

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОУ ВПО «СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»

ГЕО-СИБИРЬ-2010

Т. 5

Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика,
микротехника, нанотехнологии

ч.2

Сборник материалов
VII Международного научного конгресса

Новосибирск
СГГА
2010

Ответственные за выпуск:

Кандидат технических наук, профессор,
директор Института оптики и оптических технологий СГГА, Новосибирск
О.К. Ушаков

Доктор технических наук, профессор,
зав. лабораторией лазерных информационных систем СО РАН, Новосибирск
Б.В. Поллер

Доктор технических наук, профессор,
директор Конструкторско-технологического института
научного приборостроения СО РАН, Новосибирск
Ю.В. Чугуй

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой метрологии,
стандартизации и сертификации СГГА, Новосибирск
В.Я. Черепанов

Доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой физики СГГА, Новосибирск
В.В. Чесноков

С26 ГЕО-Сибирь-2010. Т. 5. Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии. Ч. 2 : сб. матер. VI Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2010», 19–29 апреля 2010 г., Новосибирск. – Новосибирск : СГГА, 2010. – 221 с.

ISBN 978-5-87693-378-2 (т. 5, ч. 2)

ISBN 978-5-87693-371-3

В сборнике опубликованы материалы VI Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2010» направления «Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии».

Печатается по решению Редакционно-издательского совета СГГА
Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 681.2:006:62:53:001

УДК 517.9
Н.В. Комиссарова
СГГА, Новосибирск
О.Н. Чащин
СибУПК, Новосибирск

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОПРОВОДЯЩЕЙ СРЕДЫ

В настоящей работе рассмотрены обратные коэффициентные задачи для уравнений параболического типа, для решения которых применен метод конечно-разностной регуляризации интегро-дифференциального уравнения второго рода. Построен алгоритм конечно-разностной регуляризации обратных задач. Приведены результаты вычислительного эксперимента на тестовых примерах.

N.V. Komissarova
Siberian State Academy of Geodesy (SSGA), Novosibirsk
O.N. Chashin
Siberian University of Consumer Co-operatives (SUCC), Novosibirsk

MATHEMATICAL MODELING THERMAL-TRANSFER MEDIUM CHARACTERISTICS

To solve inverse problems for parabolic equations we used the method of finite-difference regularization of second order integro differential equations. We developed an algorithm of finite-difference regularization of the inverse problem. We demonstrated results of computer simulations for test examples.

Постановка задачи

Математическая постановка: рассматриваются следующие обратные задачи для линейного уравнения параболического типа:

$$u_t = a(x)u_{xx} + b(x)u_x + c(x)u, x > 0, t \in [0, T] \quad (1)$$

$$u(0, t) = f(t), \quad (2)$$

$$u_x(0, t) = 0,$$

$$u(x, T) = g(x). \quad (3)$$

Физический смысл коэффициентов уравнения (1) таков: $a(x)$ - коэффициент внутренней теплопроводности, $b(x)$ - коэффициент, пропорциональный потоку тепла, коэффициент $c(x)$ пропорционален сносу тепла, которые предполагаются не зависящими от времени.

Задача А: Определить пару функций $(a(x), u(x, t))$, удовлетворяющих условиям (1) – (3), при известных $b(x)$ и $c(x)$.

Задача В: Определить пару функций $(b(x), u(x, t))$, удовлетворяющих условиям (1) – (3), при известных $a(x)$ и $c(x)$.

Задача С: Определить пару функций $(c(x), u(x, t))$, удовлетворяющих условиям (1) – (3), при известных $a(x)$ и $b(x)$.

Определяемые функции удовлетворяют соотношениям:

$$a(x) = [u_t(x, T) - b(x)g'(x) - c(x)g(x)] / g''(x),$$

$$b(x) = [u_t(x, T) - a(x)g''(x) - c(x)g(x)] / g'(x),$$

$$c(x) = [u_t(x, T) - a(x)g''(x) - b(x)g'(x)] / g(x),$$

и интегро-дифференциальному уравнению 2-го рода:

$$u(x, t) = \int_0^x (x - \xi) F(\xi, t) d\xi. \quad (4)$$

Функция $F(\xi, t)$ для задачи А имеет вид:

$$F(\xi, t) = (u_t(\xi, t) - b(\xi)u_{\xi}(\xi, t) - c(\xi)u(\xi, t)) \cdot \frac{g''(\xi)}{u_t(\xi, T) - b(\xi)g'(\xi) - c(\xi)g(\xi)}$$

Соответственно для задачи В, она равна:

$$F(\xi, t) = (u_t(\xi, t) - c(\xi)u(\xi, t) - \frac{u_t(\xi, T) - a(\xi)g''(\xi) - c(\xi)g(\xi)}{g'(\xi)} \cdot u_{\xi}(\xi, t)) / a(\xi)$$

Функция $F(\xi, t)$ для задачи С имеет вид:

$$F(\xi, t) = (u_t(\xi, t) - b(\xi)u_{\xi}(\xi, t) - \frac{u_t(\xi, T) - a(\xi)g''(\xi) - b(\xi)g(\xi)}{g'(\xi)} \cdot u(\xi, t)) / a(\xi)$$

Описание модели и вычислительного алгоритма

В данной работе проводится тестирование метода в классе экспоненциально убывающих и экспоненциально возрастающих функций для каждой из сформулированных обратных задач. Выбор соответствующих классов обусловлен физическими соображениями: распределение поля температур естественно предположить функциями экспоненциального вида, а направление роста определяется условиями протекания теплового процесса: происходит поглощение или выделение теплоты.

Для тестирования алгоритма подбиралась функция $u(x, t)$, удовлетворяющая уравнения (1) и условию (2): $u(x, t) = e^{\alpha x} e^{\beta x + \delta}$.

Модель среды, определяется коэффициентами уравнения (1) $a(x)$, $b(x)$, $c(x)$, которые выбирались с учетом равенства: $\alpha = \beta^2 a(x) + \beta b(x) + c(x)$. Так, например, этому условию удовлетворяют функции:

$$a(x) = \frac{1}{px^2 + q}, \quad b(x) = e^{\lambda x}, \quad c(x) = \alpha - \frac{\beta^2}{px^2 + q} - \beta e^{\lambda x},$$

где $\alpha, \beta, \delta, p, q, \lambda$, заданные константы.

Решение интегрального уравнения (4) искалось методом последовательных приближений:

$$u^{n+1}(x_i, t_j) = u_{i,j}^{n+1} = \int_0^{x_i} (x_i - \xi) F(\xi, t_j) d\xi + f(t_j).$$

Производные от функции $u(x, t)$, необходимые при вычислении подынтегральной функции, определялись через их разностные аналоги:

$$u_t(\xi_k, t_j) = \frac{u(\xi_k, t_j) - u(\xi_k, t_{j-1})}{\tau} = \frac{u_{k,j} - u_{k,j-1}}{\tau},$$

$$u_t(\xi_k, T) = \frac{u(\xi_k, t_N) - u(\xi_k, t_{N-1})}{\tau} = \frac{u_{k,N} - u_{k,N-1}}{\tau},$$

$$u_\xi(\xi_k, t_j) = \frac{u(\xi_k, t_j) - u(\xi_{k-1}, t_j)}{\eta} = \frac{u_{k,j} - u_{k-1,j}}{\eta}.$$

Начальное приближение $u^0(x, t)$ выбиралось в виде $u^0(x, t) = f(t)$.

Интеграл вычислялся с помощью квадратурной формулы трапеций. Информация для решения, функции $f(t)$, $g(x)$ определялись с учётом выбранной модели: $f(t) = u(0, t) = e^{\alpha t + \delta}$, $g(x) = u(x, T) = e^{\alpha T} e^{\beta x + \delta}$. В информацию независимым образом вводилась случайная аддитивная помеха ε с относительным уровнем до 5%. Количество итераций в методе последовательных приближений выбиралось опытным путём, и бралось не более 10.

В результате было применено сглаживание МНК с помощью нелинейных функций экспоненциального вида, что соответствует как выбранной модели, так и реальным условиям распределения температур. Для $f(t)$ аппроксимационная функция выбиралась в виде $\varphi(t) = ae^{bt}$, для $g(x)$ функция выбиралась в виде $\psi(t) = ae^{bx}$.

Результаты численного эксперимента

Ниже приведены результаты восстановления функций $a(x)$, $b(x)$, $c(x)$ в обратных задачах А, В, С. Параметры модели: τ шаг сетки по t , η шаг сетки по x , X_0 , T в этом случае определяются значением параметра N . На графиках сплошной линией без маркеров показано точное значение функций, график с маркерами соответствует найденному, в результате численного эксперимента, решению функции. Численные значения параметров модели приведены в диалоговых окнах.

При использовании нелинейного сглаживания результаты решения **обратной задачи А** приведены на рис. 1.

При решении **обратной задачи В** при нелинейной аппроксимации МНК функция $b(x)$ восстанавливается устойчиво при достаточно высоком уровне погрешности (рис. 2).

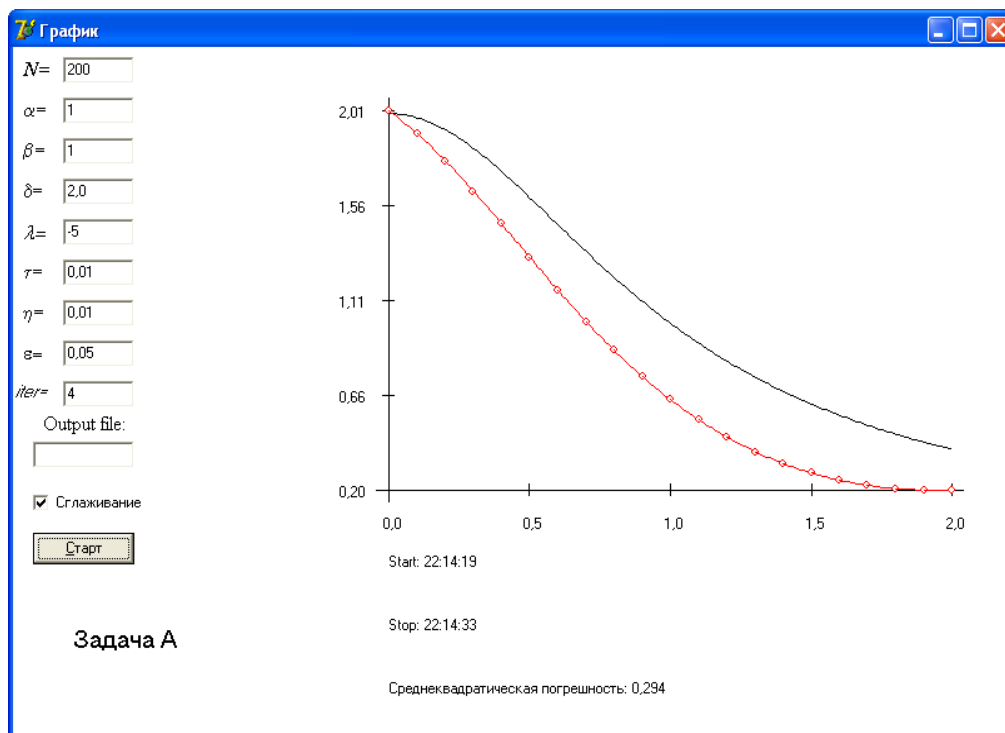


Рис. 1. Вычисления с применением нелинейного сглаживания в классе экспоненциально убывающих функций. Аддитивная погрешность в информации 5%

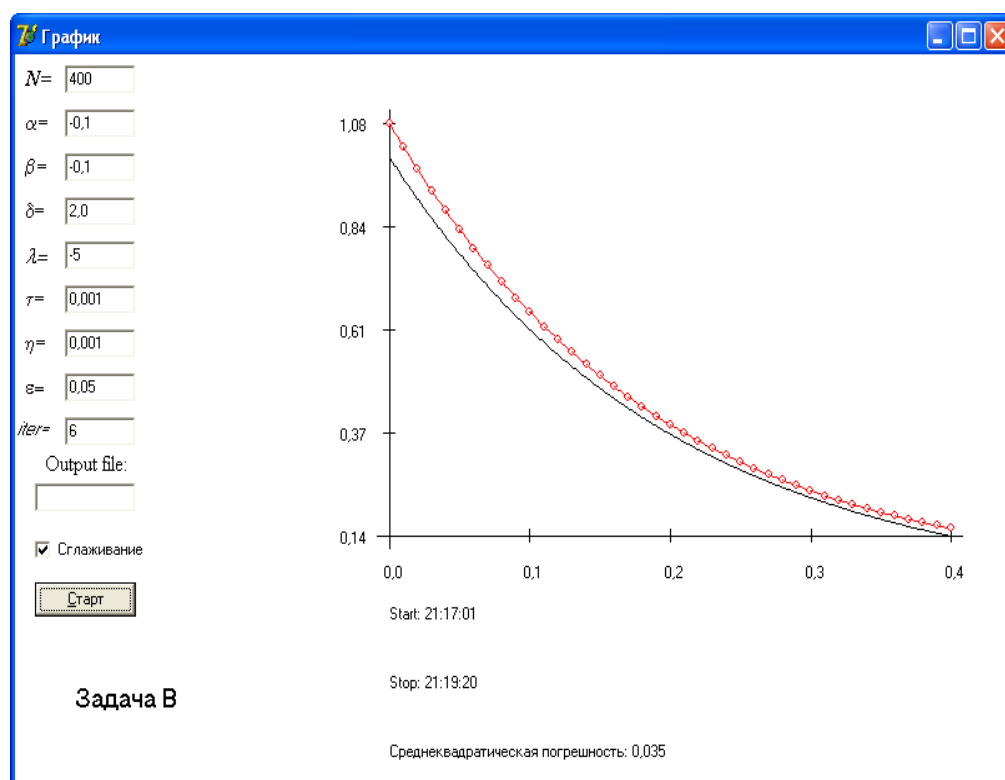


Рис. 2. Вычисления с применением нелинейного сглаживания в классе экспоненциально убывающих функций. Аддитивная погрешность в информации 5%

Тестовые расчеты при решении **обратной задачи С** показали результаты, сравнимые с результатами решения задачи В при аналогичных условиях. Тестовые вычисления дают удовлетворительное восстановление $c(x)$ до уровня относительной погрешности до 10%. Восстановление коэффициента $c(x)$ по зашумленным данным в классе экспоненциально убывающих функций показано на рис. 3.

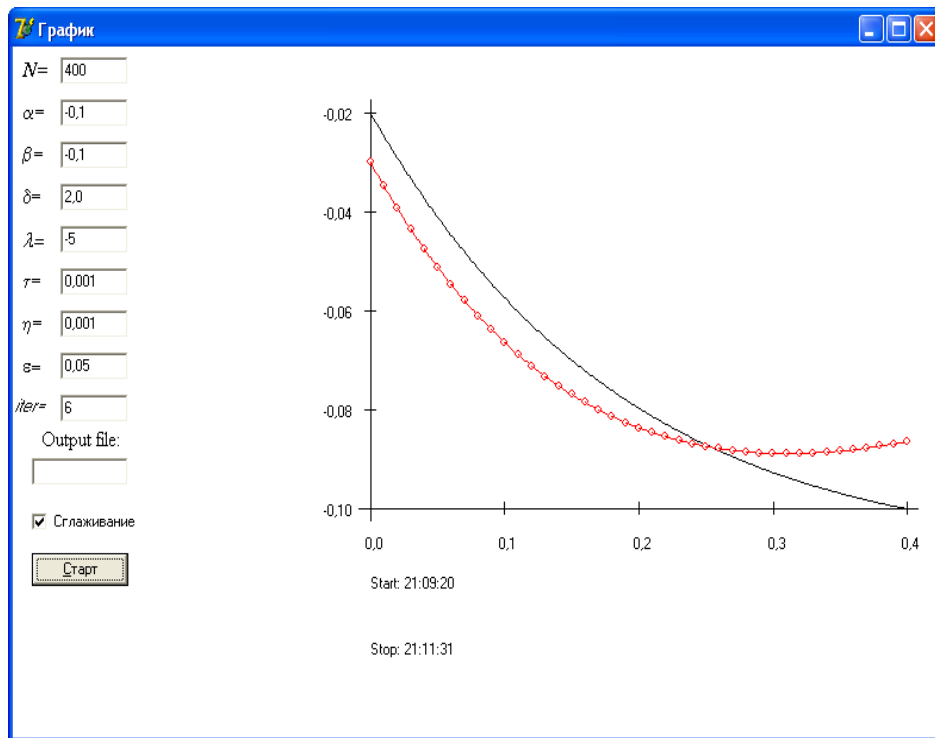


Рис. 3. Вычисления с использованием нелинейной аппроксимации МНК.
Аддитивная погрешность в информации 5%

Вычисления проводились на ЭВМ с процессором Intel Pentium 2,8 ГГц в программной системе Delphi с созданием взаимосвязанных приложений для каждой из исследуемых задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко А.Ф., Чашин О. Н. Регуляризованные решения обратных задач для параболических уравнений. – Новосибирск: 2004. – 18 с. Препринт № 139 / Институт математики им. С.Л.Соболева СО РАН.
2. Чашин О.Н. Регуляризация нелинейных операторных уравнений 1-го рода в шкале банаховых пространств. – Новосибирск: 2001. – 16 с. Препринт № 15. / Изд-во НГУ.
3. Лаврентьев М.М., Комиссаров В.В., Негматова М.Х., Ниматов Х., Чашин О.Н. Численное решение обратных коэффициентных задач для параболических уравнений методом конечно-разностной регуляризации. – Новосибирск: 2008. – 26 с. Препринт №201 / Институт математики им. С.Л.Соболева СО РАН.

© Н.В. Комиссарова, О.Н. Чашин, 2010

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ АДсорбированных НА ПРОзрачных ПОДложках СЛОЕв. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ПОГЛОЩЕНИЯ АДсорбированного йОДА

В статье описывается разрабатываемая методика исследования спектра поглотительной способности наноразмерных слоев элементоорганических соединений, основанная на использовании оптоволоконного измерительного преобразователя.

D.S. Mikhaylova

SSGA, Novosibirsk

PRINCIPLE OF ABSORPTION SPECTRUM MEASUREMENT OF THE LAYERS ADSORBED ON TRANSPARENT SUBSTRATES RESEARCH OF A SPECTRUM OF ABSORPTION OF THE ADSORBED IODINE

The principle of measurement of a spectrum absorptances nanolayers of the elementorganic compounds, based on use of the optical fibre measuring converter is described in article.

Целью данной работы является разработка методики исследования поглотительной способности мономолекулярных слоев, адсорбированных на подложках. Для реализации поставленной задачи нами разрабатывается оптоволоконная приставка к спектрофотометру.

Разрабатываемая методика основана на использовании эффекта нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО). Если монохроматическое излучение направить вдоль световода, на поверхности которого располагаются в адсорбированном состоянии молекулы ЭОС, то последние оказываются в потоке излучения, оптически туннелирующего из оптоволоконна в окружающее пространство. Адсорбированный монослой поглощают падающее излучение.

Преимуществом метода измерений является возможность прохождения светового пучка не поперек, а вдоль осажденного слоя молекул ОЭС, что должно существенно увеличивать условную «толщину» слоя материала, через который проходит излучение. Хотя поглотительная способность не меняется, коэффициент поглощения растет до величины, позволяющей его измерить.

Метод реализован в виде приставки, изображенной на рис. 1.

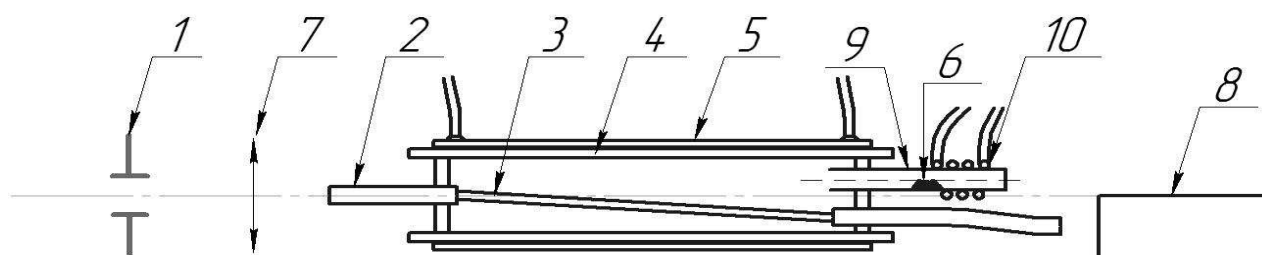


Рис. 1. Схема разработанной приставки

Сфокусированное линзой 7 излучение, выходящее через щель монохроматора 1, попадает в оптоволоконный одножильный кабель 2, на участке 3 которого сняты все внешние оболочки и обнажена сердцевина. Участок 3 оптоволоконного кабеля со снятой оболочкой находится в камере 4; камера помещена в нагреватель 5.

Реагент 6 находится внутри трубчатого испарителя 9, имеющего нагревательный элемент 10. Излучение, вышедшее из оптоволоконна, попадает на входное окно фотоумножителя 8 [1, 2].

В процессе разработки методики исследования был получен спектр пропускания адсорбированного йода в диапазоне длин волн от 290 до 600 нм. В дальнейшем будет проведена работа по расширению спектрального диапазона исследований.

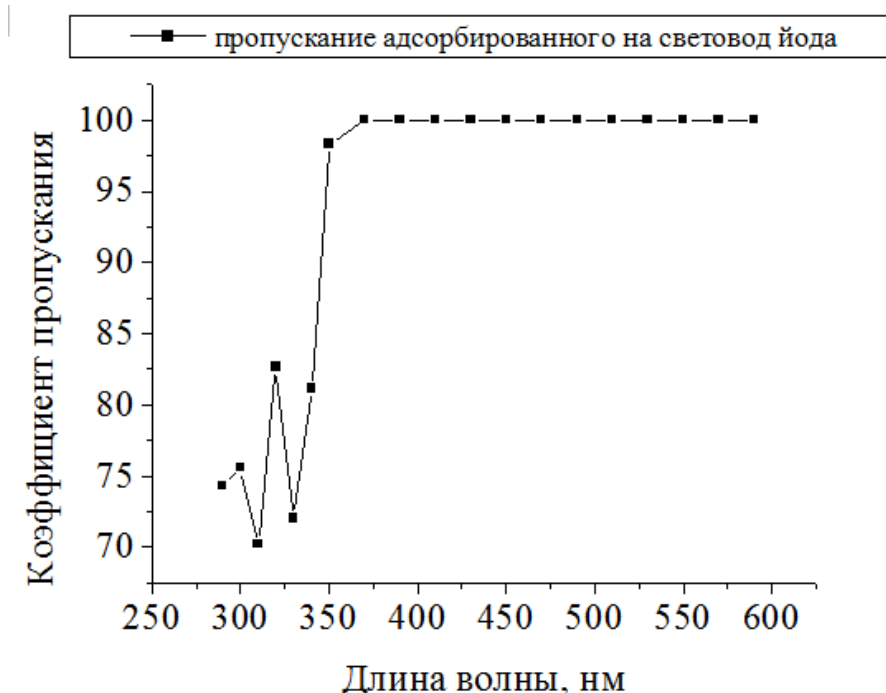


Рис. 2. Спектр пропускания световода с адсорбированными парами йода

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михайлова, Д.С. Исследование оптических характеристик световолоконного спектрометра мономолекулярных слоев / Д.С. Михайлова, Д.В. Чесноков, Д.В. Чесноков // Сб. матер. междун. научн. конгресса «ГеоСибирь-2009». Новосиб., 2009 - С. 66-71.
2. Михайлова, Д.С. Методы исследования поглощательной способности наноразмерных слоев элементоорганических соединений в процессах микромеханики / Д.С. Михайлова, Д.В. Чесноков, Д.В. Чесноков // Электроника Сибири. 2008. Вып. 3. - С. 27-28.

© Д.С. Михайлова, 2010

РАСПРЕДЕЛЕННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ ДЛЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ. КОМПОНЕНТ СБОРА ДАННЫХ

Приводится описание компонента сбора данных, предназначенного как для получения информации с различных внешних устройств, так и для управления этими устройствами. Компонент может включаться в состав разрабатываемого программного обеспечения для аппаратно-программных комплексов, при этом язык программирования в системах разработки приложений может быть любой.

A.A. Gienko

Siberian State Metrology Research Institute, Novosibirsk

THE ALLOCATED PROGRAMMING FOR HARDWARE-SOFTWARE COMPLEXES. A COMPONENT OF DATA COLLECTION

The description of a component of data collection intended as for reception to the information from various external devices, and is resulted for management of these devices. Component can be included in structure of the developed software for Hardware-software complexes, thus the programming language in systems of development of the applications can be anyone.

Интеграция разнородных подсистем управления на современном предприятии в единую систему диспетчеризации технологического процесса позволяет сконцентрировать важную информацию об этом процессе. Данная система собирает различную информацию со всех производственных участков, начиная от поступления сырья, со всех этапов его переработки и заканчивая отгрузкой готовой продукции. Имея оперативный доступ к исчерпывающей и совокупной информации можно своевременно скорректировать оперативные планы и сбалансировать весь производственный цикл на оснащенной системой предприятии.

Для применения на многих предприятиях перспективными представляются SCADA-системы или специальные системы слежения и моделирования межцехового обмена. Их важной отличительной особенностью является наличие некоего коммуникационного программного обеспечения (ПО) со стандартными протоколами обмена (например, DDE - Dynamic Data Exchange, OPC - OLE for Process Control и т.д.).

SCADA-системы на предприятии выполняют следующие функции:

- Сбор данных с контроллеров оборудования;
- Отображение данных на экране монитора с использованием графических анимированных объектов (как простых, так и очень сложных);
- Обработка данных, в том числе и с использованием встроенных языков программирования;
- Алармирование данных;

- Архивирование, хранение, накопление данных.

Для упомянутого выше коммуникационного ПО в составе подобных систем актуальной становится проблема получения информации от различных датчиков и контроллеров производственного оборудования. Поскольку источники первичной информации для системы – упомянутые датчики и контроллеры - поставляются на рынок различными производителями, то они могут иметь разнообразные интерфейсы, а также использовать различные протоколы обмена.

В процессе разрешения данной проблемы нами был разработан специальный программный модуль. Модуль оформлен в качестве встраиваемого ActiveX-компонента, имеющего несколько модификаций. Основная модификация модуля (компонента) носит название Uniport. Компонент предназначен как для получения информации с различных внешних устройств по интерфейсу RS-485 (а также RS-232 и RS-422), так и для управления этими устройствами. Благодаря возможности управления внешними устройствами компонент Uniport можно включать в состав ПО для аппаратно-программных комплексов (АПК). Сейчас разрабатываются модификации компонента для встраивания в SCADA-системы.

