$, $r = 5 \text{ мм}$ и $\Delta r = 0,1 \text{ мм}$, $\Delta T_{\text{max}} = 0,01 \text{ К}$, получаем $\delta(ср) = 4,36 \%$.

В процессе выполнения исследования стало очевидно, что наряду с выбором оптимального значения параметра $\alpha = \alpha_{\text{опт}} = 0,48$, следует определить величину расстояния r , при котором погрешность измерения температуропроводности будет минимальной. В рамках второй части данного исследования были рассчитаны значения погрешностей измерения коэффициента температуропроводности при значениях расстояния r из диапазона $4 \text{ мм} \leq r \leq 8 \text{ мм}$.

В результате были построены линии равных уровней погрешностей измерения температуропроводности α и объемной теплоемкости $ср$, представленные на рис. 5.

Методология решения проблем была применена также для выбора оптимальных режимных параметров метода и рациональных конструктивных размеров измерительного устройства при измерении характеристик влагопереноса тонколистовых материалов методом «мгновенного» источника влаги [5].

Использование контрольных карт Шухарта для анализа результатов калибровки автоматизированной измерительной установки

Экспериментальное определение удельной теплоемкости материалов выполняется с использованием автоматизированной измерительной установки на базе модифицированного калориметра типа ИТ-с-400, в котором реализован метод монотонного разогрева [3], предназначенный для исследования температурной

зависимости теплоемкости твердых тел, сыпучих и волокнистых материалов, а также жидкостей с плотностью более 800 кг/м^3 . Ход эксперимента и обработка экспериментальных данных осуществляется под управлением персонального компьютера, в соответствии с программой Main_ITC.vi, разработанной на кафедре «Управление качеством и сертификация» ТГТУ в среде LabVIEW 7.0.

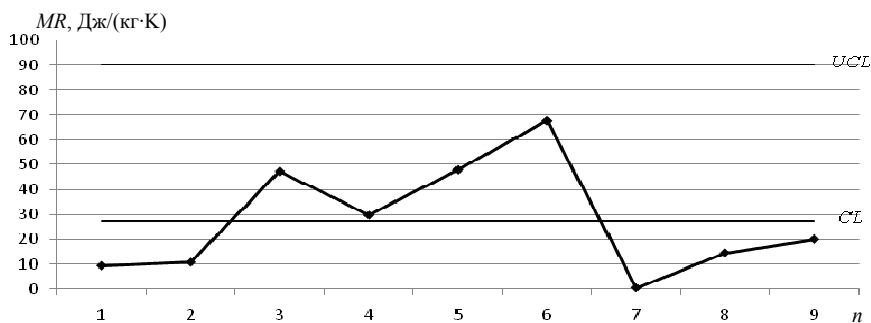
Измерительная установка не подлежит государственному метрологическому контролю и надзору, поэтому периодически (с интервалом в один месяц) проводится ее калибровка [6], позволяющая установить соотношение между значением величины, полученным с помощью данной измерительной установки, и соответствующим значением величины, заданным с помощью стандартного образца, с целью определения действительных метрологических характеристик этого средства измерений.

Для наглядного отображения результатов измерения и сравнения их со стандартным значением удельной теплоемкости кварцевого оптического стекла $c = 840 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ при $100 \text{ }^\circ\text{C}$ [7] были построены контрольные карты скользящих размахов MR (рис. 6, а) и индивидуальных значений X (см. рис. 6, б). Вид контрольных карт выбран не случайно, так как в данном процессе измерений непрактично использование рациональных подгрупп [8], необходимых для построения карты средних индивидуальных значений \bar{X} и размахов R , потому что время, необходимое для проведения подобного эксперимента, настолько велико, что его многократное проведение нецелесообразно.

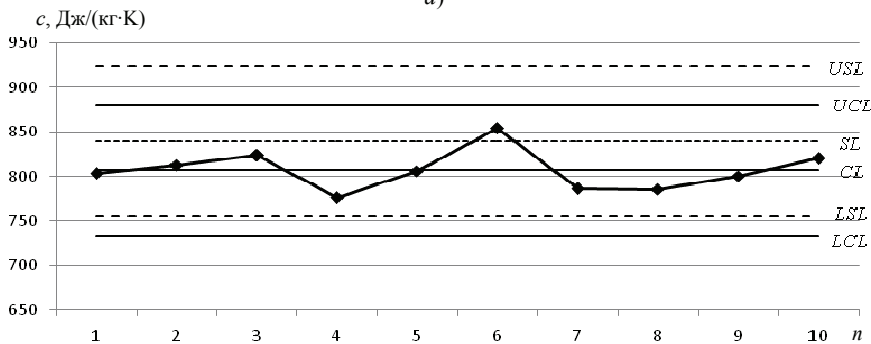
На основе рекомендаций [8] по данным таблицы были рассчитаны основные характеристики используемых контрольных карт.

Линии контрольной карты для скользящих размахов (см. рис. 6, а):

– центральная линия $CL = \bar{R} = 27,567 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$;



а)



б)

Рис. 6. Контрольные карты показаний автоматизированной измерительной установки:
а – скользящих размахов MR ; б – индивидуальных значений X

Десять последовательных измерений удельной теплоемкости

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

– верхняя контрольная граница $UCL = D_4\bar{R} = 3,27 \cdot 27,567 = 90,06$ Дж/(кг · К);

– нижняя контрольная граница $LCL = D_3\bar{R} = 0 \cdot 27,567 = 0$ Дж/(кг · К).

Линии контрольной карты индивидуальных значений (см. рис. 6, б):

– центральная линия $CL = \bar{X} = 806,99$ Дж/(кг · К);

– верхняя контрольная граница $UCL = \bar{X} + E_2\bar{R} = 806,99 + 2,66 \cdot 27,567 = 880,31$ Дж/(кг · К);

– нижняя контрольная граница $LCL = \bar{X} - E_2\bar{R} = 806,99 - 2,66 \cdot 27,567 = 733,67$ 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).

Анализ контрольных карт показывает, что процесс стабилен по разбросу и положению среднего. В этом случае следует рассчитывать индексы воспроизводимости на основе собственной изменчивости процесса $\hat{\sigma}_1$ [9]

$$\hat{\sigma}_1 = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{27,567}{1,128} = 24,439,$$

где \bar{R} – средний скользкий размах; d_2 – коэффициент, значения которого зависят от числа точек *n*, использованных для расчета скользких размахов в *MR*-карте; по данным [8] $d_2 = 1,128$.

Значение индексов воспроизводимости C_p и C_{pk} рассчитывают по следующим формулам [9]:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_1} = \frac{924 - 756}{6 \cdot 24,439} = 1,146;$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_1}, \frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_1}\right) = \min\left(\frac{924 - 806,99}{3 \cdot 24,439}, \frac{806,99 - 756}{3 \cdot 24,439}\right) = 0,695.$$

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 $\delta_{\max} = -7,583 \%$, а средняя относительная погрешность за десять измерений $\delta_{\text{ср}} = -3,929 \%$.

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

$$\nabla = SL - CL = 840 - 806,99 = 33,01 \text{ Дж/(кг · К);}$$

$$c^{\text{исп}} = c^{\text{изм}} + \nabla,$$

где $c^{\text{исп}}$ – исправленное значение удельной теплоемкости; $c^{\text{изм}}$ – 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, в том числе путем введения поправок в результаты измерений.