Встраивание компонента в программное обеспечение АПК производится на этапе разработки последнего. Для компонента разрабатываемое приложение является головной программой. В качестве примера на рис. 1 показан вид библиотеки типов компонента, загруженной в систему разработки приложений Borland Delphi 7.

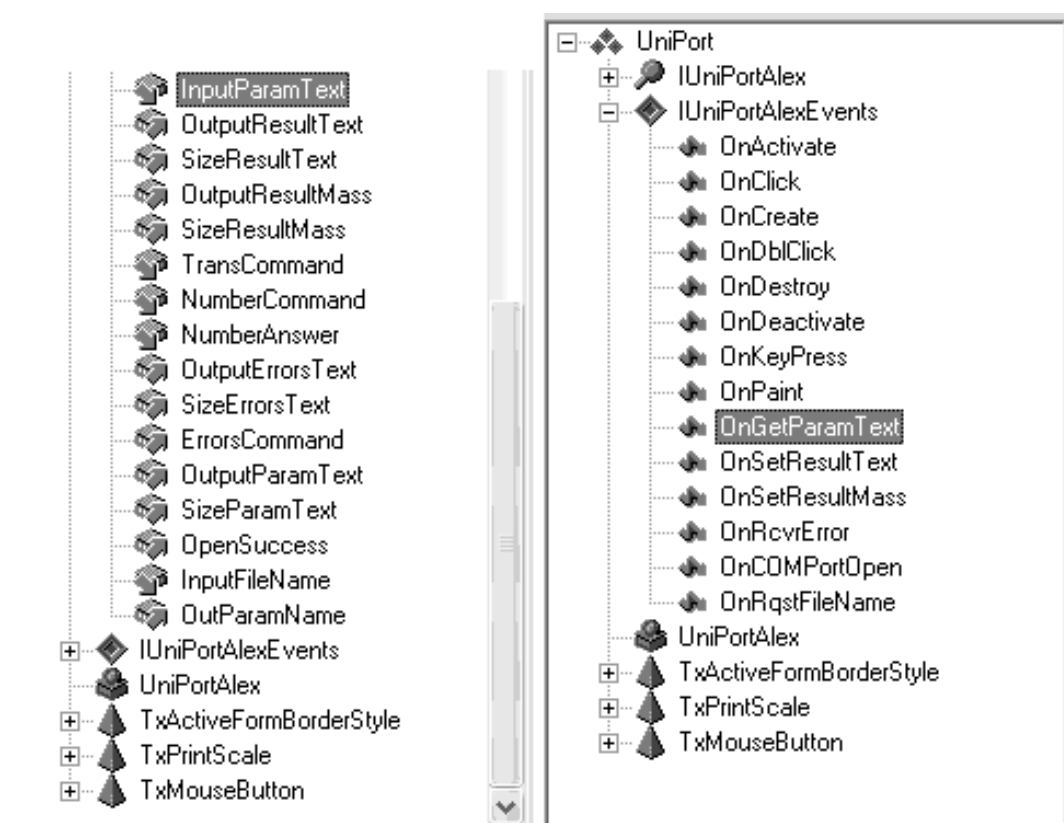


Рис. 1. Библиотека типов

Ниже кратко перечислены события и свойства компонента.

События:

- OnRqstFileName - возникает при запросе компонентом UniPort у головной программы имени настроечного INI-файла. Это имя должно сообщаться в обработчике события головной программы свойству InputFileName:PChar компонента UniPort.

- OnCOMPortOpen - возникает при попытке открытия COM-порта компонентом UniPort. Свойство OpenSuccess:WordBool содержит логический результат этой попытки.

- OnGetParamText - возникает при запросе компонентом UniPort у головной программы значения отправляемого параметра с именем, содержащемся в свойстве OutParamName:PChar. Это значение должно сообщаться в обработчике события головной программы свойству InputParamText:PChar компонента UniPort.

- OnSetResultText - возникает при завершении цикла обмена с приборами. Строковое значение принятых компонентом данных содержится в свойстве OutputResultText:PChar компонента UniPort. Свойство компонента SizeResultText:Integer при этом содержит число строк.

- OnSetResultMass - возникает при получении ответа на команду, содержащего бинарный массив данных. Указатель на данный массив содержится в свойстве OutputResultMass:PChar компонента, в свойстве же SizeResultMass:Integer содержится количество байт массива.

- OnRcvrError - возникает при ошибочном приеме после завершения цикла опроса. Свойство OutputErrorText:PChar содержит указатель на массив строк, свойство SizeErrorText:Integer содержит число строк в массиве. Свойство же ErrorsCommand:WordBool является признаком ошибочного приема команды с ответом, содержащим бинарный массив данных.

Свойства:

- Присвоение значения свойству NumberAnswer:Integer компонента приводит к установке значения номера ответа для текущей команды.

- Присвоение значения True свойству TransCommand:WordBool компонента UniPort обуславливает переход на вывод отправляемых параметров с генерацией события OnGetParamText и вводом из головной программы соответствующих значений этих параметров.

- Присвоение значения свойству NumberCommand:Integer компонента ведет к отправке в COM-порт команды с соответствующим номером в списке. Используется при обмене с прибором выборочном, а не при циклическом.

- Чтение свойства OutputParamText:PChar в головной программе приведет к сканированию имен всех параметров в командах компонента UniPort. После чего в указанном свойстве будет находиться указатель на список строк TStringList с именами этих параметров.

- Присвоение значения типа строки (например '9600' или '38400') свойству InputBaudRate:PChar в головной программе к изменению скорости

обмена по COM-порту компонента UniPort. Присвоение значения свойству должно происходить в момент паузы в обмене.

Встраивание компонента возможно в любую систему разработки приложений, поддерживающую технологию ActiveX, например:

- Visual Basic,
- Visual Studio C++,
- Borland C Builder,
- Borland Delphi.

При этом встроенный в данную систему разработки приложений язык программирования не имеет никакого значения.

Конфигурирование компонента под конкретный протокол обмена прибора, имеющегося у заказчика, производится при помощи настроечного Ini-файла (модификация Uniport) или при помощи экспорта настроек в системный реестр (модификация UniportReg). Во время старта головной программы компонент, прочитав настроечную информацию из упомянутых источников, становится пригоден для обеспечения обмена данными и управления конкретным внешним устройством. Формирование конфигурационной информации в источниках может осуществляться как непосредственно заказчиком по разработанным нами правилам с использованием наших вспомогательных программ, так и нами, если заказчик подробно информирует нас о специфике имеющегося у него внешнего устройства.

Компонент проходил испытания и тестировался в составе разнообразного ПО на производстве геофизических приборов. Кроме того, он проверялся также в составе ПО для эксплуатации приборов скважинной нефтегазовой геофизической разведки.

В заключение следует отметить довольно широкий диапазон возможного применения компонента на производстве - там, где имеется большое разнообразие источников первичной информации различных производителей. Сконфигурировать компонент (без его перекомпиляции) можно практически под любой прибор, причем непосредственно на территории заказчика.

© А.А. Гиенко, 2010

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОБЪЕМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДОМ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СЕЛЕКЦИИ РАКУРСОВ. 3D МОНИТОР

Рассматривается применение метода пространственной селекции ракурсов для визуализации объемных изображений. Приведены схемы многоракурсных устройств. Предложено многоракурсное устройство с просветным линзовым экраном и дополнительными зеркалами, увеличивающими эффект оглядывания объекта.

А.А. Гиенко

Siberian State Metrology Research Institute, Novosibirsk

VISUALIZATION OF THE VOLUMETRIC IMAGES BY A METHOD OF SPATIAL SEPARATION OF CAMERA ANGLES. 3D MONITOR

The application of a method of spatial division of camera angles for visualization of the volumetric images is considered. The circuits of devices are given. The device with additional mirrors and with a transparent screen lens is offered. The mirrors serve for increase of effect of the review of object.

Для большинства современных систем управления отдельными

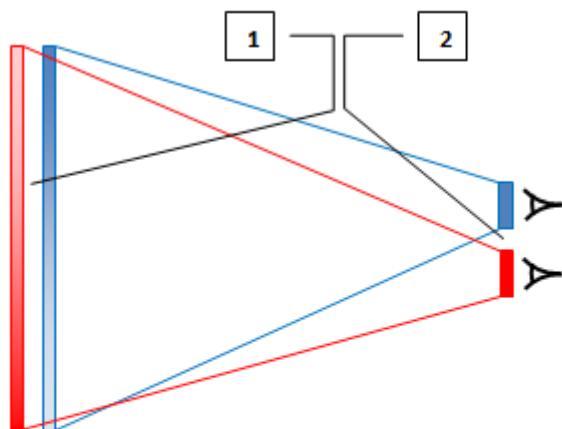


Рис. 1

1. плоскость совмещения стереопары – экран с изображениями

2. селектор ракурсов на глазах оператора – очки-англифы

специализированными станками, сложными технологическими процессами и т.д. максимальная эффективность достигается лишь при участии человека-оператора. Поэтому важнейшая роль здесь отводится средствам визуального отображения разнообразной технологической информации. В некоторых случаях весьма полезным (а иногда – даже необходимым) для оператора является воспроизведение визуальной информации в трехмерной форме. Здесь приходится применять различные стереоскопические и многоракурсные устройства отображения.

В отличие от стереоскопических (с числом ракурсов равным 2) в многоракурсных устройствах (с числом ракурсов более 2-х) актуальной становится проблема селекции ракурсов для левого и правого глаза. В стереоскопических устройствах такая селекция осуществляется достаточно просто – при помощи очков различной конструкции: анаглифных, поляризационных, обтюрационных.

Метод селекции ракурсов при помощи очков-анаглифов представлен на рис.

1.

При этом изображения для левого и правого глаза (ракурсы) совмещаются на одном экране. Примеры стереоизображений, предназначенных для просмотра сквозь очки-анаглифы, представлены на рис. 2 и 3.



Рис. 2



Рис. 3

Метод поляризационной селекции используется в стереоскопическом дисплее SD2220W, показанном на рис. 4. Здесь изображения для левого и правого глаза формируются на отдельных экранах и совмещаются на полупрозрачном зеркале. Метод обтюрационной селекции ракурсов можно использовать в современных телевизорах с частотой кадровой развертки не менее 100 Гц. Совмещение изображений здесь реализуется поочередной подачей на экран изображений для левого и для правого глаза. Селекция осуществляется обтюрационными очками, синхронизированными с кадровой разверткой телевизора.



Рис. 4

Однако селекция ракурсов при помощи очков не лишена серьезных недостатков. Например, очки-селекторы трудно применять людям, уже носящим обычные очки для коррекции зрения. Количество изображений (ракурсов) не может превышать 2-х. Кроме того, при использовании очков-селекторов глаза быстро утомляются, поэтому у операторов возможны осложнения со зрением.

В многоракурсных устройствах отображения используется *метод пространственной селекции ракурсов* путем формирования в пространстве перед экраном зон избирательного видения (ЗИВ). Располагая голову так, чтобы левый глаз попадал в одну из ЗИВ, а правый – в соседнюю, оператор может наблюдать стереоскопическое изображение. Если оператор перемещает голову

по горизонтали так, что его глаза последовательно попадают в ЗИВ нескольких изображений (ракурсов), то он ощущает эффект оглядывания.

Метод пространственной селекции реализован в микрорастровых многоракурсных устройствах. Здесь совмещение изображений (ракурсов) количеством до 12 производится на одном экране в виде специального изображения - параллакс-панорамограммы. На экран со стороны наблюдателя наложен микрорастр - совокупность мелких цилиндрических линз. Именно линзовый микрорастр и формирует в пространстве зоны избирательного видения изображений, закодированных в параллакс-панорамограмме. Микрорастровые устройства сейчас являются довольно перспективными для производства 3D мониторов. Однако для таких устройств существует ограничение числа ракурсов, зависящее от толщины цилиндрической линзы растра и размера элементарной световой точки экрана – пикселя.

Нами проводились исследования многоракурсного устройства с просветным линзовым экраном, схематически изображенного на рис. 5. Зоны избирательного видения 4 и 5 здесь формируются линзой-коллиматором 3 (она же – экран), на поверхности которой совмещаются изображения для левого и правого глаза. Эти изображения переносятся на поверхность линзы-коллиматора соответствующими проекционными объективами 2 и 7 с диапозитивов 1 и 6. Впоследствии вместо диапозитивов использовался экран монитора компьютера, разделенный надвое. Сами ЗИВ 4 и 5 в данном устройстве физически представляют собой действительные изображения проекционных объективов 2 и 7.

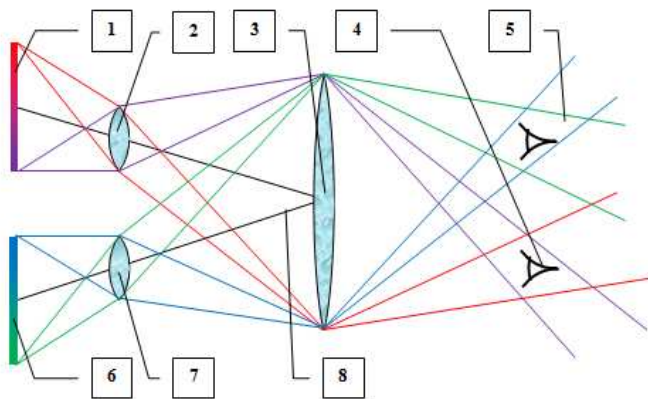


Рис. 5

1 – изображение для левого глаза; 2 – проекционный объектив для левого глаза; 3 – линза-коллиматор; 4 – ЗИВ для левого глаза; 5 – ЗИВ для правого глаза; 6 – изображение для правого глаза; 7 – проекционный объектив для правого глаза; 8 – оптическая ось проектора для правого глаза

Теоретически количество изображений (ракурсов) в подобных устройствах неограниченно. Поэтому для получения еще двух дополнительных ракурсов устройство было оснащено зеркалами – рис. 6. Объектив 2 отражается в зеркале 5 в виде мнимого изображения объектива 3. Для последнего линзой-

коллиматором создается дополнительная ЗИВ 6. Это позволило усилить эффект оглядывания.

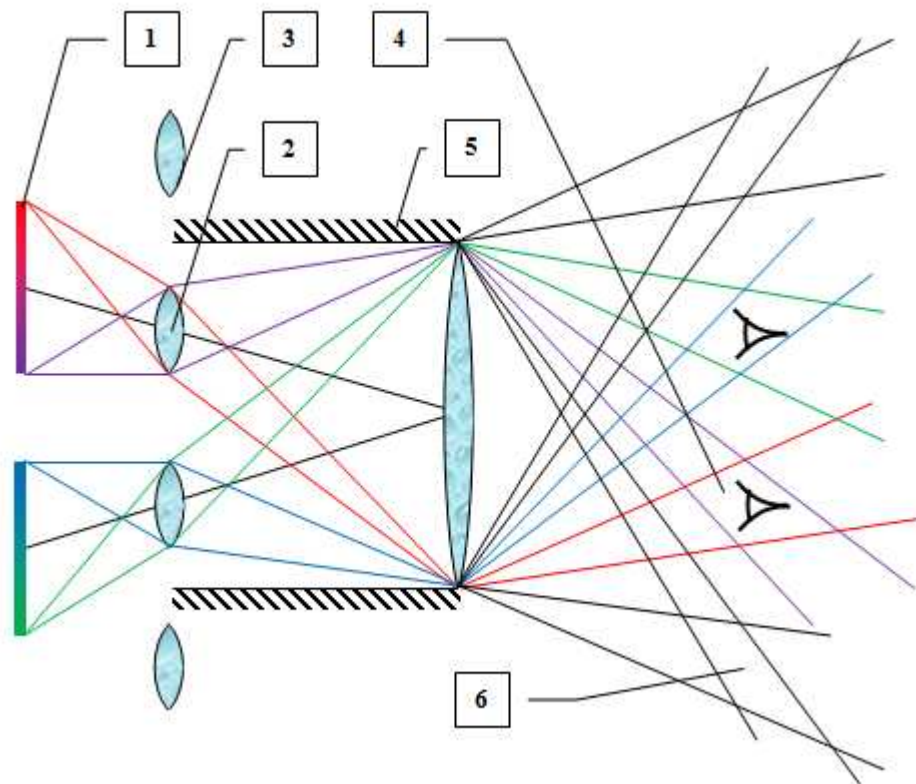


Рис. 6

1 – изображение для левого глаза; 2 – проекционный объектив для левого глаза;
3 – мнимое изображение объектива 2 в зеркале; 4 – ЗИВ для левого глаза; 5 –
зеркало; 6 – дополнительная ЗИВ для мнимого изображения 3

Практическое применение устройств подобного рода возможно в установках визуализации виртуальной реальности, дополненной реальности, или например, в рекламных установках для презентации товаров.

© А.А. Гиенко, 2010

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА КОНФИГУРАЦИЮ СЕТИ ОПТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В статье рассмотрена методика предварительного определения конфигурации оптической системы экологического мониторинга на основе анализа характеристик подстилающей поверхности с использованием современных ГИС-технологий.

N.A. Shergunova, A.V. Britvin, B.V. Poller
Institute of Laser Physics, Novosibirsk

THE ESTIMATION OF INFLUENCE OF A SPREADING SURFACE ON A CONFIGURATION OF A NETWORK OF OPTICAL MONITORING

In the article the technique of preliminary definition of a configuration of optical system of ecological monitoring on the basis of the analysis of characteristics of a spreading surface with use of modern GIS-technologies is shown.

Подстилающая поверхность оказывает сильное, а в отдельных случаях определяющее влияние на распространение сигналов в беспроводных оптических системах экологического мониторинга. Под подстилающей поверхностью подразумевается верхний слой почвы и слой растительности.

В данной работе описывается модель взаимодействия оптических датчиков на основе исследования характеристик подстилающей поверхности с использованием современных ГИС-технологий. Делаются выводы о возможности передачи данных между модулями напрямую или с использованием УФ канала с рассеянием, что необходимо для определения конфигурации всей системы [1].

Верхний слой почвы, то есть рельеф, и слой растительности специально разработаны на основе оцифрованных топографических карт и данных дистанционного зондирования.

В качестве модельной зоны, был выбран участок на юге Новосибирской области, рядом с поселком Ордынское. Размер участка 490 на 480 метров.

Моделирование и анализ характеристик рельефа.

Моделирование рельефа, его анализ и изучение по построенным моделям постепенно становятся неотъемлемой частью исследований в научных и инженерных проектах.

Основой для представления данных для ГИС являются цифровые модели. Под цифровой моделью (ЦМ) географического объекта понимается определенная форма представления исходных данных и способ их структурного описания, позволяющий «вычислять» (восстанавливать) объект путем интерполяции, аппроксимации или экстраполяции. Относительно рельефа такая модель называется цифровой моделью рельефа (ЦМР).

Существует два кардинально различающихся способа получения моделей рельефа. Первый способ включает в себя построение рельефа по данным дистанционного зондирования (ДДЗ). Модели рельефа, полученные с помощью ДДЗ, имеют высокую точность, но слишком высокое разрешение, что делает их непригодными для ряда задач. Второй способ состоит в построении моделей рельефа путем интерполяции оцифрованных изолиний с топографических карт. ЦМР полученные таким способом порой имеют недостаточно удовлетворительную точность моделирования, но, на данном этапе развития геоинформатики, они являются безальтернативным источником данных [2].

GRID-модель исследуемого полигона была создана на основе оцифрованных изолиний. С помощью модуля 3d analyst, программного продукта ArcGis, из изолиний была создана TIN-модель (триангуляционная нерегулярная сеть), которая была конвертирована в GRID (рис. 1).

Цифровая модель рельефа, построенная по изолиниям (рис. 2) более точна и удобна для моделирования сети оптического мониторинга в отличие от рельефа, построенного по данным радарной топографической съемки, максимальное разрешение которого составляет 90 метров. На весь исследуемый участок пришлось бы всего 25 пикселей ЦМР, построенной по данным SRTM.

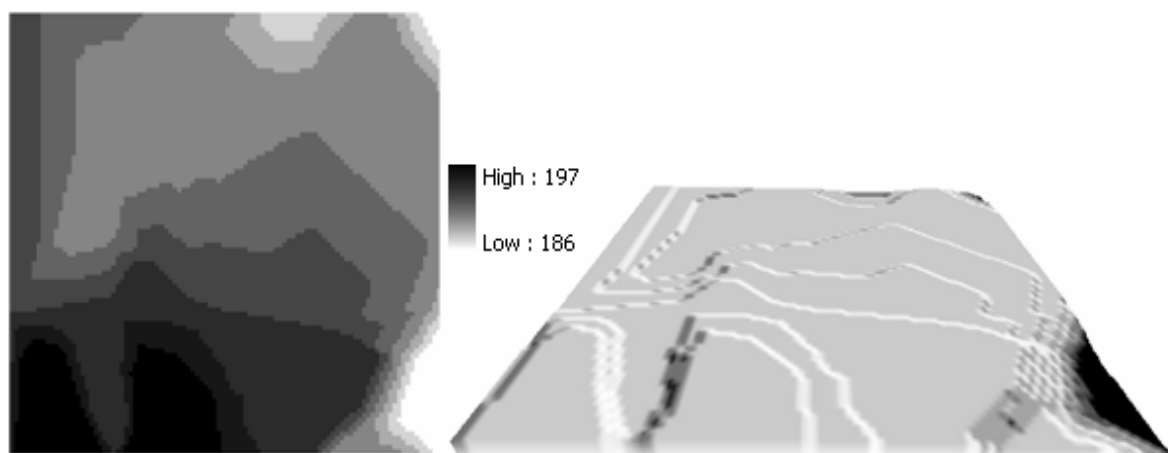


Рис. 1. 2D и 3D модели рельефа. Размер одного пикселя 5 метров

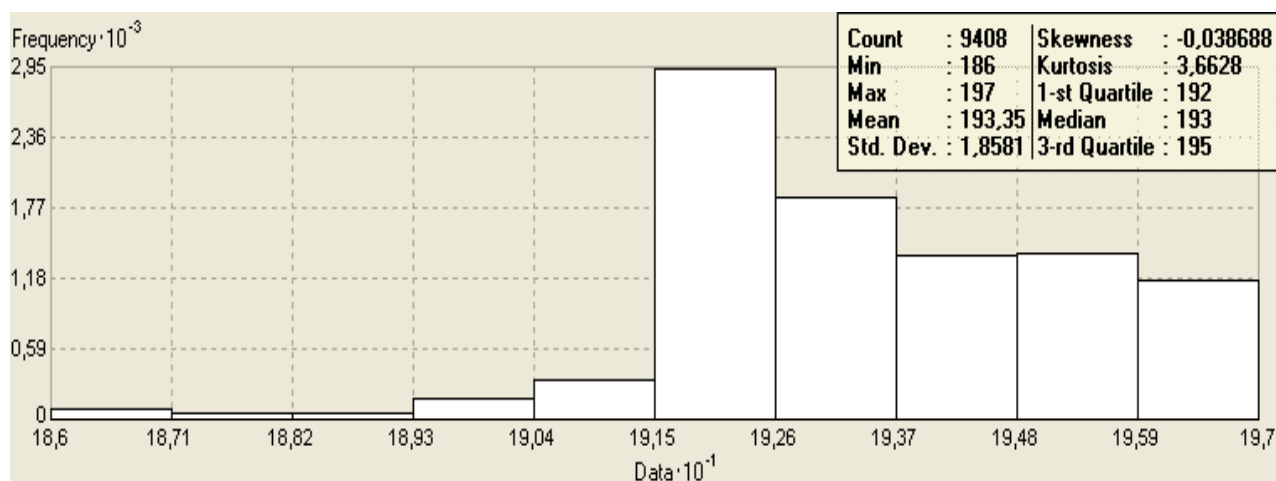


Рис. 2. Гистограмма распределения высот

Анализ вероятностных характеристик, показал, что высоты на участке распределяются нормально. С помощью инструмента гистограмма (модуль Geostatistical Analyst) распределение было изучено визуальным образом (рис. 2).

В нашем случае форма гистограммы похожа на колокол, значения среднего и медианы очень похожи, эксцесс (kurtosis) приблизительно равен трем, а асимметрия (skewness) близка к нулю. Нормальность распределения так же подтверждается критериями Колмогорова-Смирнова и Лиллиефорса в программном продукте STATISTICA 6.0.

С помощью модуля ArcGis Spatial Analyst, были определены морфометрические характеристики рельефа - экспозиция и крутизна склонов [3].

Экспозиция склона позволяет визуальным образом определить, в какую сторону света наклонена поверхность. Обычно все стороны света делят на сектора по 45° (север, юг, запад, восток, северо-запад, северо-восток, юго-запад и юго-восток), а затем для каждой ячейки модели поверхности определяют направление уклона поверхности и выбирают один из цветов отображения ячейки.

Крутизна склона - угол, образуемый направлением склона с горизонтальной плоскостью и выражаемый в угловых мерах или уклонах. Карта крутизны склонов (рис. 3) была составлена для полного учета характеристик рельефа.

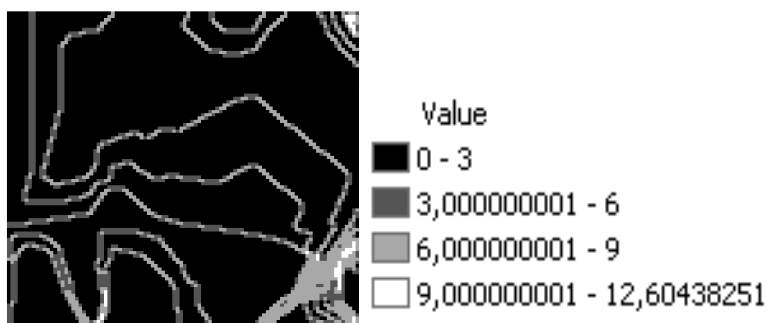


Рис. 3. Карта крутизны склонов в градусах

Для моделирования сети оптического мониторинга, данные о рельефе были подвергнуты более тщательному анализу. Поскольку цифровая модель рельефа представляет собой непрерывную матрицу значений высоты, в программном продукте Global Mapper 10.0, были построены профили рельефа (рис. 4).

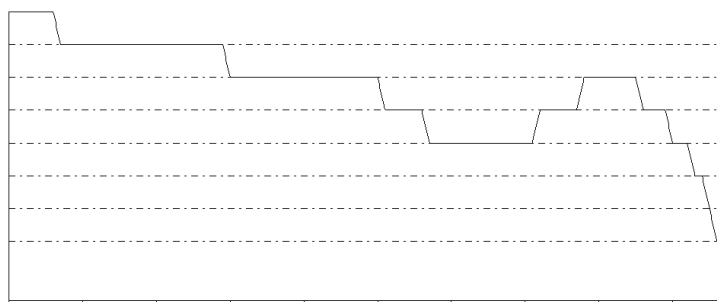


Рис. 4. Профиль рельефа

Построение профилей на примере (рис. 4) позволяет определить, что: начальная высота: 194 м, конечная высота: 186 м, расстояние по прямой: 485 м, расстояние по поверхности: 486,2 м, минимальная высота: 186, максимальная высота: 194 м, наклон: -0.94° W.

Моделирование и анализ слоя растительности.

Растительность в районе исследуемого участка характеризуется пашнями (кукуруза, пшеница), разнотравными лугами и березово-осиновым лесом.

Для моделирования слоя растительности использовался снимок со спутника Landsat 7, путем классификации которого была получена карта растительности.

Следующим этапом было внедрение в рельеф слоя растительности с помощью программного продукта ArcGis. В результате была получена модель подстилающей поверхности (рис. 5).

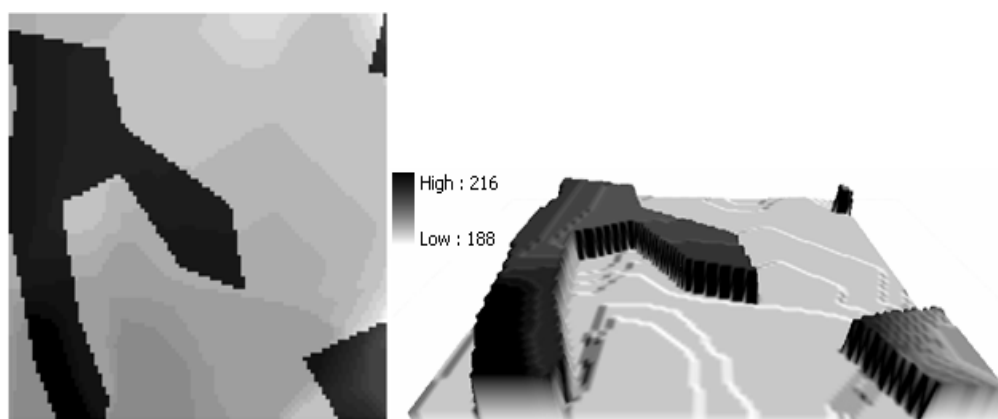


Рис. 5. 2D и 3D-модель подстилающей поверхности. Темные области характеризуют березово-осиновые леса

Определение конфигурации системы оптического мониторинга.

Для определения функциональных характеристик оптической системы экологического мониторинга необходимо узнать, какие датчики смогут обмениваться данными напрямую, а каким потребуется передавать данные с помощью канала с рассеянием.

Существуют различные способы определения видимости/невидимости пары или нескольких точек на поверхности земли с использованием ЦМР.

Один из таких способов предлагает ArcGis в своем модуле Spatial Analyst. Viewshed analysis обеспечивает оценку поверхности с точки зрения видимости или невидимости отдельных ее частей [4].

В данной работе использовался альтернативный метод, который основывается на построении профилей рельефа и изучении линий видимости между точками расположения датчиков.

На исследуемом участке условно расположили сеть датчиков квадратом 14 на 14 (рис. 6).

Далее соединяя пары точек, было определено, какие датчики находятся в пределах прямой видимости друг друга (рис. 7). На рисунке слева видно, что датчики не находятся в прямой видимости друг друга, а вот справа датчики могут обмениваться информацией напрямую.

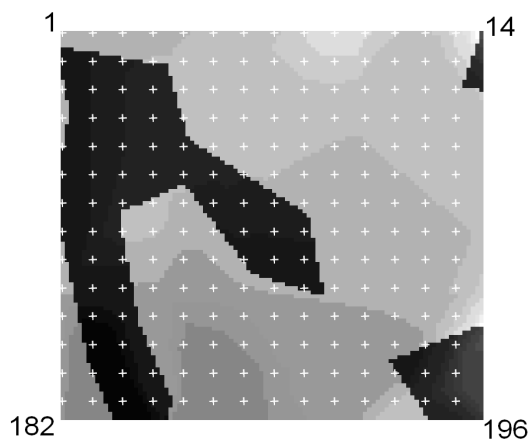


Рис. 6. Условное расположение датчиков на исследуемом участке

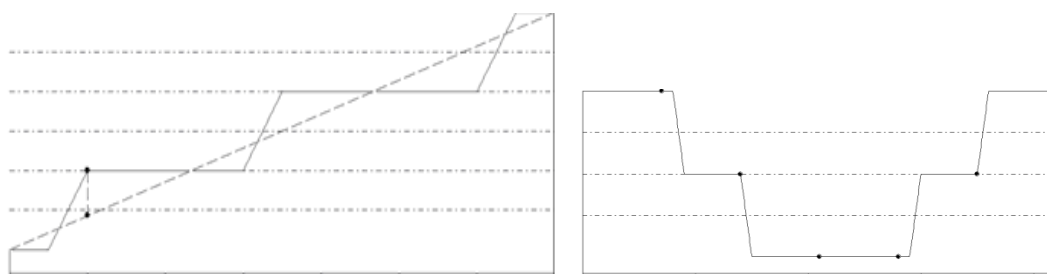


Рис. 7. Линия видимости, соединяющая точки расположения датчиков

Предварительный анализ подстилающей поверхности показал, что 72% датчиков, условно расположенных на исследуемом участке (рис. 7), будут находиться в пределах прямой видимости друг друга, для остальных рекомендуется использовать УФ-канал с рассеянием. Максимальный обзор будет обеспечен с датчика № 52.

Таким образом, в данной статье представлен метод, позволяющий получить предварительную оценку конфигурации системы оптического мониторинга, на основе изучения подстилающей поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шергунова Н.А., Бритвин А.В., Поллер Б.В. Оценка влияния растительности и рельефа местности на оптические системы мониторинга // Сб. матер. V междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2009» - Новосиб., 2009. – Т. 5, ч. 2. – С. 68-73.
2. Вишневская Е.А., Елобогоев А.В., Высоцкий Е.М., Добрецов Н.Н. Пространственное моделирование рельефа средствами ГИС для морфотектонического анализа // Междунар. конф. «Интеркарто-6» - Апатиты, 2000. – Режим доступа: <http://www.gisa.ru/864.html>.
3. Геоинформационные системы [electronic resource] // Режим доступа: <http://www.dataplus.ru/Soft/ESRI/index.htm>.
4. Чандра, А.М., Гош С. К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы // Техносфера. - 2008. - С. 229-230.
5. Информационный портал по ГИС тематике [electronic resource] // Режим доступа: <http://www.gis-lab.info/>.

© Н.А. Шергунова, А.В. Бритвин, Б.В. Поллер, 2010

УДК 621.372.8

А.Ж. Абденов, П.М. Воробьев

НГТУ, Новосибирск

М.Г. Рубанович

СГГА, Новосибирск

ОЦЕНКА ЗНАЧЕНИЙ ИНДУКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На основе экспериментальных данных построена дифференциальная математическая модель, характеризующая зависимость значений индуктивности от ширины отрезка полосковой линии. Использование регуляризующего сплайна позволяет сгладить результаты экспериментов. Численное нахождение производной позволяет сравнить ожидаемый результат с результатом полученным экспериментально.

A.J. Abdenov, P.M. Vorobiev

Novosibirsk State Technical University

630092, Novosibirsk, K. Marx, 20 Russian Federation

M.G. Rubanovich

Siberian State Geodetic Academy

630108 10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, Russian Federation

EVALUATION OF INDUCTANCE VALUES BASED ON DIFFERENTIAL MODELS IN SPACE CONDITION AND RESULTS OF BOARD EXPERIMENTS

On the basis of experimental data differential mathematical model characterizing the dependence of the inductance values of the width of the strip line segment is based. Using regularizing spline allows to smooth the results of experiments. Numerical calculation of the derivative allows us to compare the expected results with those obtained experimentally.

В ходе проведения различных экспериментов полученные значения, как правило, отличаются от реальных и имеют некоторый разброс относительно действительных значений. Ставится и решается задача разработки метода построения математической модели в пространстве состояний на основе экспериментальных значений, которая оценивает значения индуктивностей.

В ходе данного исследования был проведен эксперимент, по данным которого была построена математическая модель. Эксперимент заключался в измерении индуктивностей отрезков полосковых линий. Индуктивность измерялась при 10 различных ширинах полоска. В ходе эксперимента получен дискретный набор значений индуктивности на интервале изменения параметра $b = [1.4, 5.8]$ мм.

В качестве математической модели, характеризующей зависимость значений индуктивности от ширины отрезка полосковой линии $L(b)$ предлагается использовать линейную непрерывно-дискретную модель в пространстве состояний [1].

Пусть зависимость индуктивности от ширины полоска описывается обыкновенным линейным дифференциальным уравнением вида:

$$\frac{d}{db} L(b) = a_1 L(b) + a_2, \quad b = [b_0, b_N], \quad (1)$$

$$L(b_0) = L_0, \quad (2)$$

где $L(b)$ – значения индуктивности при ширине полосы равной $b \in [b_0, b_N]$, b_0 – начальное значение интервала изменения параметра b , L_0 – начальное значение индуктивности, a_1 и a_2 – неизвестные параметры дифференциальной модели.

Выход измерительной системы можно записать в виде стохастического соотношения:

$$y_i(b_k) = h_i \cdot L(b_k) + v_i(b_k), \quad k = \overline{1, N}, \quad i = \overline{1, m} \quad (3)$$

где $y_i(b_k)$ – известный вектор измерений индуктивности i -го отрезка полосковой линии N , h_i характеризует измерительную систему, $v_i(b_k)$ – случайная погрешность измерений (предполагается $v \sim N(0, R)$), N – размер выборки. Из таблицы 1 размер выборки N принимает значение равное 10.

Требуется оценить неизвестные параметры a_1 и a_2 дифференциального уравнения (1) по данным выхода измерительной системы $\{y(b_k), k = \overline{1, N}, i = \overline{1, m}\}$.

Для простоты полагается $h_i = 1$. Вводятся обозначения:

$$Y = \frac{d}{db} \begin{bmatrix} L(b_1) \\ \vdots \\ L(b_N) \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} L(b_1) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ L(b_N) & 1 \end{bmatrix}, \quad V = \begin{bmatrix} v(d_1) \\ \vdots \\ v(d_2) \end{bmatrix}, \quad Q = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix},$$

тогда соотношение переписывается в виде:

$$Y = X \cdot Q + V. \quad (4)$$

Соотношение (4) представляет собой регрессионную модель. Для нахождения оценок параметров модели (4) используется стандартное соотношение метода наименьших квадратов [1]:

$$\hat{Q} = (X^T X)^{-1} X^T Y. \quad (5)$$

Вектор Y получается путем численного нахождения производных $\frac{d}{db} L(b_k)$. Для этого данные наблюдения $\{y(b_k), k = \overline{1, N}\}$ аппроксимируются с помощью regularизирующего кубического сплайна $S(b)$ и получается временной ряд с уровнями $\tilde{y}(b_k), k = \overline{1, N}$. Тогда с учетом $x(b_k) = \tilde{y}(b_k), k = \overline{1, N}$ значения производных $\frac{d}{db} L(b_k)$ вычисляются по формуле [2]:

$$\frac{d}{db}L(b) = \frac{L(b_{j+1}) - L(b_j)}{\Delta b} - \frac{\Delta b}{6}[(2 - 6z + 3z^2)M_j + (1 - 3z^2)M_{j+1}], \quad (6)$$

где $b = [b_j, b_{j+1}]$, $z = (b - b_j) / \Delta b$, $M_j = \ddot{S}(b_j)$ получаем в процессе построения $S(b)$, $j = \overline{1, N}$.

Вычисленные значения оценок параметров дифференциальной модели равны:

$$\{ \hat{a}_1 = -0.36878, \hat{a}_2 = 14.570 \}.$$

Таблица 1. Результаты расчета индуктивности, полученные в эксперименте
данные для отрезка линии длиной, нГн

Ширина отрезка линии, мм	1,4	1,9	2,4	2,7	3,3	3,8	4,0	4,3	5,0	5,8
Данные экспери- мента	16,0	14,9	13,3	12,1	10,0	10,6	10,3	9,4	8,7	8,3
Данные модели	16,1	14,6	13,4	12,7	10,1	10,2	9,8	9,5	8,7	8,1

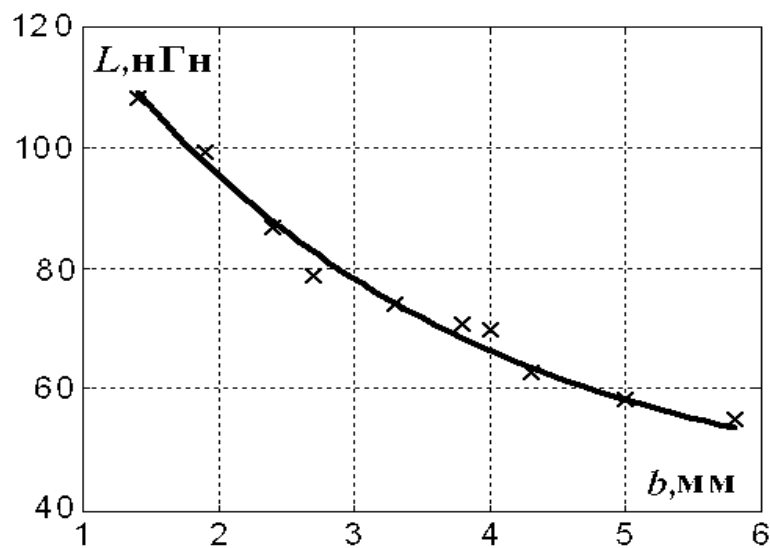


Рис. 1. Данные эксперимента и дифференциальной модели

В результате исследования был предложен метод построения модели зависимости индуктивности полоска от ширины в виде обыкновенного дифференциального уравнения. Оценены параметры этой модели. Оценка параметров дифференциальной модели включала процедуру сглаживания данных эксперимента с использованием алгоритма регуляризующего сплайна, численного нахождения производных и стандартного соотношения метода наименьших квадратов. Построенная модель с коэффициентами a_1 и a_2 относительно хорошо аппроксимирует экспериментальные точки, что мы видим на рис. 1.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. – М.: Мир, 1975.
2. Абденов А.Ж., Снисаренко А.В., Трошина Г.В. Описание динамических процессов с помощью кусочно-дифференциальной модели. – Новосибирск: Сб. науч. трудов НГТУ. – 2002. - № 1(27). – С.3-12.

© А.Ж. Абденов, П.М. Воробьев, М.Г. Рубанович, 2010

ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТЬ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ СВЕТОФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ РЕЗОНАТОРА ФАБРИ – ПЕРО

В работе рассматривается возможность температурной стабилизации мультиплекс-светофильтра, представляющего собой комбинацию двух светофильтров – с низкой и высокой интерференционными порядками.

D.M. Nikulin
SSGA, Novosibirsk

THERMAL STABILITY TUNABLE COLOUR FILTERS ON THE BASIS OF THE FABRY-PEROT RESONATOR

The present paper deals parameters thermal stability of tunable multiplex-optical filters which use the combination of two interference optical filters - with one of high and with the first interference orders.

multiplex-optical filter, an interference, thermal stability, fabry-perot resonator

Разрабатываемый перестраиваемый интерферометр Фабри-Перо (ИФП) [1,2] предназначен для электронного сканирования спектров излучений в видимом диапазоне.

Схема перестраиваемого ИФП представлена на рис. 1.

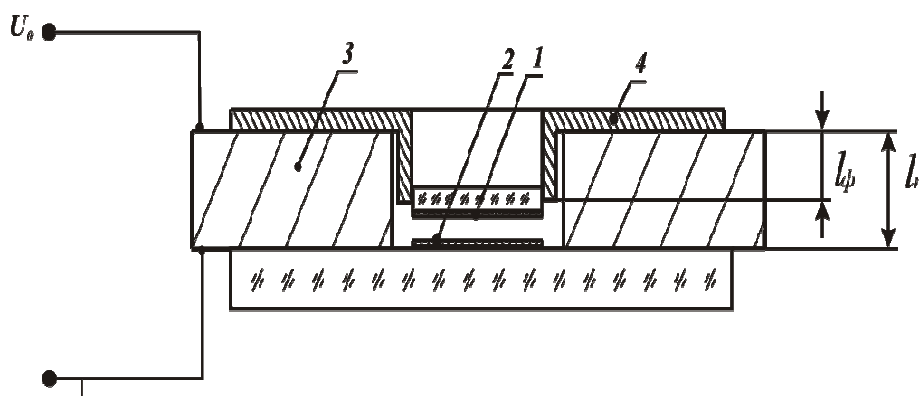


Рис. 1. Схема перестраиваемого ИФП

При подаче управляющего электрического напряжения между обкладками пьезокерамической шайбы 3 её толщина изменяется, что приводит к изменению расстояния между зеркалами 1 и 2 резонатора Фабри-Перо и перестройке резонатора. Особенностью нашего устройства является использование резонатора с зазором между зеркалами порядка $0,2 \div 0,4$ нм. Зазор выполняется эквидистантным.

Нерешённой проблемой в таком устройстве является влияние на расстояние между зеркалами теплового расширения пьезокерамической шайбы 3 и тубуса фланца 4, показанных на рис. 1.

Изменение величины зазора Δl_ζ между зеркалами при изменении температуры на ΔT равно:

$$\Delta l_\zeta = l_i \alpha_i \Delta T_i - l_\delta \alpha_\delta \Delta T_\delta, \quad (1)$$

где α_i и α_δ - коэффициенты линейного теплового расширения пьезокерамики и фланца; l_i и l_δ - толщина пьезокерамической шайбы и длина тубуса фланца.

1) Если $l_i \approx l_\delta = l$, $\Delta T_i = \Delta T_\delta = \Delta T$, получим из (1):

$$\Delta l_\zeta = l \Delta T (\alpha_i - \alpha_\delta). \quad (2)$$

При $\alpha_i - \alpha_\delta = 0 \Rightarrow \Delta l_\zeta = 0$.

2) Если $l_i \approx l_\delta = l$, $\alpha_i = \alpha_\delta = \alpha$, получим из (1):

$$\Delta l_\zeta = \alpha l (\Delta T_i - \Delta T_\delta). \quad (3)$$

При $\Delta T_i = \Delta T_\delta \Rightarrow \Delta l_\zeta = 0$.

3) Если $\Delta T_i = \Delta T_\delta = \Delta T$, $\alpha_i = \alpha_\delta = \alpha$, получим из (1):

$$\Delta l_\zeta = \alpha \Delta T (l_i - l_\delta). \quad (4)$$

При $l_i = l_\delta \Rightarrow \Delta l_\zeta = 0$.

Отсюда следует, что для обеспечения высокой термостабильности светофильтра ($\Delta l_\zeta \Rightarrow 0$), пьезокерамическая шайба 3 и фланец 4 должны иметь равные коэффициенты линейного теплового расширения, равную температуру и одинаковые размеры.

Если будет иметь место неравномерное нагревание деталей резонатора, то между зеркалами 1 и 2 образуется клин, ухудшающий разрешающую способность резонатора. Неравномерность зазора не должна превышать величины, при котором разрешающая способность резонатора ухудшится. Проведённые расчёты [3] показывают, что при определённых условиях разрешающая способность резонатора может быть $\delta_\lambda = 0,02$ мкм, чему соответствует допустимая неравномерность величины зазора $\Delta l = 0,01$ мкм. Учитывая (4), получим:

$$\Delta l = \alpha \Delta T (l_i - l_\delta). \quad (5)$$

Принимая $l_i = 5 \cdot 10^{-3}$ м, $l_\delta = 4,99 \cdot 10^{-3}$ м, $\alpha_i = \alpha_\delta = 5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, находим $\Delta T \leq 200 \text{ K}$. Очевидно, что для обеспечения требуемой однородности распределения температуры специальные меры не требуются.

Рассмотрим влияние теплового расширения пьезокерамической шайбы и фланца на параметры мультиплекс-светофильтра [3] (рис. 2). Его отличием от резонатора Фабри-Перо, представленного на рис. 1, является наличие светофильтра высокого порядка, образованного зеркалами 5, 6 и прозрачной пластиной 7 между ними.

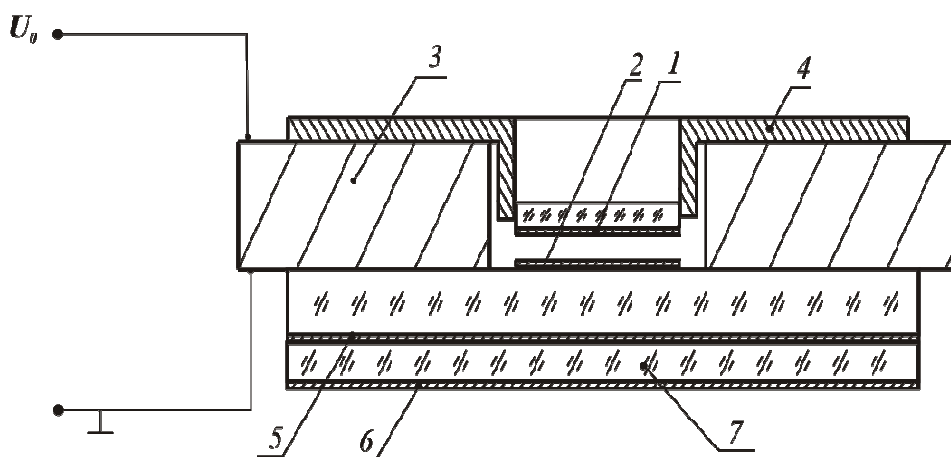


Рис. 2. Схема перестраиваемого мультиплекс-светофильтра

Прозрачная пластина 7 изготовлена из кварцевого стекла или ситалла, имеющих малые значения коэффициента теплового расширения в широком интервале температур.

На рис. 3 представлены графики зависимости коэффициентов пропускания светофильтров – низкого и высокого порядков от величины зазоров между зеркалами 1 и 2, 5 и 6. Толщина зазора тонкого светофильтра 0,3 мкм, оптическая толщина толстого светофильтра 5,8 мкм, энергетические прозрачность и коэффициент отражения каждого зеркала, соответственно, равны $T = 0,03$ и $R = 0,95$.

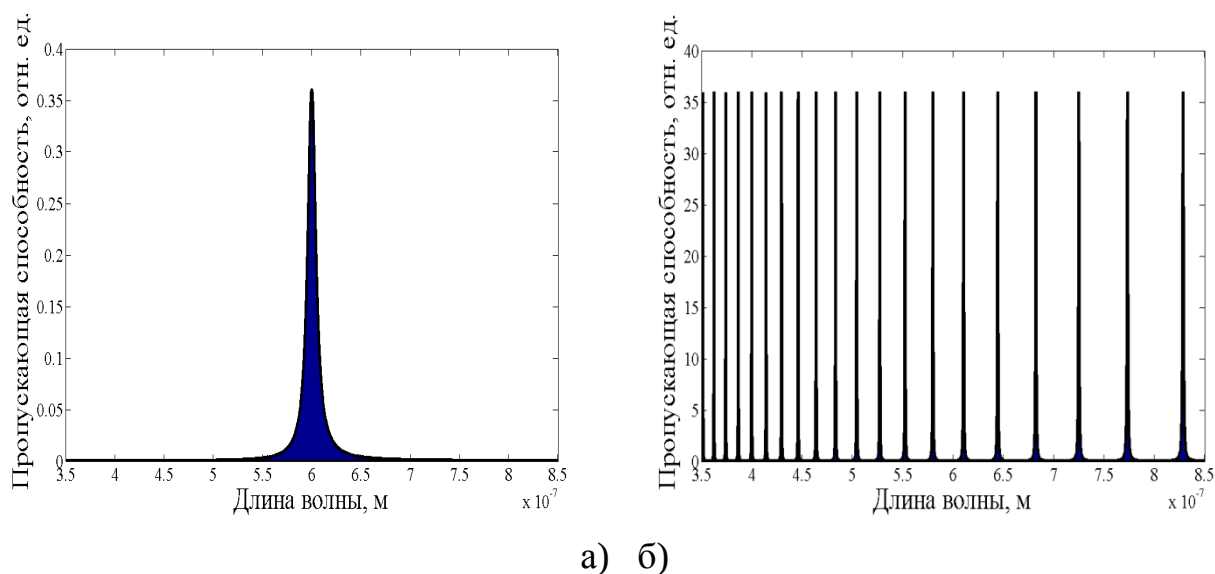


Рис. 3. График зависимости коэффициентов пропускания светофильтров:

а) низкого порядка и б) высокого порядка

За счет использования в мультиплекс-светофильтре двух светофильтров – низкого и высокого порядков – можно выделять из спектра источника излучение более монохроматическое при сохранении величины перестраиваемого диапазона [3].

На рис. 4 представлены графики зависимости коэффициента пропускания мультиплекс-светофильтра в видимом диапазоне спектра на краях диапазона перестройки $\lambda = 0,4$ мкм и $0,774$ мкм. Разрешающая способность такого мультиплекс-светофильтра $\delta_\lambda \approx 7,5 - 13 \text{ \AA}$ [3].

На рис. 4а видно, что по сторонам основного пика имеются дополнительные пики, вносящие особенности в аппаратную функцию мультиплекс-светофильтра.