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

Список литературы

1. Управление качеством продукции. Инструменты и методы менеджмента качества : учеб. пособие / С.В. Пономарев [и др.]. – М. : Стандарты и качество, 2005. – 248 с.
2. Пономарев, С.В. Методы и устройства для измерения эффективных теплофизических характеристик потоков технологических жидкостей : монография / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 1997. – 248 с.
3. Теоретические и практические основы теплофизических измерений : монография / С.В. Пономарев [и др.] ; под ред. С.В. Пономарева. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 408 с.
4. Пономарев, С.В. О выборе оптимальных условий измерения теплофизических свойств веществ методом линейного «мгновенного» источника тепла / С.В. Пономарев, И.Н. Исаева, С.Н. Мочалин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2010. – № 5. – С. 32–36.
5. Мочалин, С.Н. Измерение характеристик влагопереноса тонколистовых капиллярно-пористых материалов методом «мгновенного» источника влаги : монография / С.Н. Мочалин, С.В. Пономарев. – М. : Спектр, 2010. – 100 с.
6. РМГ 29–99. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Метрология. Основные термины и определения. – Введ. 2001–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 2000. – 52 с.
7. ГОСТ Р 15130–86. Стекло кварцевое оптическое. Общие технические условия. – Введ. 1988–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1999. – 30 с.
8. ГОСТ Р 50779.42–99. Статистические методы. Контрольные карты Шу-харта. – Введ. 1999–04–15. – М. : Изд-во стандартов, 1999. – 36 с.
9. ГОСТ Р 50779.44–2001. Статистические методы. Показатели возможностей процессов. – Введ. 2001–10–02. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 20 с.

Problem-Solving Technology, Methods and Tools of Quality Management in Performing Scientific Research

S.V. Mishchenko¹, S.S.S. Al-Busaidi¹, G.A. Sosedov², K.N. Savin³,
I.N. Shemyakina¹, D.A. Divina¹, S.V. Ponomarev¹

*Department “Quality Management and Certification” (1);
Multiprofile College of TSTU (2); Department “Economic Analysis and Quality” (3),
TSTU; kafedra@uks.tstu.ru*

Key words and phrases: checklists; methods of quality management; Deming cycle; heat; method of “instant” heat source; problem-solving methodology; thermophysical properties of materials; thermal diffusivity.

Abstract: The article considers the questions of quality management of the research process of thermophysical properties of materials on the basis of the problem-solving methodology, which is the expansion of Deming cycle. In the framework of the methodology Pareto charts, Ishikawa diagram, brainstorming, FMEA analysis and other tools and methods of quality management are employed.

Benutzung der Methodologie der Lösung der Probleme, der Instrumente und der Methoden des Qualitätsmanagements bei der Erfüllung der wissenschaftlichen Untersuchungen

Zusammenfassung: Im Artikel sind die Fragen der Steuerung von der Qualität des Prozesses der Untersuchungen der wärmephysikalischen Eigenschaften der Stoffe auf Grund der Methodologie der Problemlösung, die die Detaillierung des Zyklus von Deming darstellt, betrachtet. In den Rahmen dieser Methodologie werden die Diagrammen von Pareto und Isikava, der Gehirnschturn, die FMEA-Analyse und andere Instrumente und die Methoden des Qualitätsmanagements benutzt.

Utilisation de la méthodologie de la solution des problèmes, des instruments et des méthodes du management de la qualité lors de la réalisation des études scientifiques

Résumé: Dans l'article sont examinées les questions de la gestion de la qualité du processus des études des propriétés thermophysiques à la base de la méthodologie de la solution des problèmes, présentant les détails du cycle Deming. Dans le cadre de cette méthodologie sont utilisés: diagrammes de Pareto et d'Isakava, remue méninges, analyse FMEA et autres instruments et méthodes du management de la qualité.

Авторы: *Мищенко Сергей Владимирович* – доктор технических наук, профессор, научный руководитель кафедры «Управление качеством и сертификация», ректор; *Аль-Бусаиди Саид Султан Саид* – аспирант кафедры «Управление качеством и сертификация»; *Соседов Геннадий Анатольевич* – кандидат педагогических наук, доцент, директор многопрофильного колледжа ТГТУ; *Савин Константин Николаевич* – доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономический анализ и качество»; *Шемякина Ирина Николаевна* – аспирант кафедры «Управление качеством и сертификация»; *Дивина Дарья Александровна* – магистрант кафедры «Управление качеством и сертификация»; *Пономарев Сергей Васильевич* – доктор технических наук, профессор, исполняющий обязанности заведующего кафедрой «Управление качеством и сертификация», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Чуриков Александр Алексеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Управление качеством и сертификация», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».