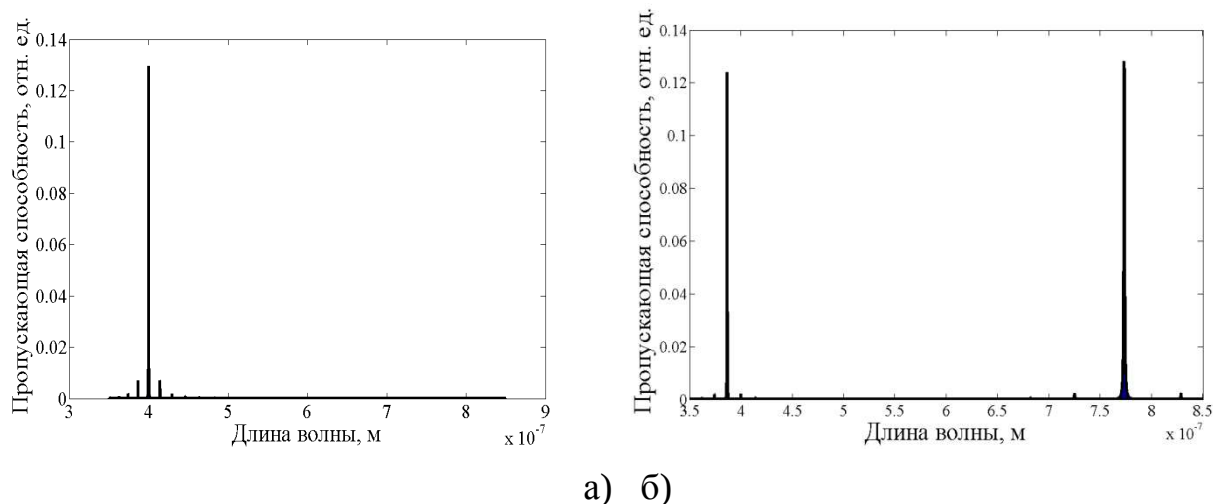


Рис.4. Графики зависимости коэффициента пропускания мультиплекс-светофильтра для:

а) $\lambda = 0,4$ мкм, б) $\lambda = 0,774$ мкм

Максимальная прозрачность данного мультиплекс-светофильтра в выделенных полосах пропускания из спектра источника излучения определяется выражением [4] $T_{i \text{ дѣн}} = \frac{T^4}{(1-R)^4}$ и равна 0,13. Уменьшение пропускания мультиплекс-светофильтра на основных линиях спектра на 1% и 10% произойдет при увеличении зазора тонкого светофильтра толщиной 0,2 мкм (соответствующего основной линии пропускания) на 0,005 нм и 0,0185 нм, при $l_i = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $l_o = 4,99 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $\alpha_i = \alpha_o = 5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, что соответствует увеличению температуры мультиплекс-светофильтра на 0,1 K и 0,37 K. Для получения более высокой термостабильности, необходимо длину тубуса фланца делать равной толщине пьезокерамической шайбы. Современное оборудование в приборостроительной технике может обеспечить точность изготовления до 1-2 мкм. Если при изготовлении гарантируется разность длин этих деталей 1 мкм, то уменьшение пропускания светофильтра на основных линиях спектра на 1% и 10% произойдет при увеличении температуры на 1 K и 3,7 K.

При соблюдении предложенных мер, разрабатываемый мультиплекс-светофильтр будет обладать хорошей термостабильностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Заявка на патент: Чесноков В.В., Чесноков Д.В., Никулин Д.М., Чесноков А.Е. Интерференционный светофильтр с перестраиваемой полосой пропускания / Заявка №2008112913, Россия.- Приоритет от 03.04.2008.
2. Заявка на патент: Чесноков В.В., Чесноков Д.В., Никулин Д.М., Чесноков А.Е. Способ изготовления перестраиваемого светофильтра с интерферометром Фабри-Перо / Заявка №2008130196, Россия.- Приоритет от 21.07.2008.
3. Чесноков, В.В. Интерференционные светофильтры с перестраиваемой полосой пропускания / В.В. Чесноков, Д.В. Чесноков, Д.М. Никулин // Изв. вузов. Приборостроение. – 2009. – Т. 52, № 6. – С.63–68.
4. Скоков И.В. Многолучевые интерферометры в измерительной технике. М.: Машиностроение, 1989. 256 с.

© Д.М. Никулин, 2010

О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ПОЛИМЕРНОГО ПЛАНАРНО-ВОЛОКОННОГО ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ СИГНАЛОВ

Рассматривается гибридный люминесцентный преобразователь УФ сигналов и его характеристики в зависимости от положения освещенной области и угла падения излучения.

D.E. Trushenko
Institute of Laser Physics, Novosibirsk

ON THE CHARACTERISTICS OF THE POLYMER PLANAR-FIBER LUMINESCENCE CONVERTER ULTRAVIOLET SIGNALS

We consider a hybrid UV signal fluorescent converter and its characteristics depending on the position of the illuminated region and the angle of incidence.

Исследование применения планарных волноводов с люминофорами в качестве приемников оптического излучения началось сравнительно недавно [1]. В данной статье проводилось исследование координатных характеристик гибридного планарного волновода в зависимости от положения фокуса и угла падения сигнала, в котором излучение передается на фотоприемник через внедренное оптическое волокно.

Для исследования координатных характеристик планарного волновода был изготовлен образец полимерного волновода с люминофором Родамин 6g с внедренными полимерными оптическими волокнами.

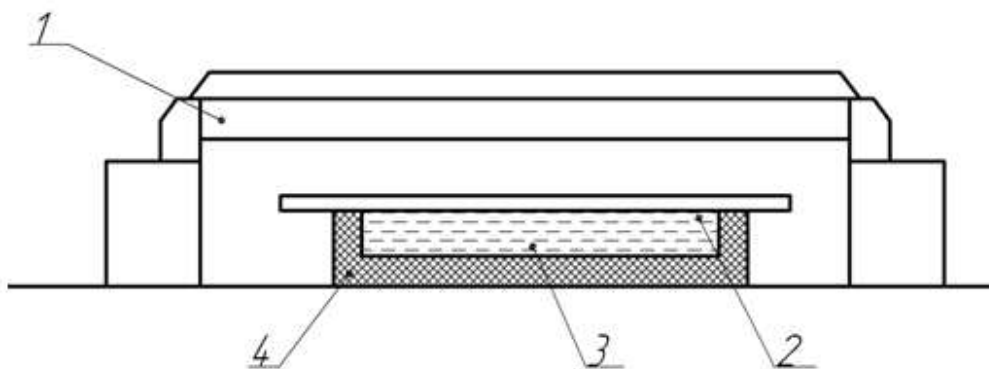


Рис. 1. Схема изготовления планарного волновода

1 – лампа БУФ – 90; 2 – верхняя подложка; 3 – акрилат с определённой концентрацией люминофора; 4 – кювета с нижней подложкой

Пленочный волновод изготавливался методом фотополимеризации смолы под действием ультрафиолетового света без доступа воздуха. В качестве матрицы волновода была взята полимерная смола Акрилат – 13 с показателем

преломления $n = 1,47$. При изготовлении плёнки в неотвержденную смолу добавлялся люминофор в нужной концентрации. Фотополимеризация проводилась между двумя оптическими стеклами под УФ лампой БУФ – 90 в течение 40 минут [2].

На рис. 1 показана схема установки для отверждения смолы акрилат13.

Полученная пленка имеет размеры рабочей поверхности $50 \times 50 \text{ мм}^2$ и толщину $1 \pm 0,1 \text{ мм}$. Волокна расположены на равном расстоянии с шагом 0,8 мм. Спектр поглощения пленки, измеренный на спектрофотометре Hamamatsu, представлен на рис. 2.

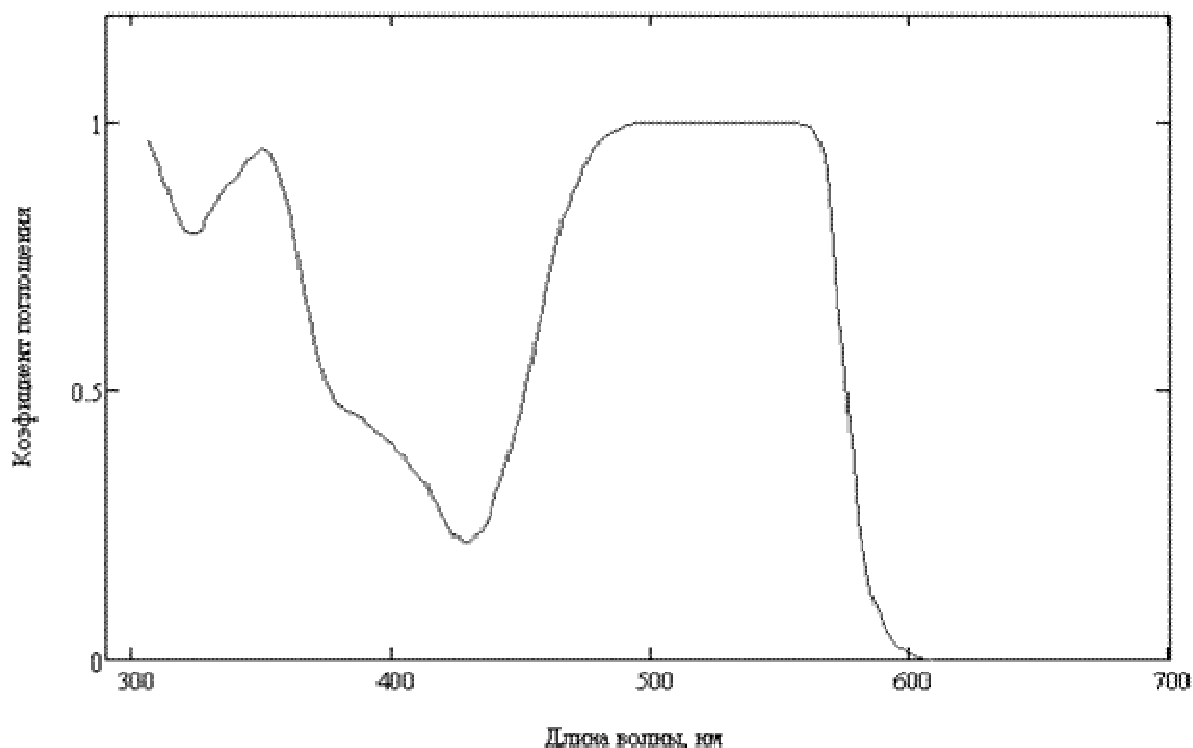


Рис. 2. Спектр поглощения люминофора Родамин 6g в акрилате (концентрация люминофора в акрилате 10^{-3} моль/литр)

Диаметр оптического волокна 1 мм, показатель преломления $n = 1,49$. Один из торцов волновода, интегрированный в планарный волновод, представляет собой фокон (рис. 3).

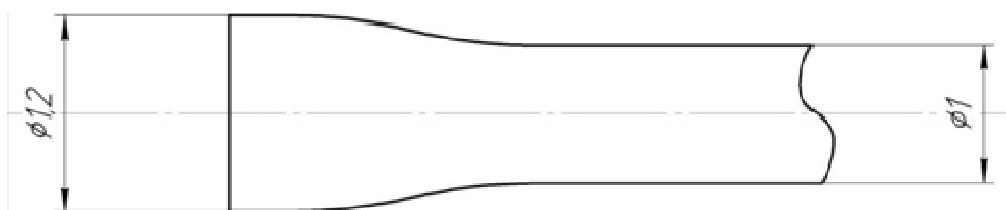


Рис. 3. Фокон на конце волокна

Подобная конструкция волновода позволяет собирать свет в угле 68° против 40° у обычного волновода диаметром 1 мм. На рис. 4 представлен ход лучей в волноводе.

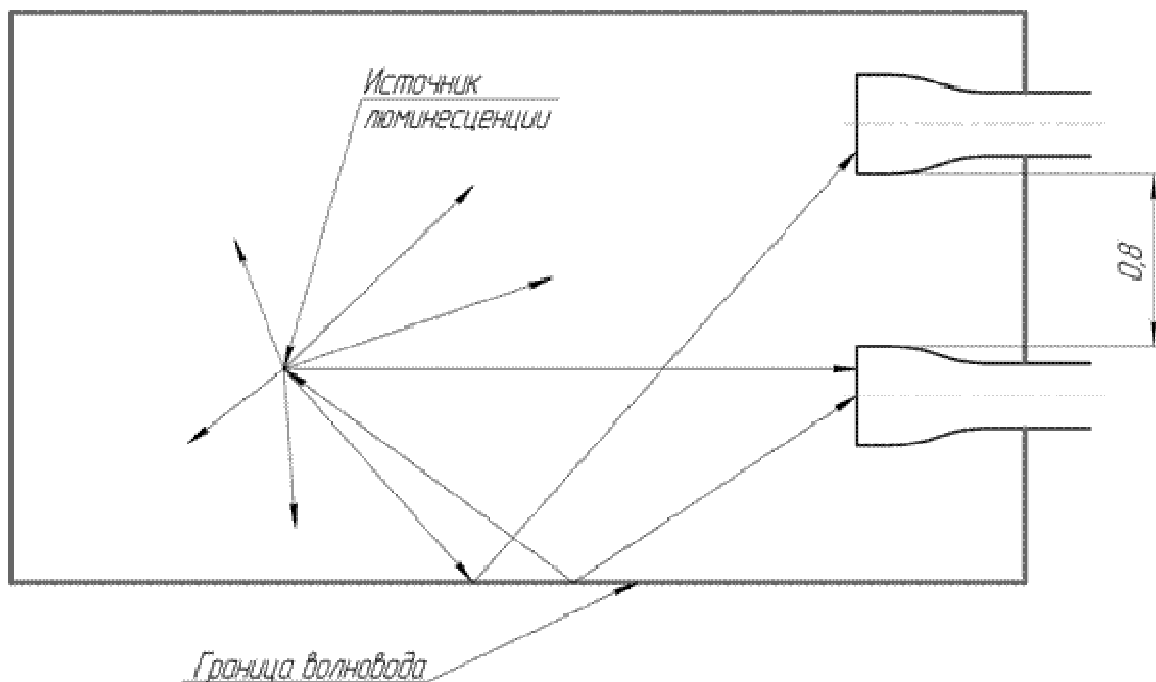


Рис. 4. Ход лучей внутри полимерного волновода

В ходе эксперимента волновод облучался зеленым полупроводниковым лазером ($\lambda = 535$ нм, диаметр пучка 1,5 мм, расстояние до образца 50 см). При определении линейных и угловых характеристик проводился замер мощности сигнала в каждом волноводе.

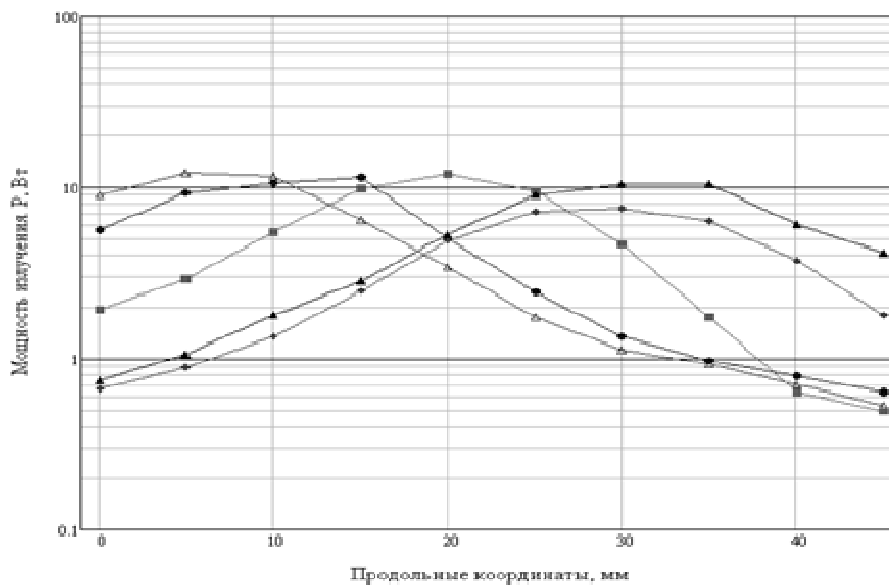


Рис. 5. Координатные характеристики волновода

При определении линейных характеристик перемещение точки засветки производилось с шагом 5 мм. При измерении угловых характеристик пленка устанавливалась на поворотный столик, пучок направлялся в центр пленки.

Результаты измерений представлены на рис. 5 и рис. 6.

Подобная конструкция планарного волновода с интегрированными оптическими волноводами позволяет определить точку фокуса сигнала и обладает широкой диаграммой направленности.

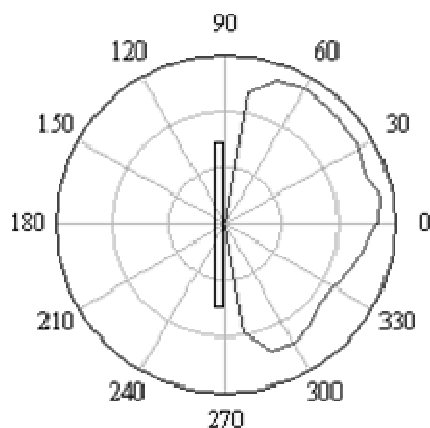


Рис. 6. Диаграмма направленности приема излучения

Недостатком конструкции является непрочность соединения планарного волновода и полимерных волокон вследствие низкой адгезии материала матрицы к материалу оптических кабелей, а так же высокая эластичность пленки приводит к разрушению соединения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голубенков А.А., Плюснин В.Ф., Поллер Б.В. Приемник УФ излучения на основе раствора люминофора в пленке. // Радиолокация, навигация, связь. VII международная научно-техническая конференция. - Воронеж, 2001. - Т. 2. - С. 1262-1271.
2. Поллер Б.В., Коломников Ю.Д., Трушенко Д.Е. Исследование планарных полимерных антенн с люминофорами для лазерных информационных систем // Сб. мат. Междунар. научн. конгр. «ГЕО-Сибирь-2006». - Т. 4. - С. 176-180.

© Д.Е. Трушенко, 2010

УДК 535.417
Ю.Ц. Батомункуев
СГГА, Новосибирск
А.В. Вениаминов
СПбГУ ИТМО, Санкт-Петербург
А.П. Попов
Люмэкс, Санкт-Петербург

ПОСЛЕЭКСПОЗИЦИОННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕМНОЙ РЕШЕТКИ В ПОЛИМЕРНОЙ ГОЛОГРАММНОЙ СРЕДЕ С ФЕНАНТРЕНХИНОНОМ

В послеэкспозиционном периоде экспериментально установлены немонотонные изменения дифракционной эффективности и угла дифракции Брэгга объемной голограммной решетки, записанной в полимерной среде с фенантренихиноном.

Ju.Ts. Batomunkuev
SSGA, Novosibirsk
A.V. Veniaminov
SPbSU ITMO, St.-Petersburg
A.P. Popov
Lumex, St.-Petersburg

POSTEXPOSURE CHANGE OF CHARACTERISTICS OF THE VOLUME HOLOGRAPHIC GRATING IN POLYMERIC MEDIUM WITH PHENANTHRENEQUINONE

Nonmonotonic changes of the diffraction efficiency and of the Bragg's diffraction angle of volume holographic grating which have been recording in the polymeric medium with phenanthrenequinone are experimentally established in postexposure period.

Введение. Известно, что разработка полимерной голографической среды с фенантренихиноном [1,2] позволила на ее основе впервые создать объемные отражающие голограммные решетки толщиной несколько миллиметров с относительной дифракционной эффективностью, достигающей теоретического предела – ста процентов. В работе [3] предложен механизм записи и усиления голограмм в этой среде, при котором в процессе экспозиции в объеме полимерной среды возникают три фотоиндуцированные решетки. Первая решетка образована непрореагировавшими молекулами фенантренихинона, а вторая и третья – противофазные первой, – подвижными семихиноновыми радикалами и радикалами, присоединенными к макромолекулам полимерной среды. Из этих решеток стабильной во времени и высокоэффективной является решетка, сформированная присоединившимися радикалами. Высокая дифракционная эффективность этой решетки достигается увеличением ее амплитуды модуляции показателя преломления в 4-8 раз из-за послеэкспозиционной диффузной деградации противофазной решетки из молекул непрореагировавшего фенантренихинона [3]. При этом дифракционная эффективность решетки в зависимости от периода увеличивается в 10-50 раз, то есть достаточно, например, в схеме записи зарегистрировать голограммную

решетку с дифракционной эффективностью 2-3 процента, чтобы затем ее эффективность после экспозиции увеличилась до 100 процентов.

Дальнейшие послеэкспозиционные исследования выявили некоторые особенности записанной голограммной решетки. В частности, было обнаружено, что после достижения максимального значения имеет место дальнейшее как монотонное [4], так и немонотонное изменение дифракционной эффективности решетки, а также появление тонкой структуры в виде интерференционных полос в дифрагировавшей и прошедшей решетку волнах [5]. Было также установлено немонотонное изменение угла дифракции Брэгга со временем. Обсуждение этих особенностей на основе представления о формировании трех фотоиндуцированных решеток [3] в полимерной среде с фенантрехиноном является целью представленной работы.

Экспериментальные результаты.

Изучение изменения дифракционной эффективности и угла дифракции Брэгга голограммной решетки, записанной в полимерной среде с фенантрехиноном, проводилось на установке, схема которой представлена на рис. 1. В схеме установки излучение гелий-неонового лазера 1 отклоняется и направляется призмой 2 и зеркалом 3 на голограммную решетку 4, а интенсивность прошедшей решетку волны регистрируется фотоприемником 6 и измеряется вольтметром 7. Голограммная решетка 4 устанавливалась на столике 5 гониометра Г5. Перемещением фотоприемника 5 могла быть измерена интенсивность прошедшей волны. Изменение угла дифракции Брэгга определялось гониометром Г5. Экспериментальные образцы полимерной среды представляли собой плоскопараллельные пластины толщиной 1-4

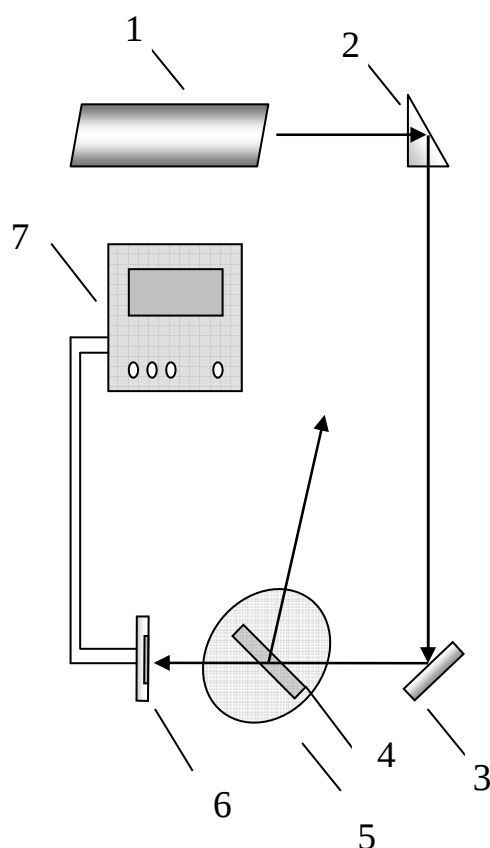


Рис. 1. Схема восстановления отражающей решетки

мм и диаметром 20 мм. В объеме этих образцов формировалась отражательная голограммная решетка на длине волны 514,5 нм аргонового лазера. Характерные величины экспериментальных значений дифракционной эффективности голограммной решетки в разные моменты времени указаны на рис. 2 треугольниками. Проведенная кривая на этом рисунке соответствует расчетной зависимости дифракционной эффективности η голограммной решетки при учете диффузной деградации фотоиндуцированных решеток непрореагировавших молекул фенантрехинона и подвижных радикалов. Аналитические выражения для дифракционной эффективности фотоиндуцированных решеток представлены

в [4]. Время релаксации решеток непрореагировавших молекул фенантренхинона и подвижных радикалов принято равным ~ 8 часов и ~ 50 часов. При выполнении расчетов слабая диффузная деградация решетки присоединившихся радикалов не учитывалась.

На рис. 3 для этой же решетки представлены (в виде треугольников) экспериментальные результаты изменения $\Delta\Theta$ величины угла дифракции Брэгга от времени. Кривые на рис. 3 соответствуют предполагаемым расчетным зависимостям изменения угла Брэгга от дифракционной эффективности η голограммной решетки при учете диффузной деградации фотоиндуцированных решеток непрореагировавших молекул фенантренхинона и подвижных радикалов. Выражения для расчета среднего значения модуляции показателя преломления фотоиндуцированных решеток представлены в [3]. Амплитуда модуляции показателя преломления принята равной $\sim 6 \cdot 10^{-5}$.

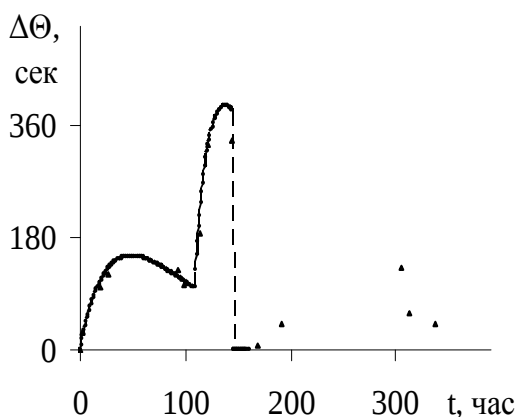


Рис. 3. Изменение $\Delta\Theta$ угла дифракции Брэгга от времени

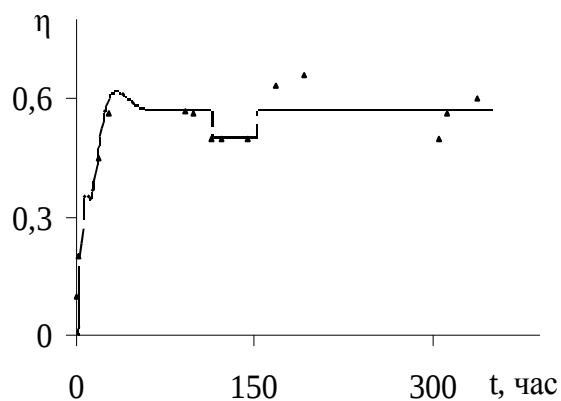


Рис. 2. Временная зависимость дифракционной эффективности η голограммной решетки

Обсуждение. Дифракционные эффективности фотоиндуцированных решеток непрореагировавших молекул фенантренхинона, подвижных радикалов и радикалов, присоединенных к молекулам полимерной среды обозначим $\eta_1 = \eta_1(t)$, $\eta_2 = \eta_2(t)$, $\eta_3 = \eta_3(t)$. Считая голограммную решетку фазовой, световую волну, попадающую в фотоприемник 6, можно представить в виде суммы отраженной и дифрагировавших в первый порядок волн

$$E_1 = -\eta_1^{1/2} E_0 \exp(i\varphi_1) + \eta_2^{1/2} E_0 \exp(i\varphi_2) + \eta_3^{1/2} E_0 \exp(i\varphi_3) + r^{1/2} E_0 \exp(i\varphi_4), \quad (1)$$

где E_0 и E_1 – напряженности электрического поля падающих на голограммную решетку и фотоприемник волн, φ_1 , φ_2 , φ_3 – фазы волн, дифрагировавших в первый порядок на фотоиндуцированных решетках, φ_4 – фаза отраженной волны, r – коэффициент отражения.

Первые три слагаемые в выражении (1) характеризуют соответственно дифрагировавшие волны на решетках непрореагировавших молекул фенантренхинона, подвижных радикалов и радикалов, присоединившихся к молекулам среды, четвертое слагаемое – нулевой порядок дифракции. Знак минус в первом слагаемом учитывает противофазность этой волны из-за

противофазности решетки непрореагировавших молекул фенантренхинона к двум другим. Дифрагировавшие в высшие порядки, рассеянные на шумовых решетках и неоднородностях среды волны не учитываем, так как удалением фотоприемника от голограммной решетки можно добиться того, что эти волны не будут попадать на фотоприемник или ими можно пренебречь. Выбором несимметричной схемы записи и расположением фотоприемника можно избавиться от отраженной волны. Из формулы (1) следует известный экспериментальный факт – взаимная компенсация в начальный момент времени (то есть при равенстве $\eta_1 = \eta_2$ и $\varphi_1 = \varphi_2$) дифрагировавших волн на решетках непрореагировавших молекул фенантренхинона и подвижных радикалов.

Дифракционную эффективность $\eta = |E_1|^2/|E_0|^2$ голограммной решетки можно представить в виде

$$\begin{aligned} \eta = & \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + r - 2(\eta_1^{1/2}\eta_2^{1/2}\cos(\varphi_1 - \varphi_2) + \\ & + \eta_1^{1/2}\eta_3^{1/2}\cos(\varphi_1 - \varphi_3) + \eta_1^{1/2}r^{1/2}\cos(\varphi_1 - \varphi_4) - \eta_2^{1/2}\eta_3^{1/2}\cos(\varphi_2 - \varphi_3) - \\ & - \eta_2^{1/2}r^{1/2}\cos(\varphi_2 - \varphi_4) - \eta_3^{1/2}r^{1/2}\cos(\varphi_3 - \varphi_4)). \end{aligned} \quad (2)$$

Таким образом, если разности фаз $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ волн будут порядка π , что соответствует разности значений среднего показателя преломления решеток порядка 10^{-4} , то дифракционная эффективность решетки, рассчитанная по формуле (2), может существенно отличаться от результата, рассчитанного без учета разности этих фаз. При более значительной разности фаз $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ в суммарной дифрагировавшей волне возникнет тонкая структура в виде интерференционных полос. Пространственно эти полосы модулируются угловой селективностью голограммной решетки. Зная период и смещение этих интерференционных полос можно определить разность между средними показателями преломления фотоиндуцированных решеток, следовательно, и относительные скорости изменения средних значений показателей преломления решеток. Если разности фаз $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ будут увеличиваться или уменьшаться со временем, то интенсивность дифрагировавшей волны и дифракционная эффективность голограммной решетки после достижения максимума будут изменяться от времени немонотонно. Эти изменения в первом приближении (в некоторых промежутках времени) могут быть периодическими. Экспериментальные результаты, представленные на рисунке 2 подтверждают, что дифракционная эффективность голограммной решетки после достижения максимального значения действительно меняется немонотонно.

Интенсивность прошедшей голограмму волны равна разности интенсивностей падающей и дифрагировавших волн, поэтому в прошедшей волне также будут наблюдаться интерференционные полосы, дополнительные полосам в дифрагировавшей волне. Следует отметить, что для прошедшей волны удобнее определять не абсолютную, а относительную дифракционную эффективность.

Так как дифракционные эффективности η_1 и η_2 со временем экспоненциально стремятся к нулю [4], то при достаточно больших значениях времени t выражение (2) перейдет к виду

$$\eta = \eta_3 + r + 2\eta_3^{1/2}r^{1/2}\cos(\varphi_3 - \varphi_4).$$

Причиной возникновения интерференционных полос в дифрагировавшей и прошедшей волнах может быть также запись стабильной «паразитной» решетки.

В частном случае, когда фазы волн одинаковые ($\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi_4$) и не учитывается отражение от поверхностей среды ($r = 0$), из выражения (1) получаем интенсивность I_1 дифрагировавшей волны

$$I_1 = I_0[-\eta_1^{1/2}(t) + \eta_2^{1/2}(t) + \eta_3^{1/2}(t)]^2, \quad (3)$$

где $I_0 = |E_0|^2$ – интенсивность падающей волны. Формула (3) с учетом явного вида временной зависимости $\eta_1(t)$, $\eta_2(t)$, $\eta_3(t)$, ранее приводилась, например, в работе [4]. Из формулы (3) становится понятным физический смысл коэффициентов A_R и A_Q , введенных в работе [4], а именно, в начальный момент времени $\eta_2 = A_R^2$, $\eta_1 = A_Q^2$.

Причиной возникновения тонкой структуры в дифрагировавшей волне может быть изменение среднего показателя преломления после экспозиции голограммной решетки, тогда как возможная за это время небольшая усадка (или увеличение) толщины среды приводит к одинаковому изменению периода и угла наклона фотоиндуцированных решеток, поэтому фотоиндуцированным изменением толщины среды, изменением периода и угла наклона решеток можно пренебречь.

Пространственная модуляция Δn изменения показателя преломления среды каждой фотоиндуцированной решетки может быть представлена в виде [4]

$$\Delta n = n_{jcp} + n_j \cos(2\pi x/d_j + \alpha_j), \quad (4)$$

где n_{jcp} , n_j – среднее значение и амплитуда модуляции показателя преломления, d_j – период и α_j – начальная фаза ($j=1,2,3,4$) фотоиндуцированных решеток пространственного распределения непрореагировавших молекул фенантренхинона, подвижных радикалов, радикалов, присоединенных к молекулам полимерной среды и к низкомолекулярным частицам среды (мономерам). Решетка из присоединившихся радикалов к подвижным низкомолекулярным частицам является нестабильной медленно деградирующей решеткой. Учет этой решетки требуется только в тех случаях, когда доля низкомолекулярных частиц в полимерной среде значительна.

Известно, что среднее значение и амплитуда модуляции показателя преломления каждой из фотоиндуцированных решеток экспоненциально изменяются [3], поэтому изменяется оптический путь, пройденный каждой из дифрагировавших и прошедших волн. Можно предположить, что с одной стороны это может привести к немонотонному изменению среднего показателя преломления и к немонотонному изменению значения угла дифракции Брэгга (характерный график изменения угла Брэгга представлен на рис. 3), а с другой – к возникновению интерференционных полос в дифрагировавшей волне. Представленные на рис. 3 экспериментальные результаты указывают на то, что после экспозиции действительно имеет место немонотонное изменение

величины угла дифракции Брэгга голограммной решетки. Очевидно, что подобным же образом будет изменяться и значение среднего показателя преломления среды из-за его прямой зависимости с изменением угла дифракции Брэгга.

Причинами изменения среднего показателя преломления среды могут быть разные скорости уменьшения n_{jcp} – среднего значения показателя преломления каждой из фотоиндуцированных решеток, приводящие к соответствующему изменению угла Брэгга для каждой их дифрагировавших волн на этих решетках. Так, уменьшение количества подвижных радикалов из-за присоединения к молекулам среды приводит к уменьшению среднего показателя преломления n_{2cp} , а присоединение радикалов – к увеличению среднего показателя преломления n_{3cp} . Эти два процесса идут с разными скоростями, так как не все радикалы присоединяются. Именно это обстоятельство может быть главной причиной уменьшения и последующего увеличения в первые четверо суток среднего показателя преломления голограммной решетки. Относительно быстрое уменьшение и увеличение показателя преломления в последующие 2-2,5 суток объясняется изменением температурного режима послеэкспозиционного процесса (увеличением температуры до 50°C). Существенным отличием этой стадии от предыдущей является то, что за этот промежуток времени практически не изменяется дифракционная эффективность голограммной решетки. Поэтому можно предположить, что имеет место процесс увеличения количества частиц одного типа при одновременном уменьшении с другой скоростью количества частиц другого типа (или их структурных изменений), равномерно или почти равномерно распределенных в объеме среды, например, практически равномерно распределенные одни радикалы присоединяются к макромолекулам, а другие – к подвижным молекулам среды (или возможно рекомбинируют в молекулы фенантренхинона). В этом случае амплитуда модуляции n_3 решетки присоединившихся радикалов не изменяется, поэтому не меняется ее дифракционная эффективность. Уменьшение и увеличение среднего показателя преломления в другие моменты времени может происходить, например, из-за процесса присоединения мономеров с радикалами к макромолекулам полимерной среды, приводящее к увеличению числа полимерных молекул и присоединенных радикалов, а также возможных других структурных изменений молекул полимерной среды. Другим возможным вариантом объяснения может быть существование еще одного типа более “долгоживущего” радикала. Указанные процессы происходят одновременно с диффузным исчезновением фотоиндуцированных решеток, не изменяющего значение среднего показателя преломления полимерной среды.

Заключение. Таким образом, в работе рассмотрены некоторые особенности формирования голограммной решетки в полимерной среде с фенантренхиноном. Показано, что дифракционная эффективность голограммной решетки зависит не только от эффективностей стабильной и диффузно деградирующих фотоиндуцированных решеток, но и от разности фаз дифрагировавших на этих решетках волн. Экспериментально установлено

послеэкспозиционное немонотонное изменение дифракционной эффективности решетки и появление в послеэкспозиционном периоде тонкой структуры в виде интерференционных полос в дифрагировавшей и прошедшей волнах, возникающая из-за разницы среднего показателя преломления фотоиндуцированных решеток. Экспериментально обнаружено послеэкспозиционное немонотонное изменение значения угла дифракции Брэгга, свидетельствующее о немонотонном изменении среднего показателя преломления полимерной среды с фенантренхиноном.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шелехов Н.С., Суханов В.И. Повышение дифракционной эффективности голограмм на реоксане // Оптическая голография с записью в трехмерных средах. – Л: Наука, 1989. – С. 14-20.
2. Попов А.П., Гончаров В.Ф., Вениаминов А.В., Любимцев В.А. Высокоэффективные узкополосные спектральные селекторы // Опт. и спектр. – 1989. – Т. 66, вып. 1. – С. 3-4.
3. Вениаминов А.В., Гончаров В.Ф., Попов А.П. Усиление голограмм за счет диффузионной деструкции противофазных периодических структур // Опт. и спектр. – 1991. – Т. 70, вып. 4. – С. 864-869.
4. Вениаминов А.В., Bartsch E. Форма релаксационной кривой в диффузионных измерениях с помощью фотоиндуцированных решеток // Опт. и спектр. – 2006. – Т. 101, вып. 2. – С. 305–313.
5. Батомункуев Ю.Ц., Вениаминов А.В., Попов А.П. Особенности записи голограммных решеток в полимерной среде с фенантренхиноном // Мат. междунар. конф. «Фотоника молекулярных наноструктур». – Оренбург, 2009. – С. 51.

© Ю.Ц. Батомункуев, А.В. Вениаминов, А.П. Попов, 2010

МОЛЕКУЛЯРНАЯ МОДЕЛЬ ФОТОТРАНСФОРМАЦИИ СТРУКТУРЫ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СЛОЕВ

Представлены результаты исследования структуры аморфных слоев халькогенидных полупроводников и динамики структурной трансформации в результате экспонирования. Показано новое функциональное свойство наноструктурированных пленок – возможность получения фазового рельефа на их поверхности с помощью оптического гравирования лазерным лучом.

V.I. Nalivaiko
Institute of Automation and Electrometry SB RAS
1 Koptuga Ul., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

STRUCTURE FOTOTRANSFORMATION MOLECULAR MODEL OF CHALCOGENIDE LAYERS

Results of structure study of amorphous chalcogenide semiconductor layers and dynamics of structure transformation as result of exposure are presented. New functional property of nanostructural films: a possibility of making of phase relief on their surface by means of optical engraving by laser beam is shown.

В настоящее время проводятся интенсивные исследования регистрирующих материалов для оптической записи информации. Поиск новых регистрирующих материалов обусловлен развитием таких направлений в оптике, как оптические информационные технологии с высокой плотностью записи (CD и DVD диски), новые технологии для создания дифракционной оптики и фотонных кристаллов.

Одним из перспективных материалов для записи оптической информации, синтеза дифракционных элементов и фотонных кристаллов являются тонкие слои халькогенидных стеклообразных полупроводников. Эти материалы интересны тем, что для считывания информации не требуется процесс проявления, и информация может считываться одновременно с процессом записи, то есть в реальном времени. Другими достоинствами таких материалов являются:

1. Возможность чисто фазовой записи информации и дифракционных структур, что обуславливает отсутствие амплитудных потерь при считывании информации или восстановлении волновых фронтов дифракционных элементов;

2. В результате фотоструктурных трансформаций в пленках наблюдаются рекордно большие изменения показателя преломления $\Delta n = 0,1$, что позволяет в тонких слоях получать фазовые задержки в несколько длин волн оптического диапазона. Например, в сравнении с ниобатом лития (LiNbO_3) халькогенидные пленки имеют преимущество по величине Δn более чем на порядок;

3. Высокая оптическая однородность пленок по толщине при напылении в вакууме на большие поверхности;

4. Пленки халькогенидных стеклообразных полупроводников являются неорганическими фоторезистами и позволяют осуществлять преобразование рельефа показателя преломления в геометрический рельеф с помощью селективного травления поверхности.

Целью настоящей работы является исследование изменений оптических параметров в процессе облучения пленок халькогенидных стеклообразных полупроводников с помощью рентгеноструктурной методики, компьютерное моделирование структуры пленок и построение структурной модели изменения их оптических параметров.

В кристаллических веществах основными параметрами структуры являются межатомные расстояния и величины углов химической связи. Знание этих параметров позволяет классифицировать кристаллические вещества с помощью описания их элементарных ячеек, трансляция которых определяет относительное расположение атомов в трехмерной упорядоченной решетке.

Аналогичное описание расположения атомов в некристаллических твердых телах в принципе невозможно. Однако общим свойством некристаллических материалов можно считать наличие ближнего и отсутствие дальнего порядка в относительном расположении атомов.

Существуют некоторые различия, которые позволяют провести разделение состояния неупорядоченных веществ на стекла и аморфные пленки. Характерный признак стекла - возможность перевода его в расплавленное состояние, из которого, при соблюдении определенных условий охлаждения, можно вновь получить исходное стекло. Пленки, полученные напылением, могут иметь иную, более неравновесную структуру и их относят к аморфным веществам.

Некристаллические материалы обладают рядом характерных структурных признаков, в частности, чрезвычайно малыми размерами областей упорядочения, что резко ограничивает возможности применения известных методов изучения их структуры.

В качестве прямого метода исследования трансформации структуры аморфных пленок использован порошковый рентгеноструктурный анализ, широко применяемый для изучения поликристаллических твердых тел. Новизна подхода состоит в применении методов рентгеноструктурного анализа с использованием синхротронного излучения (СИ) для исследования структурных изменений в халькогенидных пленках, приводящих к изменению оптических параметров пленок [1,2].

Также была предпринята попытка выбора технологических условий получения аморфных халькогенидных слоев с целью повышения динамического диапазона изменения показателя преломления (Δn) при их экспонировании. Для контроля была применена рентгеноструктурная методика, в которой экспериментально полученные дебаеграммы от получаемых слоев

характеризовали степень их наноструктурирования величиной амплитуды молекулярного пика на дифракционной картине.

Слои толщиной до 10 мкм получали термическим или магнетронным напылением в вакууме стеклообразных составов As_2S_3 , $\text{As}_2\text{S}_3 \times \text{As}_2\text{Se}_3$ и As_2Se_3 . Исследовались напыленные аморфные слои и слои, облученные до насыщения оптическим или рентгеновским излучением.

Получение дебаеграмм от слоев проводилось на высокоразрешающем автоматизированном дифрактометре (рис. 1) в Сибирском Центре СИ (ИЯФ СО РАН, Новосибирск). Высокий уровень монохроматизации ($\Delta\lambda/\lambda = 4 \cdot 10^{-4}$ на $\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$) в дифрактометре достигается за счет применения двухкристального (110) Si монохроматора и анализатора для дискриминации импульсов сцинтиллятора. Комптоновское рассеяние и флюоресценция обрезается (111) Ge монохроматором, помещенном на пути пучка, дифрагированного от исследуемого образца. Методика получения дифракционных картин оказалась экспрессной по причине высокой интенсивности источника СИ несмотря на диффузный характер дифракционных пиков от аморфных слоев.

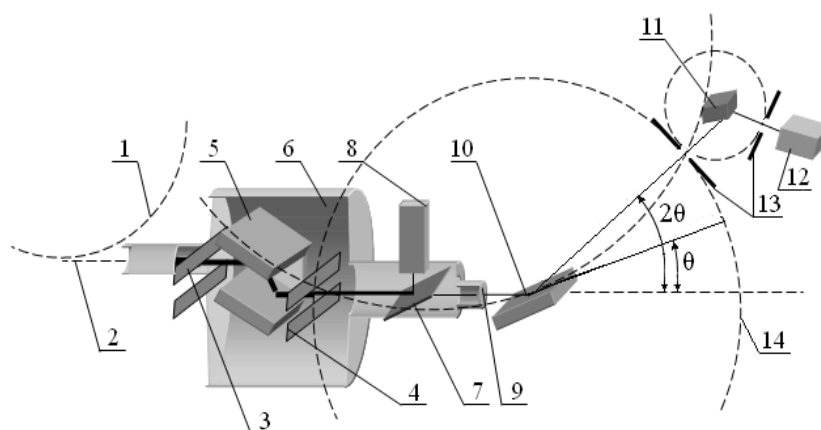


Рис. 1. Схематическое изображение дифрактометра СИ накопителя ВЭПП-3:

1 – пучок СИ; 3, 4, 13 – коллимационные щели; 5 – вакуумный объем двухкристального Si (110) монохроматора; 6 – вакуумный объем; 7 – тонкая пленка лавсана; 8 – детектор мониторинга первичного пучка; 9 – бериллиевое выходное окно монохроматора; 10 – исследуемый образец; 11 – однокристалльный Ge (111) монохроматор; 12 – детектор на основе сцинтиллятора NaJ, активированного Tl; 14 – дифракционное пространство

Трисульфиды (As_2S_3) и триселениды (As_2Se_3) мышьяка относятся к числу трудно кристаллизующихся неупорядоченных соединений. Обычно эти химические соединения получают из расплава в стеклообразном состоянии. При охлаждении расплава еще в жидком состоянии между атомами серы, селена и мышьяка реализуются прочные ковалентные связи. Это приводит к появлению в расплаве сложных агрегатов с некристаллической структурой и к резкому возрастанию его вязкости. Уменьшение подвижности атомов и кластеров в жидкой фазе препятствует достижению дальнего порядка в твердых As_2S_3 и

As_2Se_3 , так как требуются разрыва многих из уже установившихся начальных связей и существенное перераспределения атомов. Поэтому затвердевающие соединения, проходя через зону кристаллизации, преимущественно реализуют только ближний порядок расположения атомов.

Дифракционную картину материала, имеющего ближний порядок в расположении частиц (но не имеющего дальнего порядка) можно рассматривать как картину усредненной интенсивности, возникающей от пространственного расположения атомов не далее одной элементарной ячейки, принимающей все возможные положения в пространстве. Такое рассмотрение аналогично постановке задачи о рассеянии рентгеновских лучей независимыми молекулярными образованиями. В этом случае роль «молекулы» играет элементарная ячейка.

Экспериментальные дифракционные картины от тонких слоев (рис. 2) представляют собой картины, характерные для аморфного состояния с внутри- и межмолекулярной дифракцией.

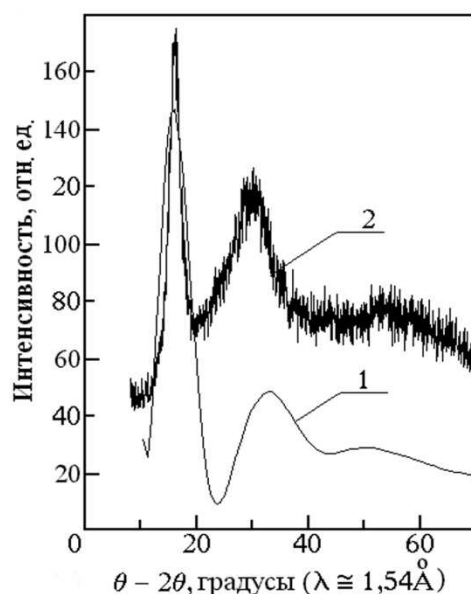


Рис. 2. Экспериментальная (1) и теоретическая (2) картины рентгеновской дифракции для термически напылённых в вакууме пленок As_2S_3 толщиной 5 мкм

Слабо размытое интенсивное отражение при $2\theta = 18^\circ$ соответствует межмолекулярной дифракции на нанообразованиях — неискаженных молекулярных образованиях, причем размытие этого отражения связано с малыми размерами дифрагирующих образований $d = 5 - 6 \text{ \AA}$. Сильно размытые отражения в дифракционных картинах при $2\theta = 30^\circ$, $2\theta = 58^\circ$ определяют внутримолекулярную дифракцию на этих единицах, связанных неупорядоченной, непрерывной, единой сеткой межатомных связей.

Головной структурный максимум межатомной дифракции при $2\theta = 30^\circ$ в стеклообразном As_2S_3 расположен на расстоянии, равном сумме ковалентных

радиусов атомов мышьяка и серы. Поэтому можно утверждать, что ближайшие соседи в стекле — атомы разных сортов.

Информация о структуре получена из прямых принципов на основе сравнения экспериментальных и теоретических дифракционных картин. Теоретическая модель молекулярной структуры вещества строилась с применением программы “Powdercell 2.3”. Интерференционная составляющая дифракционной картины рассчитывались согласно гипотетическим пространственным моделям строения As_2S_3 соответственно межатомным расстояниям As_2S_3 с помощью программы “Paters” по формуле Дебая:

$$I(s) = \sum_i^N \sum_j^N f_i(s) \cdot f_j(s) \frac{\sin(s \cdot r_{ij})}{s \cdot r_{ij}},$$

где f_{ij} – атомные факторы рассеяния, r_{ij} – межатомные расстояния, $s = (4\pi/\lambda)\sin\Theta$ [$\text{\AA}^{-1}$] – импульс отдачи, Θ – половина “брегговского” угла дифракции, λ – длина волны рентгеновского излучения.

Методом сравнения теоретических (рис. 2, кривая 1) и экспериментальных (кривая 2) картин рентгеновской дифракции в процессе компьютерного моделирования структуры слоев установлено количество молекул в нанообразованиях (восемь молекул As_2S_3 из 40 атомов), их взаимная ориентация, а также координаты всех атомов.

Структура пленок халькогенидного стекла представлена нами молекулярными образованиями из пяти атомов As_2S_3 , расположенных в пространстве на расстоянии 0,5 с, причем развернутые относительно центра молекулы на 90° . Затем эти молекулы последовательно транслированы на расстояния 0,5*b*, 0,37*a* и 0,5*c*. Параметры моноклинной элементарной ячейки $a = 11,562 \text{ \AA}$, $b = 9,2607 \text{ \AA}$, $c = 4,267 \text{ \AA}$, $\gamma = 90,82^\circ$. Сравнение экспериментальных дифракционных картин с теоретически рассчитанными картинками показало, что сильные дискретные отражения при $2\theta = 18^\circ$ в экспериментальных картинах появлялись при существовании трехмерного упорядочения молекулярных образований.

Такое представление картины позволило понять строение аморфного состояния как характерное для квазикристаллического состояния, другими словами, структура ближнего порядка формировалась из молекулярных образований – квазикристаллов как застывших отдельных образований с кристаллическим ближним порядком при отсутствии дальнего порядка.

Рентгеноструктурная методика позволяет отчетливо наблюдать направление модификации структуры пленок в процессе их взаимодействия с излучением. Напыленная аморфная пленка с молекулярными нанообразованиями трансформируется в стеклообразное состояние с диффузным головным максимумом межатомной дифракции (рис. 3).

Динамику фототрансформации структуры аморфных слоев можно представить следующим образом. Неэкспонированные плёнки имеют наноструктурированное строение с размерами кластеров 0,5 – 0,6 нм (рис. 4, а), концентрация которых в процессе оптического или рентгеновского облучения уменьшается в результате образования химических связей между кластерами.

Пленки, экспонированные до насыщения оптическим излучением, представляют по своей структуре стекла с непрерывной сеткой химических связей по Захариасену (рис. 4, б).

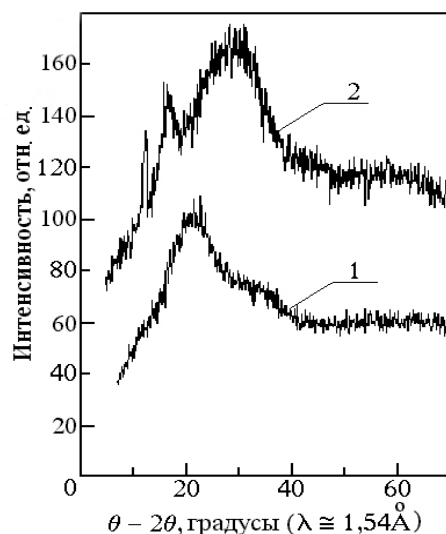


Рис. 3. Экспериментальные картины рентгеновской дифракции для пленках As_2S_3 :

1 – пленки, экспонированные лазерным излучением (плотность падающей энергии – 2 Дж/см^2 , $\lambda = 5145 \text{ Å}$); 2 – пленки, облученные рентгеновским СИ (плотность падающей энергии - $11,9 \text{ Дж/см}^2$)

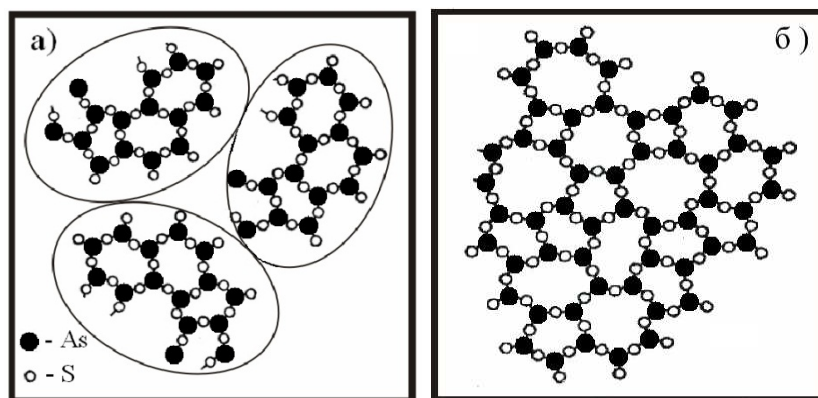


Рис. 4. Динамика фототрансформации структуры слоев As_2S_3 :

а) – наноструктурированная напылённая пленка; б) – пленка, экспонированная оптическим излучением

Экспериментально полученные угловые положения молекулярных пиков для всех составов слоев находилось вблизи $2\theta = 18^\circ$. Это указывало на идентичность молекулярной структуры слоев составов As_2S_3 , $\text{As}_2\text{S}_3 \times \text{As}_2\text{Se}_3$ и As_2Se_3 . Наибольшая концентрация молекулярных образований, пропорциональная амплитуде молекулярного пика дифракции, оказалась у

слоев состава $\text{As}_2\text{S}_3 \times \text{As}_2\text{Se}_3$ [3], одного из перспективных регистрирующих составов.

Изучение влияния технологических условий на величину динамического диапазона Δn слоев проводилось путем выбора термического или магнетронного способа напыления и скорости нанесения аморфных слоев. При термическом напылении слои имели больший динамический диапазон по сравнению со слоями, полученными магнетронным напылением. При низких скоростях нанесения ($2 \text{ \AA}/\text{с}$) для пленок состава As_2S_3 с высокой концентрацией молекулярных образований достигнута наибольшая величина динамического диапазона изменения показателя преломления в оптической области прозрачности на уровне $\sim 10\%$ ($\Delta n = 0,2$ на $\lambda = 632,8 \text{ нм}$), то есть в два раза больше по сравнению с приводимыми в литературе величинами.

Применяя методы селективного травления на поверхности халькогенидных слоев получены дифракционные рельефные структуры – голографические решетки с низким уровнем “паразитного” рассеяния, волноводные голограммы с высокой плотностью записи битовой информации, высокоэффективные дифракционные элементы ввода/вывода излучения в планарные волноводы [4-6].

При синтезе дифракционных структур с помощью сфокусированного лазерного луча ($\lambda = 488 \text{ нм}$) нами обнаружено новое функциональное свойство наноструктурированных слоев – возможность получения гладкого поверхностного рельефа способом оптического гравирования.

Это свойство обусловлено новыми механическими параметрами наноструктурированных слоев вследствие слабой химической связи между нанообразованиями.

В процессе исследования установлено два режима гравирования. При сравнительно низкой интенсивности лазерного луча в реальном времени происходит образование мелкого рельефа оптического качества в результате уплотнения материала. Более высокая интенсивность сфокусированного луча вызывала гладкое поверхностное испарение материала и позволяла получать фазовый рельеф (рис. 5) с оптической глубиной в несколько длин волн.

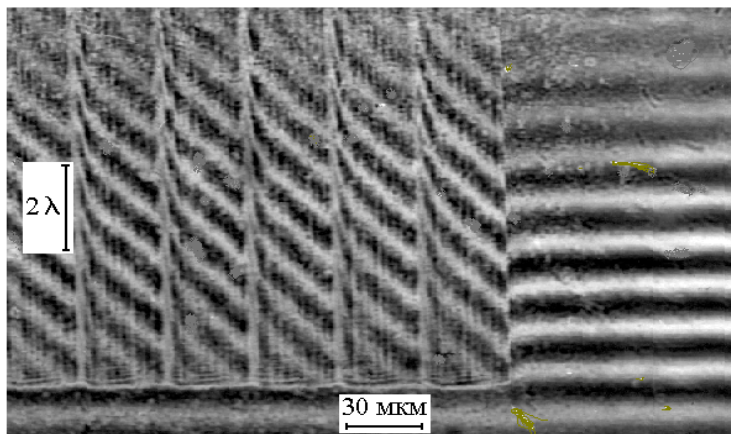


Рис. 5. Интерферограмма в проходящем свете ($\lambda = 0,55\text{мкм}$) фрагмента рельефной фазовой решетки с “блеском” глубиной 2λ в слое As_2S_3 , полученной методом оптического гравирования

Представленная методика оптического гравирования поверхности халькогенидных слоев лазерным лучом может оказаться востребованной при компьютерном синтезе дифракционных структур на сферических поверхностях.

Сферическая поверхность оптических линз не позволяет получать однородный по толщине слой фоторезиста традиционными методами центрофугирования. Вакуумное напыление фоторезистов в этом случае имеют преимущества, обеспечивая оптическую однородность по толщине слоев не хуже $\lambda/10$.

Учитывая высокую прозрачность халькогенидных слоев в ИК диапазоне длин волн, эта спектральная область наиболее перспективна для их применения в качестве регистрирующей среды при изготовлении киноформных оптических элементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Nalivaiko, V.I. Materials for Optical Information Recording on the Base of Subnanostructured Chalcogenide Films – Англ – / V.I. Nalivaiko // Proc. of the XVI International Synchrotron Radiation Conference. Novosibirsk. – 2006. – P. 26.
2. Nalivaiko, V.I. Materials for Optical Information Recording on the Base of Subnanostructured Chalcogenide Films – Англ – / V.I. Nalivaiko // J. of Nuclear Instruments and Methods in Physics Research (NIMA). Section A. – 2007. – V.575. – P.113.
3. Коломиец, Б.Т., Любин, В.М., Наливайко, В.И., Цукерман, В.Г. Пластина для реверсивной записи голограмм, Авт. свидетельство № 449652 с приоритетом от 19.12.72.
4. Наливайко, В.И., Чубаков, П.А., Покровский, А.Н., Михальченко, А.А., Кузьмин В.И., Картаев, Е.В. Малогабаритный спектрометр для эмиссионного анализа потоков низкотемпературной плазмы [Текст] / В.И. Наливайко, П.А. Чубаков, А.Н. Покровский, А.А. Михальченко, В.И. Кузьмин, Е.В. Картаев // Теплофизика и аэромеханика. – 2007. – Т. 14. – № 2. – С.257.
5. Балагуров, А.Я., Доценко, В.И., Морозов, В.Н., Наливайко, В.И. и др. Волноводные голограммы двумерных объектов [Текст] / А.Я. Балагуров, В.И. Доценко, В.Н. Морозов, В.И. Наливайко и др. // Автометрия. – 1986. – № 2. – С. 104.
6. Gigailenko, M.A., Kamenev, N.N., Nalivaiko, V.I., Tverdokhlebov, P.E. Waveguide 3-D Optical Integrated Circuits – Англ – / M.A. Gigailenko, N.N. Kamenev, V.I. Nalivaiko, P.E. Tverdokhlebov, // Proc. SPIE. – 1999. – V. 3900. – P. 187.

© В.И. Наливайко, 2010

О ПОСТРОЕНИИ СВОТТЕПЛОВОГО ЛЮМИНОФОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

В статье рассматривается система люминесцентного накопления солнечного света и тепла с целью освещения и обогрева различных помещений.

A.B. Poller

JSC "SDB", SSGA, Novosibirsk

ABOUT CONSTRUCTION OF THE LIGHT-HEAT LUMINESCENT CONVERTER OF SOLAR ENERGY

The system of luminescent accumulation of sunlight and heat for the purpose of illumination and heating of various premises is considered in article.

Распространенные методы преобразования солнечной энергии базируются на фотоэлектрическом преобразовании с помощью кремниевых пластин света в электроэнергию, а также на преобразовании солнечной энергии в тепло, а затем тепла в электрический ток [1,2]. Этим методам присущи недостатки, связанные с необходимостью концентрировать солнечный свет для повышения КПД кремниевых преобразователей, для повышения эффективности нагрева теплоносящих жидкостей. Однако при рассеянном солнечном свете обычные концентраторы начинают работать неэффективно, поэтому в последние десятилетия были начаты исследования по использованию люминофорных концентраторов и светонакапливающих систем [3-5].

Значительный интерес представляет задача построения светотеплового преобразователя солнечной энергии, который бы одновременно накапливал свет и тепло, а затем передавал их потребителю на небольшие расстояния в десятки метров. Такой метод актуален для освещения и обогрева различных помещений, подземных автостоянок, помещений и складов с огне- и взрывоопасными материалами, так как в этом случае может быть сэкономлена электрическая энергия, увеличена безопасность людей и движения транспорта.

Для оценки возможности построения такого преобразователя были выполнены исследования ряда энергетических характеристик новых светонакапливающих люминофоров (ФВ-490 Д), и также свойств некоторых жидкостей содержащих частицы таких люминофоров. Также исследовались характеристики передачи тепла в макете светотеплового преобразователя.

Была снята характеристика световой эффективности люминофора ФВ-490Д в соответствии с формулой

$$K_{\text{лф}} \% = \frac{E_{\text{ш.л}}}{E_{\text{осв}}} \cdot 100\%$$

где $E_{\text{осв}}$ – величина освещённости слоя люминофора от лампы ДРЛ – 150, $E_{\text{изл.}}$ – величина освещенности площадки от слоя люминофора.

В зависимости от величины освещенности люминофора $E_{\text{осв}}$, при одинаковом времени засветки слоя люминофора была получена характеристика, представленная на рис. 1.

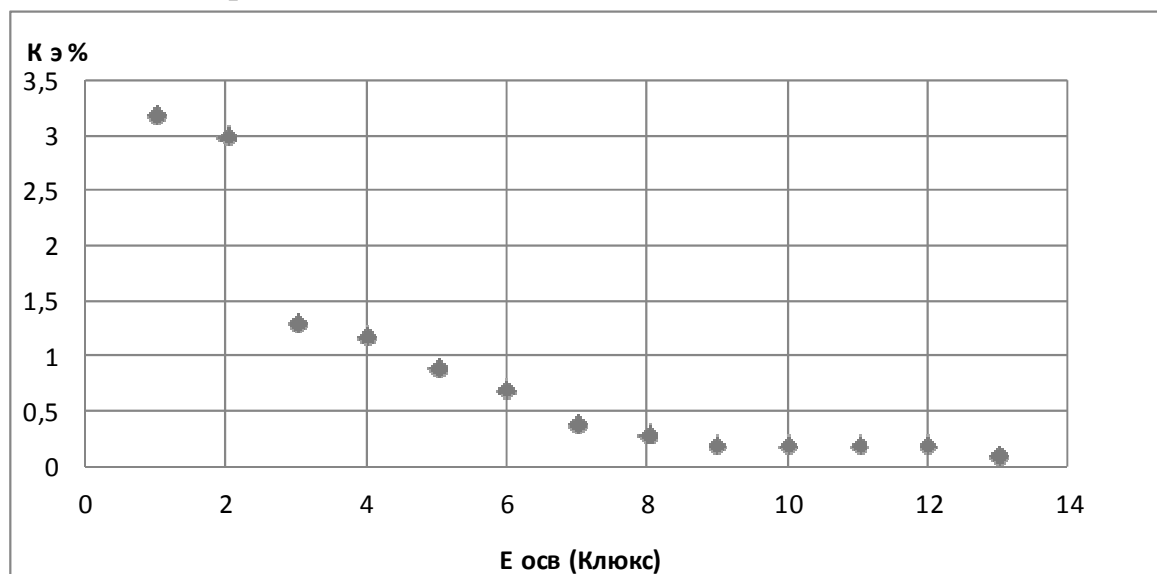


Рис. 1. Характеристика световой эффективности

Из рис. 1 видно, что при росте облученности люминофора более 1 Клюкс, световая эффективность существенно снижается. То есть люминофор накапливает рассеянное солнечное излучение с большей эффективностью, чем прямое солнечное излучение.

Частицы люминофоров в жидкости после накопления света и тепла перемещаются в потоке жидкости в зону освещения и обогрева. Спектральные характеристики пропускания таких жидкостей - $S(\lambda)$ должны соответствовать спектральным характеристикам люминофора, то есть иметь высокую прозрачность в области поглощения солнечного света люминофором - $\delta\lambda_{\text{п}}$ и в области излучения люминофора - $\delta\lambda_{\text{и}}$. Кроме того такие жидкости должны сохранять текучесть в рабочем диапазоне температур солнечного преобразователя.

Были выполнены модельные эксперименты по облучению смесей различных жидкостей с люминофором световым излучением от лампы ДРЛ-150. В качестве жидкостей использовались дистиллированная вода (В), полиэти-ленгликоль (П) и глицерин (Г). При эксперименте смесь представляла собой одинаковое количество люминофора, заливаемого одинаковым количеством жидкости. После интенсивного размешивания смесь состояла из верхнего слоя жидкости толщиной около 3 мм и осадка из люминофора толщиной около 2 мм. Образцы таких смесей выдерживались под лампой ДРЛ-150 равное время, при равной величине облученности. Затем измерялась величина светоотдачи от каждого вида смеси. Характеристики такой светоотдачи представлены на рис. 2.

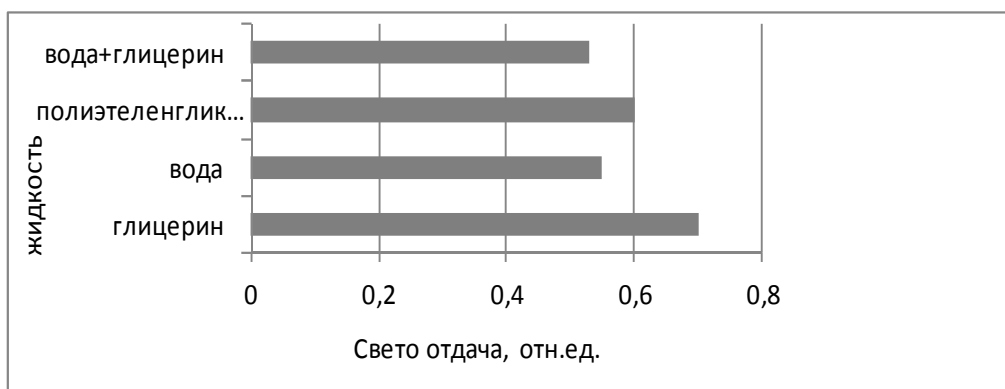


Рис. 2. Характеристики светоотдачи смесей жидкостей с люминофором

Из рис. 2 следует, что наилучшие характеристики светоотдачи были у смеси люминофора с глицерином, что свидетельствует о наилучшем соответствии спектральных характеристик пропускания глицерина, характеристикам люминофора.

Для оценки характеристик теплового преобразователя был разработан макет, схема которого, показана на рис. 3.

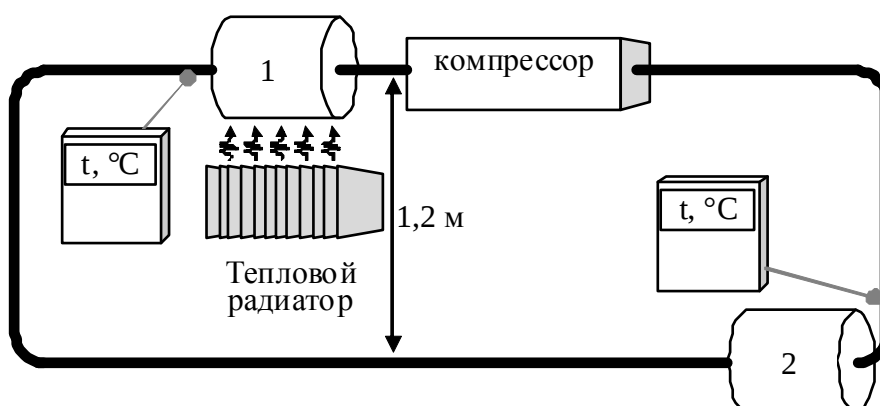


Рис. 3. Схема макета

Две трубы из полиметилметакрилата (сосуд 1, 2) с внешним диаметром 55 мм, внутренним 50 мм, длиной 300 мм соединены трубкой (поливинилхлорид сечением 5 мм), образуя между собой замкнутую цепь, в которую подключен компрессор (предварительно было установлено, что мощность компрессора позволяет поднять воду по трубке на высоту не менее 6 м) и датчики с цифровым термометром. Сосуд 1 установлен на тепловом радиаторе ($t = 60-70^{\circ}\text{C}$) на высоте 1,20 м от сосуда 2. Цель эксперимента с данным макетом заключается в оценке времени выравнивания температуры в нижнем и верхнем сосудах в зависимости от мощности компрессора. А также в оценке скорости движения частиц люминофора вместе с водой или вместе с глицерином.

Весовая концентрация люминофора в жидкости составляла около 1 %, при этом расчетное количество частиц люминофора в 1 см^3 жидкости составляло ориентировочно 10^5 . При эксперименте была получена зависимость скорости

движения частиц люминофора в воде в зависимости от мощности компрессора, представленная на рис. 4.

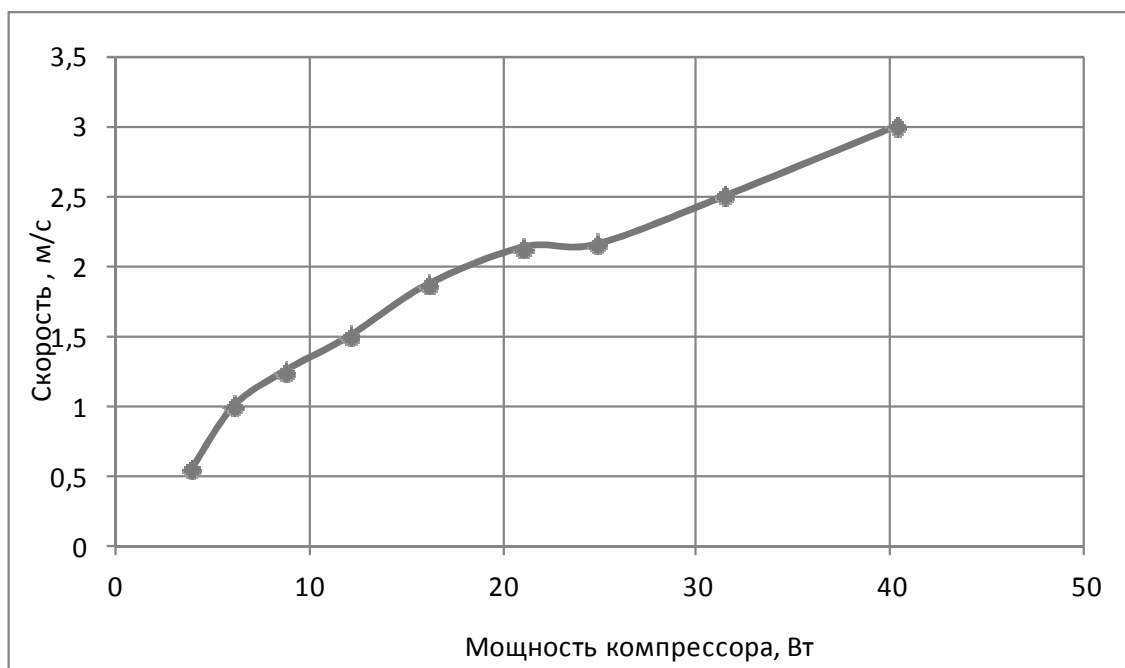


Рис. 4. Зависимость движения частиц люминофора в воде от мощности компрессора

При одинаковой мощности компрессора скорость движения частиц в глицерине в 8-15 раз меньше по сравнению со скоростью движения частиц люминофора в воде.

Заключение:

1. Полученные экспериментальные оценки позволяют приступить к технической реализации светотеплового преобразователя.

2. При технической реализации также необходимо учесть, что зарубежной фирмой «Kopin Nanoscale Imaging Corp.» разработан нанопорошок обладающий повышенной светоотдачей - это может повысить эффективность светопреобразователя, так же необходимо отметить, что нанопорошки обладают свойствами жидкости, что в дальнейшем позволит в светотепловых преобразователях отказаться от использования жидкостей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куртиз С., Фридман Д. Фотоэнергетика, путь к световому будущему // Оптический журнал. - 2007.- Т. 74, № 1.
2. Преобразование солнечной энергии вопросы физики твердого тела // М: Энергоиздат.-1982.- 32 с.
3. Барашков Н.И., Сахно Т.В. Оптически прозрачные полимеры и материалы на их основе. Наука. 1991.
4. Поллер Б.В., Попков В.К., Поллер А. Б., Бритвин А.В., Коломников Ю.Д., Трушенко Д.Е., Орлов С.Г. О характеристиках преобразователей солнечного света с полимерными волноводами // Сб. матер. междунар. научн. конгр. «ГЕО - Сибирь - 2006». - Новосиб., 2006. - Т. 4. - С. 176-180.
5. Поллер Б.В., Попков В.К., Поллер А.Б. Перспективы применения наземно-космических пленочных систем накопления и передачи солнечного света для сельского хозяйства // Пленарный доклад на Междунар. научно-практ. конф. «Электроэнергетика в сельском хозяйстве». – Новосибирск, 2009.

© А.Б. Поллер, 2010

ОБ АНОМАЛИЯХ ЗАТУХАНИЯ НЕКОТОРЫХ ОПТИЧЕСКИХ И ТЕРАГЕРЦОВЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНЕ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

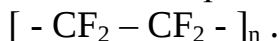
В статье рассматривается затухание терагерцового излучения в политетрафторэтилене при нагреве.

B.V. Poller, V.M. Klement'ev, A.V. Britvin, D.E. Trushenko
Institute of Laser Physics, Novosibirsk

AN ANOMALY ATTENUATION OF SOME OPTICAL AND TERAHERTZ LASER RADIATION IN POLITETRAFTORETILENE TEMPERATURE CHANGES

The article deals with the attenuation of terahertz radiation in politetraftoretilene during heating.

Полимер политетрафторэтилен или фторопласт-4 (ФТ-4) является перспективным материалом для разработки различных устройств в терагерцовом (ТГц) диапазоне [1]. Сам ФТ-4 относится к двухфазным веществам и состоит из кристаллической и аморфной частей. Химическое строение полимера определяется формулой:



ФТ-4 перерабатывается холодным прессованием при последующем спекании при температуре около 340 °С. Температура плавления кристаллической части 327 °С. Основной рабочий диапазон температур от минус 200 °С до плюс 260 °С.

Описание стенда ТГц и результаты

Для анализа свойств полимерных материалов и волноводов в ТГц диапазоне были использованы ТГц лазерные сигналы от стенда, разработанного под руководством д.ф.-м.н. Клементьева В. М. В основе разработки стенда лежала модернизация системы лазеров для генерации ТГц излучения на ячейках с аммиаком, фреоном, метанолом в диапазоне от 81,263 мкм до 263 мкм (3,692 – 1,14 ТГц) рис. 1.

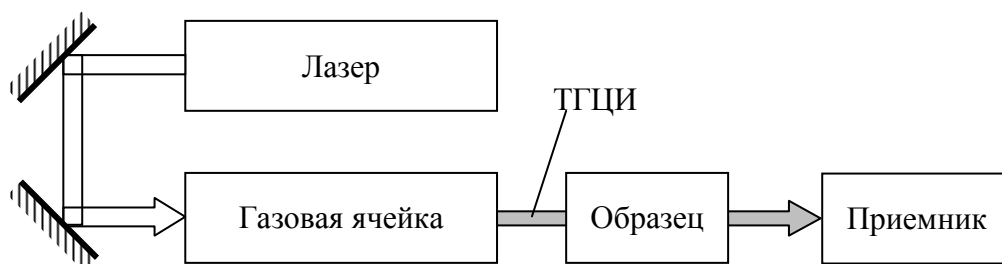


Рис. 1. Схема ТГц стенда

Прием ТГц излучения осуществлялся с помощью разработанных трех различных приемников. Исследовались образцы полимерных, полимерно-керамических и керамических волноводов длиной до 10 см. В качестве материалов оболочек и сердцевин использовались полиметилметакрилат, полиэтилен, политетрафторэтилен, керамические волноводы на основе окиси алюминия. Предварительная оценка затухания в различных образцах волноводов показала ведущую роль затухания ТГцИ в самом материале полимера. Величины погонного затухания на 3,69 ТГц в различных образцах волноводов колебались от одного дБ на мм, до одного дБ на несколько см.

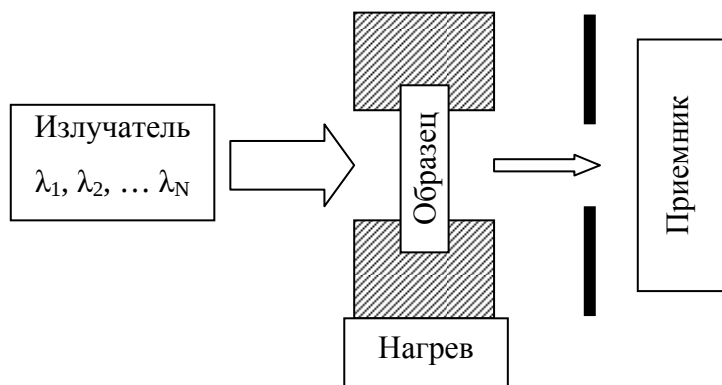


Рис. 2. Схема эксперимента

Интересные результаты были получены при исследовании влияния температуры на затухание ТГцИ в полимерах (рис. 2). Для ряда полимеров повышение температуры приводило к незначительному увеличению затухания, то для политетрафторэтилена (ФТ-4) в области выше границ рабочих температур (260 °С) наблюдалось уменьшение затухания (просветление).

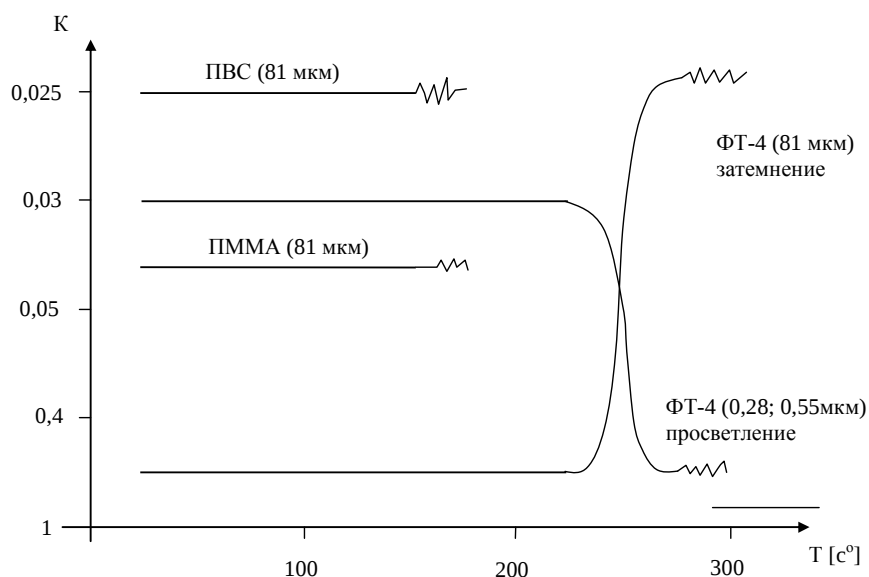


Рис. 3. Характеристики зависимости затухания оптического и ТГц излучений в полимерах (ПВС, ПММА, ФТ-4) от температуры

Результаты измерений затухания видимого и ближнего инфракрасного излучения в образце ФТ-4 толщиной 2 мм при нагреве представлены в табл. 1. Для ТГЦИ наоборот наблюдалось резкое (в 30 раз) увеличение затухания рис. 3. Этот эффект наблюдался при неоднократном нагреве образцов из ФТ-4.

Таблица 1. Результаты эксперимента по пропусканию оптического сигнала политет-рафторэтиленом при комнатной температуре и при нагреве выше 250 °С

λ , нм	Облученность приемника			Коэффициент затухания	
	начальная I_0 , люкс	при $t=25^\circ\text{C}$ I_x , люкс	при $t>250^\circ\text{C}$ I_n , люкс	при $t=25^\circ\text{C}$ α_x , мм^{-1}	при $t>250^\circ\text{C}$ α_n , мм^{-1}
440	45	0,45	6	2,30	1,00
560	40	0,4	5	2,30	1,04
585	100	1,15	16	2,23	0,92
615	90	1,05	13,5	2,23	0,95
680	120	1,4	18	2,23	0,95
950	6	0,1	0,8	2,05	1,00

Таким образом, применение при повышенных температурах фторопласта как материала для терагерцового излучения ограничивается температурой аномального затухания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронкова Е.М., Гречушников Б.Н., Дистлер Г.И., Петров И.П. Оптические материалы для инфракрасной техники. - М.: Наука.-1965.-335 с.

© Б.В. Поллер, В.М. Клементьев, А.В. Бритвин, Д.Е. Трушенко, 2010

УДК 621.372.8

*Б.В. Поллер, В.М. Клементьев, А.В. Бритвин, Ю.Д. Коломников,
С.И. Коняев, С.И. Трашкеев, Д.Е. Трушенко*
ИЛФ СО РАН, СГГА, Новосибирск

О СОЗДАНИИ ТЕРАГЕРЦОВЫХ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛНОВОДОВ

Проводится обзор результатов создания фотонно-кристаллических полимерных волноводов в России и за рубежом.

*B.V. Poller, V.M. Klement'ev, A.V. Britvin, Y.D. Kolomnikov,
S.I. Konyaev, S.I. Trashkeev, D.E. Trushenko*
Institute of Laser Physics, Novosibirsk

ESTABLISHMENT TERAHERTZ PHOTONIC-CRYSTAL WAVEGUIDES POLYMER

A review of a photonic-crystal polymer waveguides in Russia and foreign.

Исследования в области создания ТГц волноводов развиваются в двух направлениях, первое направление – это создание волноводов на основе полых металлических или керамических волноводов, волноводов в виде диэлектрических стержней. Второе направление исследований базируется на использовании идеологии фотонно-кристаллических (ФК) волноводов, разработанных для видимого и ИК диапазонов.

Существенной проблемой исследований является отсутствие диэлектрических материалов с высокой прозрачностью в ТГц диапазоне. Традиционно для диэлектрических ТГц устройств используют такие полимеры как полиэтилен и политетрафторэтилен и в последнее время полиметилпентен.

При использовании проводящих структур интересные результаты получены группой профессора Нахата [1] из университета Юты. ТГц волновод представляет набор перфорированных стальных пластинок толщиной 625 мкм и длиной около 10 см и шириной 2,5 см. Каждая пластина имеет набор отверстий прямоугольной формы размерами 500×50 мкм². ТГц излучение в таком волноводе канализируется вдоль линии соединяющей эти отверстия в канале шириной 2 мм и по вертикали 1,69 мм. При эксперименте использовалось излучение 0,3 ТГц, при изменении расстояния между отверстиями эту частоту можно изменять. Модель распространения базируется на поверхностных плазменных волнах, аналогичных фотонам в оптическом диапазоне или электронам в проводниках.

По мнению профессора Нахата для разработки практических устройств с таким волноводом потребуется не менее 10 лет.

Развитие технологии ФК волноводов в России анализируется в работе [2]. Основное внимание в этой работе уделено оптическим ФК волноводам. В этом направлении представляет интерес технология получения полимерных ФК волноводов, за счет продавливания полиметилметакрилата через штамп из

кремния. При этом получалась квадратная решетка отверстий с периодом в диапазоне 270 – 700 нм, диаметр круглых отверстий соответствовал половине периода. Технология разработана в ФТИ РАН.

Наиболее существенные результаты в области полимерных ФК ТГц волноводов получены за рубежом [3-9]. Так в работе [7] на основе использования структурированного фторопласта получены в 2004 году первые образцы ФК ТГц волноводов. В работе [8] исследуются эффекты поляризации ТГц волны в полимерном ФК волноводе, структура которого представлена на рис. 1. Материал волновода политетрафторэтилен, характерный размер 375 мкм, высота центрального отверстия около 1,9 мм, полоса пропускания волновода около 1 ТГц.

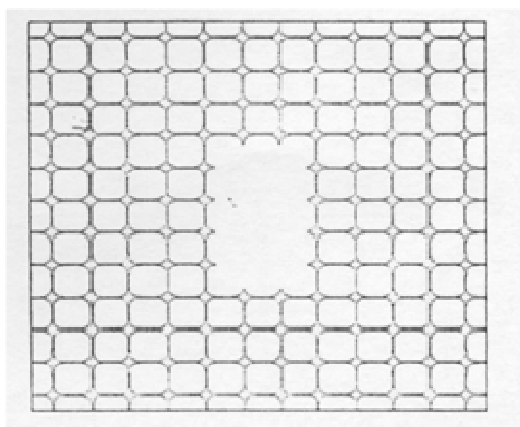


Рис. 1. Структура полимерного ФК ТГц волновода

В Институте лазерной физики СО РАН развиваются исследования по синтезу ТГц волноводов [10,11]. На базе стенда с лазерными ТГц излучателями, разработанного под руководством В.М. Клементьева, выполнены измерения характеристик лабораторных образцов ТГц волноводов и ответвителей.

В основе разработки стенда лежала модернизация системы лазеров для генерации ТГц излучения на ячейках с аммиаком, фреоном, метанолом в диапазоне от 81,263 мкм до 263 мкм (3,692 – 1,14) ТГц. Прием ТГц излучения осуществлялся с помощью разработанных трех различных приемников.

Исследовались образцы полимерных, полимерно-керамических и керамических волноводов длиной до 10 см. В качестве материалов оболочек и сердцевин использовались полиметилметакрилат (ПММА), полиэтилен, политетрафторэтилен, керамические волноводы на основе окиси алюминия. Предварительная оценка затухания в различных образцах волноводов показала ведущую роль затухания ТГц в самом материале полимера. Величины погонного затухания на 3,69 ТГц в различных образцах волноводов колебались от одного ДБ на мм, до одного ДБ на несколько см. Керамический разветвитель 1:2 показал соответствующие деление мощности лазерного излучения.

Для развития технологии ФК полимерных ТГц волноводов исследовался метод вытяжки полимерных нитей из растворов полимеров, как чистых растворов, так и растворов с добавками проводящих микрочастиц. Так из

чистых растворов ПММА удастся вытягивать нити диаметром от нескольких микрон до десятков микрон. Для растворов с микрочастицами разных размеров, при вытяжке нити наблюдается захват микрочастиц только определенного размера.

Выполненные исследования позволили разработать предложение о синтезе уже фотонно-кристаллического волновода методом формирования набора полимерных волокон с микрочастицами. Элемент структуры такого волновода представлен на рис. 2.

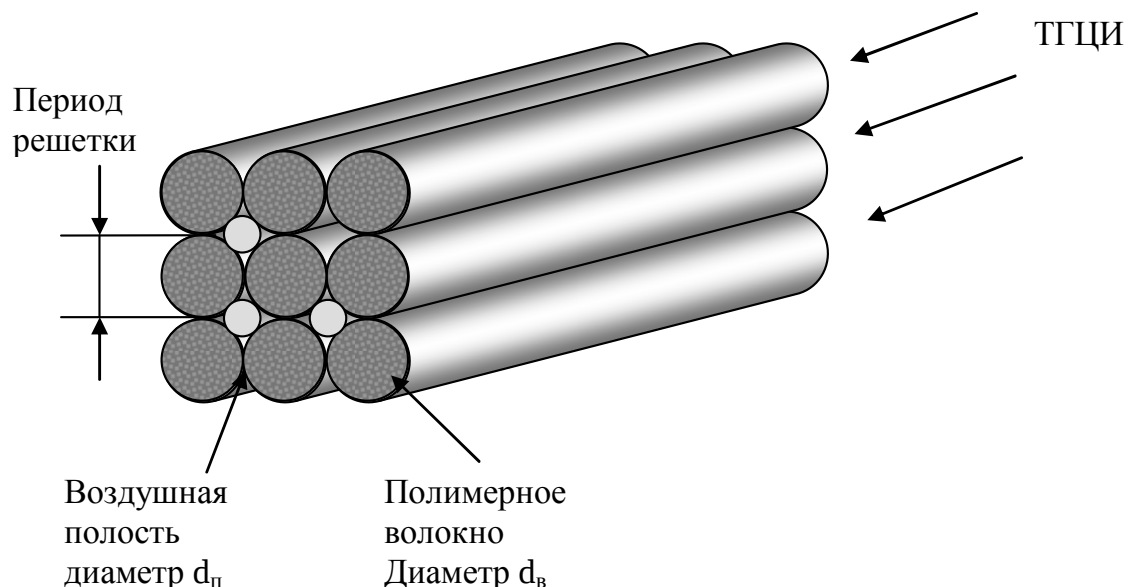


Рис. 2. Элементы структуры полимерного фотонно-кристаллического волновода

Для такой структуры найдены аналитические соотношения между длиной волны, диаметрами волокон, воздушных полостей и периодом фотонно-кристаллической решетки. Позитивным свойством такой структуры ФК волновода является возможность оптимальной интеграции с полимерным нанокомпозитным жидкокристаллическим ТГц излучателем [11]. При этом сам волновод может выделять необходимые спектральные составляющие от такого жидкокристаллического излучателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lenta. Ru -Ajay Nahata. Opt. Express. – 2009.
2. Желтиков, А. М. Российские нанотехнологии. – 2007. – Т. 2, № 1, 2. – С. 70–78.
3. Harrington, J.A., Hollow polycarbonate waveguides with inner Cu coatings for delivery of terahertz radiation // Opt. Express. - 2004. – V. 12. – P. 5263-5268.
4. Mendis R., Grishkowsky D. Plastic ribbon THz waveguides // J. Appl. Phys. - 2000. – V. 88. – P. 4449–4451.
5. Chen L.-J., Chen H.-W., Kao T.-F., Lu J.-Y., Sun C.-K. Low-loss subwavelength plastic fiber for terahertz waveguiding // Opt. Lett. – 2006. – V. 31. – P. 308–310.
6. Han H., Park H., Cho M., Kim J. THz pulse propagation in plastic photonic crystal fiber // Appl. Phys. Lett. – 2002. – V. 80. – P. 2634–2636.

7. Goto M., Quema A., Takahashi H., Ono S., and Sarukura N. Teflon photonic crystal fiber as terahertz waveguide // Jpn. J. Appl. Lett. - 2004. – V. 43. – P. L317–L319.
8. Cho M., Kim J., Perk H., Han Y., Moon K., Jung E., Han H. Highly birefringent terahertz polarization maintaining plastic photonic crystal fibers // Opt. Express. – 2008. – V. 16. – P. 7–12.
9. Lu J.-Y., Yu C.-P., Chang H.-C., Chen H.-W., Li Y.-T., Pan C.-L., Sun C.-K. Terahertz air-core microstructure fiber // Appl. Phys. Lett. – 2008. – V. 92, N. 6.
10. Поллер Б.В., Клементьев В.М., Трашкеев С.И., Коняев С.И., Бритвин А.В. , Трушенко Д.Е., Орлов С.Г. О характеристиках полимерных волноводов и преобразователей для терагерцовых информационных систем // Доклад на 15 Междун. научн. конфер. (МНК) «Радиолокация, навигация, связь». – Воронеж, 2009. Т. 3. – С. 1820–1823.
11. Поллер Б.В., Клементьев В.М., Трашкеев С.И., Бритвин А.В., Коняев С.И., Коломников Ю.Д., Трушенко Д.Е., Орлов С.Г. Перспективы использования систем с жидкими кристаллами и полимерными волноводами в терагерцовом диапазоне для информационных технологий // Сб. мат. VI Междун. научн. конгр. «ГЕО-Сибирь-2008». – 2008. – Т. 4, ч. 2. – С. 34–36.

© Б.В. Поллер, В.М. Клементьев, А.В. Бритвин, Ю.Д. Коломников,
С.И. Коняев, С.И. Трашкеев, Д.Е. Трушенко, 2010

О СВЕРХСВЕТОВЫХ СКОРОСТЯХ ВОЛН В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ

В данной работе принципиальным отличием от известных подходов является утверждение, что каждая спектральная составляющая реальной случайной волны и модулированной волны распространяется в диспергирующих средах с групповой скоростью $v_g(\omega)$, а не с фазовой, как это излагается в существующей литературе. Акцентируется, что групповые скорости физических субстанций не могут быть сверхсветовыми.

A.V. Koshelev
Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)
10 Plakhotnogo U1., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

SUPERLUMENAL VELOCITIES WAVE IN MODERN PHYSICS

The fundamental importance of this paper lies in the statement that each spectral component of a real random wave and a modulated wave propagates in dispersion media with group velocity and not with the phase one, as it is stated in relevant literature. It is emphasized that, group velocities for the transportation of physical substance cannot be superluminal.

Введение. Публикации в научных изданиях о сверхсветовых скоростях (СС) электромагнитных волн (ЭМВ) в диспергирующих средах (ДС) имеют давнюю историю и продолжают регулярно появляться в отечественной и зарубежной литературе [1-11]. За последний период достаточно полный обзор подобной тематики приведен в работе [1]. Целью настоящей статьи является критический анализ основных причин возникновения СС и оценка достоверности их существования.

В настоящее время для волн, распространяющихся со СС, наиболее часто упоминаются среды, которые представлены на рис. 1.



Рис. 1. Среда, в которых предполагается существование СС [1]

Нередко СС связывают с понятием фазовой скорости распространения в ДС. Под фазовой скоростью понимают скорость переноса идеальной монохроматической волны бесконечной продолжительности с фиксированной фазой. В данной работе остановимся лишь на тех проблемах современной

физики, которые наиболее тесно связаны с фазовыми скоростями при распространении волн со СС в ДС. К таким задачам относятся:

- Определение скорости движения электрона при рассмотрении излучения Вавилова – Черенкова [2];
- Оценка скорости распространения гауссова импульса с квадратичной фазовой модуляцией [3];
- Теоретическое обоснование скорости движения светового импульса в усиливающей активной лазерной среде, включая активные структуры, левосторонние среды, фотонные кристаллы, оптические волноводы [1,5,11], с групповой скоростью и отрицательным временем задержки [4];
- Исследование скорости туннелирования квантовых частиц (парадокс Хартмана) [5].

Важно отметить, что природе строго монохроматических волн не существует, следовательно, не должно быть и фазовой скорости для реальных волн в ДС. По этому поводу уместно привести высказывания ведущих ученых прошлого века лауреатов Нобелевских премий по физике М. Борна и Л. Ландау [7,8]. Независимо они писали, что в ДС фазовая скорость волн не имеет никакого физического смысла и с фазовой скоростью ничто не распространяется. По-видимому, из-за отсутствия четких теоретических и экспериментальных доказательств, эти положения не были приняты современниками и по настоящее время фазовую скорость, как реально существующую, используют в физико-технической литературе наряду с экспериментально определяемой групповой скоростью.

Кратко остановимся на роли фазовой скорости в проблеме СС. Одной из причин, из-за которой часто применяется понятие фазовая скорость и оправдывается существование СС, является мнение, что якобы фазовая скорость не переносит энергию, т.е. является кинематическим параметром [1,3]. Известно также, что любая реальная волна всегда переносит энергию, а согласно теории относительности энергия волн не может распространяться со скоростью превышающей скорость света в вакууме. В связи с этим возникает вопрос насколько обосновано использование фазовой скорости для описания реальных физических явлений.

О том, что любая реальная волна переносит энергию, можно легко убедиться, рассмотрев уравнение электрического поля волны, представленной выражением

$$E(t) = E_1 \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (1)$$

где E_1 - амплитуда ЭМВ, ω - круговая частота, t - текущее время; φ_0 - начальная фаза. Пусть, в момент времени t_1 фиксированному значению фазы $\omega t_1 + \varphi_0 = \text{const}$ соответствует мгновенная амплитуда сигнала $E(t_1)$, которая и переносит фиксированное значение фазы. Известно, что квадрат амплитуды пропорционален мощности волны, а мощность, умноженная на время, есть энергия. Другими словами фаза сигнала не может существовать без волны,

имеющей материальную амплитуду. Поэтому любая реальная волна не зависимо от длительности и от степени ее стабильности переносит энергию, а, следовательно, является энергетическим параметром и не имеет никакого отношения к фазовой скорости.

Теоретическое обоснование отсутствия фазовых скоростей в ДС. Известно, что реальная волна даже очень близкая к гармонической имеет спектр частот малой, но конечной ширины спектра $\Delta\omega$, т.е. состоит из непрерывного спектра частот и является квазимонохроматической. Частота излучения любой реальной волны ω всегда нестабильна, поэтому через бесконечно малый промежуток времени dt имеет место приращение частоты $d\omega$, а ему, в свою очередь, в ДС будет соответствовать приращение волнового числа dk . Следовательно, скорость реальной волны в ДС есть групповая скорость $V_g(\omega)$, которая определяется уравнением

$$V_g(\omega) = \frac{d\omega}{dk}.$$

Прямым теоретическим доказательством отсутствия фазовых скоростей также может служить спектральный анализ реальных сигналов. Любая реальная волна является случайным сигналом [9] хотя бы потому, что она нестабильна по частоте, а, следовательно, она модулирована по частоте случайным процессом. Поэтому спектральный состав реальной волны, как непериодического сигнала, может быть выполнен использованием преобразования Фурье.

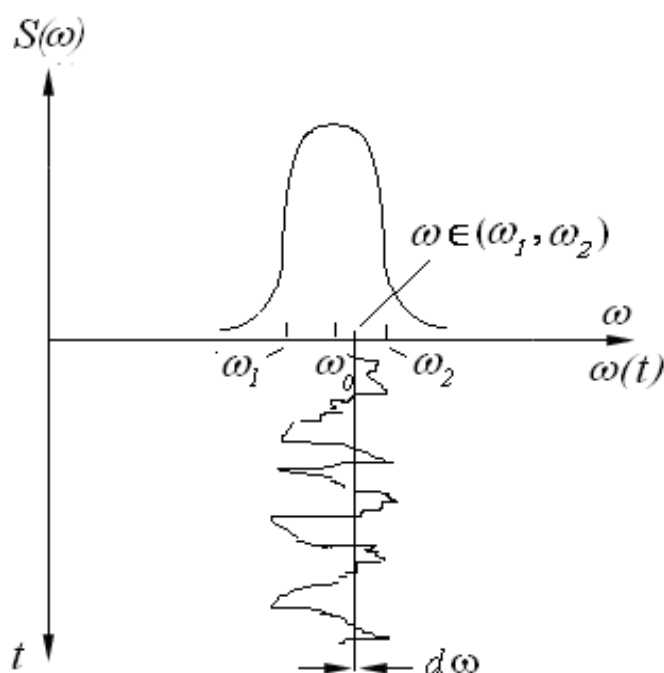


Рис. 1. Спектральная плотность $S(\omega)$ электрического поля лазера со средней частотой ω_0 , соответствующая случайному изменению частоты излучения $\omega(t)$ в зависимости от времени t

Для спектрального анализа реального электрического поля волны $E(t)$, например, излучения лазера, распространяющегося вдоль оси z , воспользуемся

преобразованиями Фурье. С их помощью устанавливается связь между амплитудой волны $E(t)$ и комплексной спектральной плотностью амплитуды $S(\omega)$, полученной на исследуемом интервале времени. Формулы преобразований Фурье имеют следующий вид [10]:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} E(t) \cdot e^{-j(\omega t - kz)} dt \quad (2)$$

$$E(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S(\omega) \cdot e^{j(\omega t - kz)} d\omega \quad (3)$$

где $j = \sqrt{-1}$. Спектральная плотность амплитуды $S(\omega)$ реальной случайной волны $E(t)$ показанная на рис. 1, характеризует непрерывное распределение амплитуд в зависимости от частоты ω .

Отметим, что преобразования Фурье получают из периодического ряда Фурье путем увеличения длительности периода сигнала T в бесконечность. В этом случае дискретный спектр сигнала ряда Фурье преобразуется в сплошной спектр, определяемый $S(\omega)$, а амплитуды спектральных составляющих, входящих в уравнение (2), становятся бесконечно малыми величинами [10].

Известно, что в математике нуль есть бесконечно малая величина. Следовательно, спектральная составляющая на частоте $\omega \in (\omega_1, \omega_2)$, показанная вертикальной линией рис. 1, для бесконечно малой полосы частот $d\omega$, в уравнении (2) будет иметь амплитуду бесконечно малой величины, физически равную нулю, поскольку зафиксировать ее невозможно.

Отсутствие фазовой скорости, помимо бесконечно малого значения амплитуды, можно объяснить еще и тем, что время существования волны для конкретного значения частоты $\omega \in (\omega_1, \omega_2)$ в пределах полосы частот $d\omega$ рис. 1, вследствие нестабильности частоты ограничено мгновенным (бесконечно малым) промежутком времени dt . Отсюда следует вывод, что в реальном лазерном излучении не существует идеальных монохроматических волн, распространяющихся с фазовой скоростью на любой конкретной частоте ω . Такой результат отличается от заключения в работе [1], в которой утверждается, что в ДС при $\Delta\omega \rightarrow 0$ волна движется с фазовой скоростью.

Можно также показать, что любая спектральная составляющая реальной волны $\omega \in (\omega_1, \omega_2)$ в ДС распространяется также с групповой скоростью $V_g(\omega)$. С этой целью допустим, что для бесконечно малого приращения частоты $d\omega$ вблизи любой частоты $\omega \in (\omega_1, \omega_2)$ сигнал будет существовать в частотном диапазоне от $\omega - d\omega/2$ до $\omega + d\omega/2$, образуя также группу волн в пределах выделенных частот. Поскольку спектральная плотность $S(\omega)$, есть непрерывная функция, то ее можно дополнительно делить на меньшие величины. Однако физически зафиксировать такую группу волн также

невозможно, так как она будет иметь бесконечно малую амплитуду (энергию), но распространяющуюся с групповой скоростью.

Это позволяет утверждать, что любой реальный сигнал с частотой $\omega \in (\omega_1, \omega_2)$, который может быть физически обнаружен и использован для наблюдений, содержится в значительно большей полосе частот $\Delta\omega \gg d\omega$. Следовательно, реальная волна в полосе частот $\Delta\omega$ распространяется в ДС всегда с групповой скоростью $V_g(\omega)$, а ее амплитуда определяется уравнением

$$E(t) = \int_{\omega-\Delta\omega/2}^{\omega+\Delta\omega/2} S(\omega) \cdot e^{j(\omega t - kz)} d\omega.$$

В связи с этим, по мнению автора, в определенном смысле теряет понятие скорость переноса энергии, так как эту функцию выполняет групповая скорость $V_g(\omega)$. Поскольку каждая спектральная составляющая реального сигнала переносит энергию, то и в случае потерь энергии волны в ДС, формулы групповой скорости можно также использовать с учетом этих потерь для амплитуд соответствующих спектральных составляющих и их скоростей.

Важно отметить, что с групповой скоростью будет распространяться даже отрезок идеальной монохроматической волны (если бы даже она существовала), представленный уравнением (1), с частотой ω , на ограниченном промежутке времени $[0, T]$. Такое допущение является вполне общим, так как с бесконечными по продолжительности волнами никто не работает, а стабилизация частот лазера достигает в настоящее время относительной величины 10^{-16} . Поскольку спектр такого отрезка гармонического сигнала будет сосредоточен в непрерывной группе волн, спектральная плотность которых изменяется в соответствии с функцией $\sin(x)/x$ максимум которой совпадает с частотой ω [10]. Это дает основание использовать уравнение (1) для описания реальных волн, распространяющихся в ДС с групповой скоростью в узком спектральном диапазоне для $\omega \gg \Delta\omega$.

Приведенные выше рассуждения позволяют сделать вывод, что фазовых скоростей в ДС, как и идеальных монохроматических волн в природе не существует, а любые реальные волны в ДС распространяются только с групповыми скоростями.

Подтверждением этого являются результаты исследований представленные в работе [15], которые показывают, что использование фазовой скорости для расчета скорости квантовых частиц в волноводном тракте с неоднородными барьерами приводит к СС и «отрицательному времени» туннелирования (парадокс Хартмана). В этой же работе утверждается, что подобных проблем не возникает при использовании групповых скоростей $V_g(\omega)$.

Результаты этого раздела позволяют сделать следующие выводы. Во всех разделах физики и техники при рассмотрении вопросов, связанных с распространением волн в недиспергирующих средах понятию **фазовая скорость**, возможно более точно, соответствовало бы определение **скорость** волны. Поскольку именно амплитуда (энергия) волны переносит значение фазы волны, а не наоборот. Очевидно, что для таких сред также отпадает требование

идеальной монохроматичности и бесконечной продолжительности реальных волн. В ДС **фазовая скорость**, как не соответствующая действительности, должна быть заменена для соответствующих частот на **групповую скорость**. В этом случае СС перестанут существовать в теоретических исследованиях по распространению волн в ДС, а результаты экспериментальных исследований будут более точно соответствовать их истинным значениям. Экспериментальные исследования [12] показали, что радиоволны в ДС распространяются только с групповыми скоростями, для которых показатель преломления в ионосфере $n > 1$.

Таким образом, на примере распространения радиоволн в средах с аномальной рефракцией было экспериментально подтверждено отсутствие СС и фазовых скоростей волн в ДС, предсказанных М. Борном и Л. Ландау. Отсюда на основе единой природы электромагнитных радио- и оптических волн можно также сделать вывод, что СС отсутствуют в радио-и оптических волноводах, поскольку их существование основано на фазовых скоростях волн в ДС.

Скорость распространения оптических импульсов в лазерных усилителях. В настоящее время считается, что в лазерных усилителях оптическое излучение импульсов движется в ДС со СС [6,17-19]. Нами было выявлено, что авторами этих работ наряду с отсутствием фазовых скоростей не были учтены следующие факторы:

1) Процесс усиления лазерных импульсов не является безынерционным. Инерционность этого процесса определяется временем релаксации усиливающей среды, которое находится в пределах от 10^{-3} с до 10^{-9} с [18]. Отсюда следует вывод, что вклад усиленных фотонов переднего фронта наносекундного импульса, поступающего в усиливающую среду (даже если принять наименьшее время релаксации 10^{-9} с) будет приходиться в его хвостовую часть, а не в переднюю, часть импульса, как это пишется в обсуждаемой литературе по СС [6,17-19]. Таким образом, СС не могут существовать и в усиливающих средах.

2) Выполненные ранее эксперименты по определению сверхсветовых скоростей не имеют подтверждения другими авторами, несмотря на то, что они сделаны уже несколько десятков лет назад [14]. При рассмотрении схемы экспериментальной установки, которая приведена в работе [6] следует, что луч, проходящий через активную среду лазера, идет по более короткому пути, чем по воздуху. Таким образом, СС скорость предопределена схемой эксперимента.

3) В настоящее время в лазерных стандартах частоты наивысшей точности фемтосекундные лазерные импульсы используются в усиливающих активных средах, но их скорость, в действительности, не является сверхсветовой [20].

В заключение хотелось бы кратко остановиться на так называемых парадоксах СС скоростей в ДС. Примеры возьмем из университетского учебника по классической электродинамике [17]. В этой книге помимо волн, распространяющихся с фазовой СС скоростью, невозможность существования

которых рассмотрены нами выше, приведены типичные парадоксы, «доказывающие» существование СС скоростей:

- Скорость перемещения светового зайчика на удаленном экране при повороте источника света;
- Скорость разлета или сближения частиц в лабораторной системе.

Вначале остановимся на наиболее часто используемом в литературе примере существования СС скорости перемещения светового зайчика. Авторы в своих доказательствах существования СС не учитывают, что скорость света конечна и изображение зайчика на экране создается оптической энергией, которая материальна и не может распространяться со СС скоростью. В действительности, чем выше скорость поворота источника света вдоль удаленного экрана, тем на меньшее расстояние от источника будут распространяться фотоны света (эффект поворота шланга с водой). Поэтому свет на экран будет приходить с дополнительным запаздыванием по времени и на экране не будет никакого превышения скорости перемещения света оптическим зайчиком. Что касается второго примера, то отсутствие СС доказывается в этом же учебнике в соответствии с принципом инвариантности скорости света.

Таким образом, из представленного выше материала следует вывод, что в настоящее время надежных и достоверных сведений о СС не существует.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Давидович М.В. // УФН. - 2009, № 4. - С. 443-446.
2. Болотовский Б.М. // УФН. - 2009, № 11. - С. 1161-1173.
3. Вайнштейн Л.А. // УФН. - 1976, № 2. - С. 339-367.
4. Бухман Н.С. // Журнал технический физики. - 2002, № 1. - С. 136-138.
5. Шварцбург А.В. // УФН. - 2007, № 1. - С. 44-58.
6. Ораевский А.Н. // УФН. - 1998, №12. - С. 1311-1321.
7. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. - М.: Наука. - 1970. - С. 39.
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1982. – С. 403.
9. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика – М: Наука. – 2004.
10. Нефедов В.И. Основы радиоэлектроники и связи. – М.: Наука. – 2002. – С. 94.
11. Хаус Х. Волны и поля в оптоэлектронике. – М.: Мир. – 1988. – С. 131.
12. Кошелев А.В. Влияние ионосферы на результаты GPS-измерений. См. статью в настоящем сборнике.
13. Басов Н.Г., Крюков П.Г., и др. ЖЭТФ. - 1966, № 2.
14. Крюков П.Г., Летохов В.С. УФН. – 1969. – Т. 99, вып. 2. – С. 173.
15. Крюков П.Г. Квант. электроника. – 2001. – № 26. – С. 95–119.
16. Reichert J et al. Opt. Commun. 1999. 172, 59.
17. Бредов М.М., Румянцев В.В., Топтыгин И.Н. Классическая электродинамика. – М.: Наука. – 1985. – С. 23.

© А.В. Кошелев, 2010

УДК 621.1.016:536.42

И.А. Козулин

НГУ, Новосибирск

В.В. Кузнецов

ИТ СО РАН, Новосибирск

СТРУКТУРА ГАЗОЖИДКОСТНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ МИНИ- И МИКРОКАНАЛАХ

В статье рассмотрен метод лазерного сканирования для изучения структуры двухфазных течений в каналах с поперечным размером порядка и меньше капиллярной постоянной. С использованием высокоскоростной фото и видеосъемки получены основные режимы восходящего адиабатного газожидкостного потока, изучены статистические параметры потока.

I.A Kozulin

Novosibirsk State University, Pirogova Ul., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

V.V. Kuznetsov

Institute of Thermophysics SB RAS, Lavrenteva Pr., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

STRUCTURE OF GAS-LIQUID FLOW IN RECTANGULAR MINI- AND MICROCHANNEL

In article is considered methods of laser scanning for studying the structure of two-phase flows in channels with transverse size of order and less than the capillary constant. Using high-speed photo and video received by the main modes of adiabatic upward gas-liquid flow, studied statistical parameters of two-phase flow.

В настоящее время наблюдается существенный рост интереса к капиллярной гидродинамике в микросистемах, вызванный развитием микроэлектроники в компьютерах, суперкомпьютерах, мощных лазерах, медицинском оборудовании, компактных теплообменниках в космических системах. Характеристики двухфазного потока в каналах малого сечения и краткий обзор выполненных работ представлен в [1]. Большинство работ по исследованию двухфазных течений в каналах малого размера посвящено определению режимов течения [2-3]. В работе [4] получены статистические характеристики снарядного течения, и их развитие по длине канала в трубах с диаметром порядка сантиметра. В то же время, статистические характеристики газо-жидкостного течения в каналах малого поперечного размера в литературе отсутствуют.

В данной работе исследуется структура вертикального восходящего газожидкостного течения и получены его статистические характеристики в прямоугольном мини- и микроканале с поперечным размером порядка и меньше капиллярной постоянной. В работе поперечные размеры миниканала составляли $1,78 \times 3,75 \text{ мм}^2$ (гидравлический диаметр 2,4 мм) длина 0,7 м, поперечные размеры микроканала $0,67 \times 2 \text{ мм}^2$ (гидравлический диаметр 1 мм) длина микроканала 0,5 м.

1. СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЯ

С использованием метода двойного лазерного сканирования и высокоскоростной фото и видеосъёмки получены основные режимы восходящего адиабатного газожидкостного потока в вертикальном мини- и микроканале. В результате проведенных экспериментов выделены следующие режимы течения: снарядно-пузырьковый, снарядный, эмульсионный и кольцевой. Режим с дискретными пузырьками в каналах не наблюдался.

Пузырьково-снарядный режим в микроканале наблюдался для приведенных скоростей газа и жидкости в диапазоне $J_{liq} = 0,51 \div 0,64$ м/с, $J_{gas} = 0,07 \div 0,84$ м/с. Структура потока была больше похожа на снарядный режим, с многочисленными короткими жидкими перемычками. На рис. 1 показана временная развертка сигнала оптических датчиков и фотографии структуры потока для пузырьково-снарядного режима течения в микроканале. При увеличении приведенной скорости в диапазоне $J_{liq} = 0,07 \div 0,38$ м/с, $J_{gas} = 0,52 \div 1,57$ м/с наблюдался снарядный режим течения, для которого характерный вид сигнала показан на рис. 2. Здесь наблюдались длинные снаряды, разделенные короткой жидкой перемычкой.

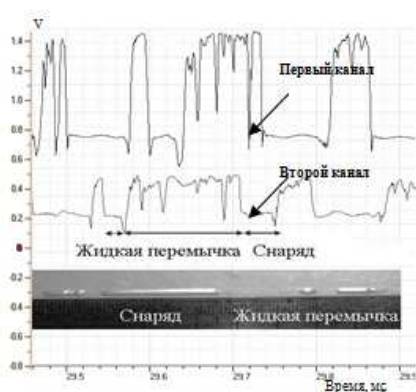


Рис. 1. Оптический сигнал с фотодиода для снарядно-пузырькового режима в микроканале при $J_{liq}=0,64$ м/с $J_{gas}=0,07$ м/с

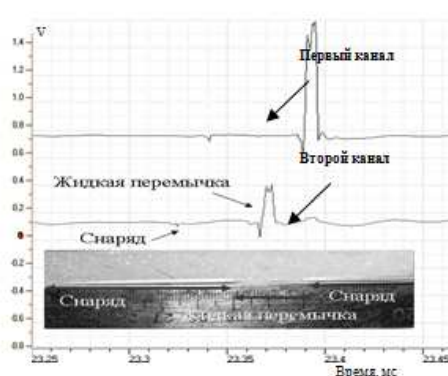


Рис. 2. Оптический сигнал с фотодиода для снарядного режима в микроканале при $J_{liq}=0,12$ м/с $J_{gas}=1,18$ м/с

В микроканале снарядно-пузырьковый режим течения показан на рис. 3. Данный режим течения наблюдается в диапазоне приведенных скоростей жидкости $J_{liq} = 0,11 \div 0,407$ м/с и газа $J_{gas} = 0,04 \div 0,31$ м/с.

В диапазоне приведенных скоростей $J_{liq} = 0,066 \div 0,407$ м/с, $J_{gas} = 0,51 \div 2,35$ м/с наблюдался снарядный режим течения, показанный на рис. 4. Снарядный режим течения отличался тем, что наблюдались длинные газовые снаряды, разделенные короткой жидкой перемычкой, размер которой меньше или равен газовым перемычкам. В микроканале снарядное течение характеризуется периодичностью и отсутствием значительного количества мелких пузырьков за снарядом.

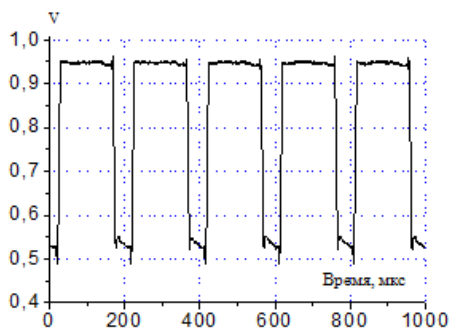


Рис. 3. Оптический сигнал с фотодиода для снарядно-пузырькового режима в микроканале при $J_{\text{л}}=0,17 \text{ м/с}$, $J_{\text{г}}=0,16 \text{ м/с}$

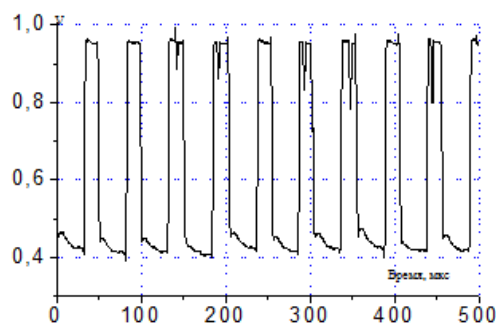


Рис. 4. Оптический сигнал с фотодиода для снарядного режима в микроканале при $J_{\text{л}}=0,27 \text{ м/с}$, $J_{\text{г}}=0,61 \text{ м/с}$

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОТОКА

На рис. 5, 6 показана зависимость скорости снаряда U_b от приведенной скорости смеси J_m для мини- и микроканала соответственно. Опытные данные, полученные с использованием двойного лазерного сканирования потока, показаны точками. Оптический метод позволил зафиксировать скорость газового снаряда и жидкой пробки. Обработка данных для скорости всплытия снарядов в виде $U_b = C_0 \cdot J_m + U_{b\text{free}}$ для снарядного режима показала, что величина коэффициента $C_0=1,67$ для миниканала, выше, чем в работе [5]. Для микроканала параметр распределения $C_0=1,2$, что хорошо согласуется с данными [6].

Была проведена статистическая обработка данных по скорости всплытия снарядов и их длине. Измерения статистических параметров проводились для снарядно-пузырькового и снарядного режимов течения.

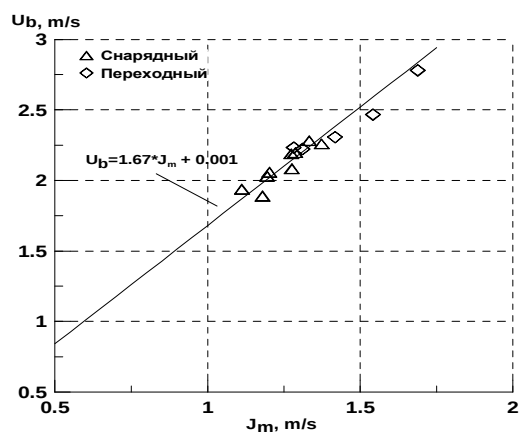


Рис. 5. Скорость снаряда от приведённой скорости смеси в прямоугольном миниканале $1,75 \times 3,8 \text{ мм}^2$ ($\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$)

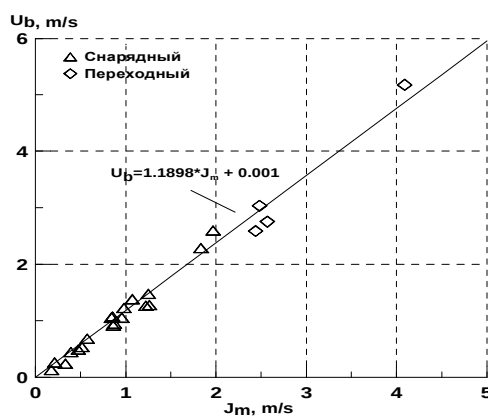


Рис. 6. Скорость снаряда от приведённой скорости смеси в прямоугольном микроканале $0,67 \times 2,0 \text{ мм}^2$

Статистические характеристики движения жидкой и газовой фаз получены в микроканале на двух расстояниях от входа в камеру смешивания $x_1/D = 199$ и

$x_2/D = 256$, где x – расстояние от камеры смешивания до оптического приемника лазерного излучения, D – гидравлический диаметр канала.

На рис. 7, 8 показаны гистограммы распределения скорости для заданного режима течения в мини- и микроканале.

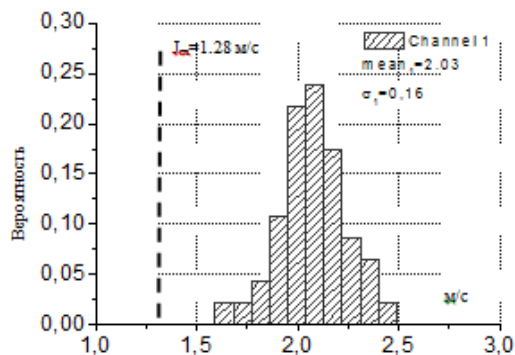


Рис. 7. Гистограмма распределения скорости снаряда в миниканале для снарядного режима течения при скоростях потока $J_{liq}=0,091$ м/с и $J_{gas}=1,19$ м/с

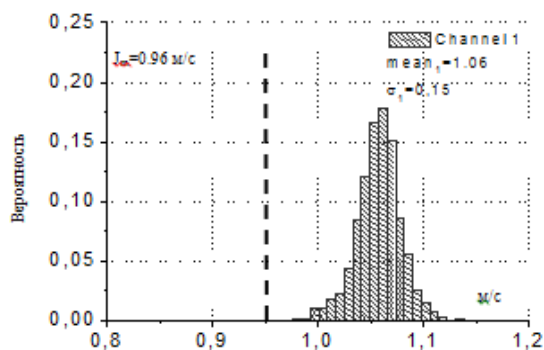


Рис. 8. Гистограмма распределения скорости снаряда в микроканале для снарядного режима течения при скоростях потока $J_{liq}=0,17$ м/с и $J_{gas}=0,79$ м/с

КАРТА РЕЖИМОВ ТЕЧЕНИЯ

На рис. 9, 10 показаны карты режимов течения для мини- и микроканала, полученные с использованием метода лазерного сканирования потока. Сплошные линии соответствуют расчету по модели Mishima&Ishii [7]. Представлены следующие режимы течения: B-S - снарядно-пузырьковый, S - снарядный, C - вспененный, A-кольцевой, A-W - дисперсно-кольцевой. Границы режимов, в целом, соответствуют расчету по модели Mishima&Ishii.

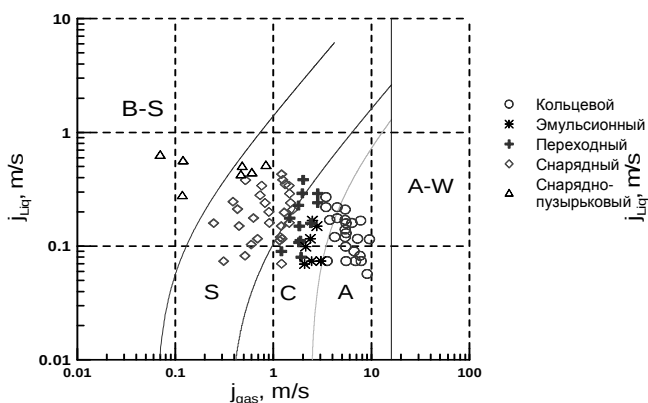


Рис. 9. Карта режимов течения для миниканала

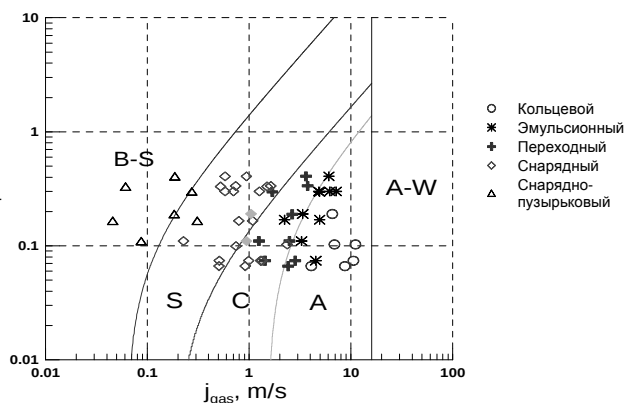


Рис. 10. Карта режимов течения для микроканала

ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЯ

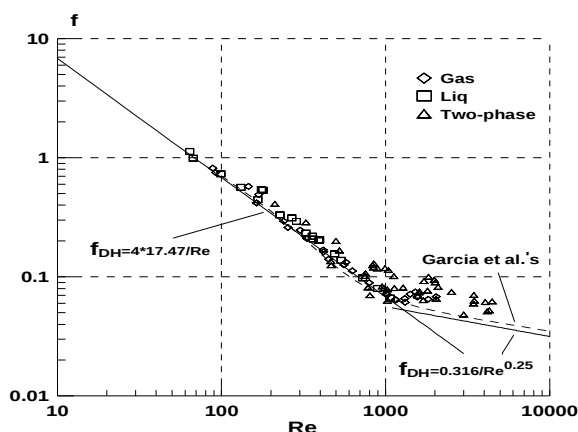


Рис. 11. Перепад давления для микроканала $0,67 \times 2 \text{ мм}^2$

На рис. 11 представлена зависимость перепада давления от числа Рейнольдса для однофазного течения жидкости, газа и газожидкостного течения в микроканале. Видно, что экспериментальные данные для однофазного потока хорошо согласуются с расчетами для ламинарного [8] и турбулентного режимов течения. Экспериментальные данные для газожидкостного течения обработаны в рамках гомогенной модели [9, 10]. Получено, что в области турбулентного течения экспериментальные данные лежат существенно выше расчета по

гомогенной модели, данные эксперимента превышают расчет до 2 раз. Для турбулентного течения модель [11] лучше соответствует данным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе изучена структура адиабатного восходящего газожидкостного потока в вертикальном мини- и микроканале. Использование метода двухлучевого лазерного сканирования позволило определить основные режимы газожидкостного течения. Выделены снарядно-пузырьковый, снарядный, переходный, эмульсионный, кольцевой режимы течения, определены их границы. Построены карты режимов течения для мини и микроканала, получено, что границы режимов, в целом, соответствуют расчету по модели Mishima&Ishii. Получено, что в микроканале снарядное течение характеризуется периодичностью и отсутствием значительного количества мелких пузырьков за снарядом. Экспериментально определена зависимость скорости движения снаряда от приведенной скорости смеси для мини и микроканала. Для снарядно-пузырькового и снарядного режимов течения получены статистические параметры потока, включающие распределения скоростей снарядов, длин жидких перемычек и газовых снарядов. Для микроканала измерен перепад давления для однофазного и двухфазного течения, данные для однофазного течения хорошо согласуются с расчетом по известным моделям. Для газожидкостного турбулентного течения экспериментальные данные лежат выше расчета по гомогенной модели, модель, предложенная Garcia et al [11], лучше соответствует данным эксперимента.

Работа выполнена при частичной поддержке: РФФИ, грант № 08-08-00953а.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sarisorn S., Wongwises S. A review of two-phase gas-liquid adiabatic flow characteristics in micro-channels // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. -2008. –V. 12. - P. 824-838.
2. Barnea D., Luninsky Y., Taitel Y. Flow pattern in horizontal and vertical two phase flow in small diameter pipes // *Can. J. Chem. Eng.* – 1983. - V. 61. - P. 617-620.
3. Suo M., Griffith P. Two-phase flow in capillary tubes // *J. Basic Engineering*. 1984, P. 576-582.
4. Van Hout R., Barneer D., Shemer L. Evolution of statistical parameters of gas-liquid slug flow along vertical pipes // *Int. J. of Multiphase Flow*. -2001. -V. 27. -No. 9. - P. 1579-1602.
5. Nicklin D.J., Davidson J.F. Paper №4, Two-phase Flow Symp., Inst. Mech. Engrs, London. - 1962.
6. Sowinski J., Dziubinski M., Fidos H. Velocity and gas void fraction in two-phase liquid-gas flow in narrow mini-channels // *Arch. Mech.* – 2009. -61.1. - P. 29-40.
7. Mishima K., Ishii M. Flow regime transition criteria for upward two-phase flow in vertical tubes // *Int. J. Heat and Mass Transfer*, - 1984. - V. 27. - №5. -P. 723-738.
8. Shah R.K., London A.L. Laminar Flow Forced Convection in Ducts // Supplement 1 to *Advances in Heat Transfer*. – 1978. Academic, New York.
9. Ungar E.K. and Cornwell J. D. Two-Phase Pressure Drop of Ammonia in Small Diameter Horizontal Tubes // *Proc. AIAA 17th Aerospace Ground Testing Conf.* Nashville, TN. – 2002. -July 6-8.
10. Triplett K. A., Ghiaasiaan S. M., Abdel-Khalik S. I., LeMouel A. Gas-Liquid Two-Phase Flow in Microchannels. Part II: Void Fraction and Pressure Drop // *Int. J. Multiphase Flow*. – 1999. – V. 25. – P. 395–410.
11. Garcia F., Garcia R., Padrino J.C, Power Law and Composite Power Law friction factor correlations for Laminar and Turbulent Gas-Liquid Flow in Horizontal Pipelines // *Int. J. Multiphase Flow*. – 2003. – V. 29. – P. 1605-1624.

© И.А. Козулин, В.В Кузнецов, 2010

ТЕПЛООБМЕН ПРИ КИПЕНИИ ХЛАДОНОВ В МИКРОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ

В статье приводятся данные экспериментального исследования теплоотдачи при кипении хладона 21 в микроканальном теплообменнике. Проведено сравнение полученных данных с известными моделями теплообмена при кипении жидкости в каналах малого размера и предложена модификация методики расчёта теплоотдачи.

A.S. Shamirzaev, S.P. Kozlov, V.V. Kuznetsov
IT SB RAS, Novosibirsk

FLOW BOILING HEAT TRANSFER IN MICROCHANNEL HEAT SINK

In article the data of experimental investigation of refrigerant 21 flow boiling heat transfer in microchannel heat sink is described. A comparison of experimental data with known models of heat transfer during liquid flow boiling in small size channel was done. The modification of models for calculation heat transfer at liquid flow boiling was offered.

Теплоотдача при кипении движущейся жидкости в микроканалах широко исследуется в связи с высокой эффективностью микроканальных систем для охлаждения электронных компонентов и компактных теплонагруженных элементов. Несмотря на значительное число работ, выполненных в области кипения движущейся жидкости в каналах малого размера, данные экспериментальных исследований достаточно противоречивы. Так, например, в работе [1] получено, что в микроканалах преобладающим механизмом теплообмена является кипение, коэффициенты теплоотдачи зависят, в основном, от теплового потока и давления и слабо зависят от паросодержания. В то же время в работе [3] показано, что для миниканальных систем вклад пузырькового кипения в теплоотдачу не является определяющим, коэффициенты теплоотдачи растут с ростом скорости и паросодержания, а влияние теплового потока мало. В работах [2,4] предложены методы определения доминирующего механизма теплоотдачи и предложены методы расчёта теплоотдачи. Следует заметить, что в настоящий момент отсутствует универсальная модель теплообмена в микроканальных системах.

В данной работе первоочередной задачей является исследование теплоотдачи при кипении восходящего потока хладона 21 в микроканальной пластине охладителя в зависимости от теплового потока и паросодержания потока. Пластина имеет 10 каналов длиной 120 мм с размером $0,64 \times 2,05 \text{ мм}^2$. Микроканальные пластины являются наиболее перспективными элементами теплообменных устройств. Использование хладонов позволяет значительно расширить температурный диапазон охлаждения в таких системах.

Испаритель, установленный перед измерительной секцией, позволил получать экспериментальные данные в широком диапазоне паросодержаний независимо от теплового потока. Так же обсуждается применимость существующих корреляций для расчёта теплоотдачи в микроканальных охладителях.

Методика эксперимента и экспериментальная установка подробно описано в [5]. В отличие от кипения воды [1], [5] вход недогретого потока хладона 21 не влияет на распределение теплового потока по длине теплообменника. Коэффициенты теплоотдачи при кипении хладонов ниже, чем на воде, увеличение теплоотдачи при кипении слабо недогретой жидкости приводит к перераспределению тепловых потоков вдоль ребра, и коэффициент теплопередачи меняется слабо. Сильная неравномерность возникает только в случае полного испарения жидкости. В этом случае, когда однофазный теплообмен ниже, чем теплоотдача к двухфазному потоку, коэффициенты теплопередачи существенно падают. Это приводит к неравномерности теплового потока вдоль теплообменника. Поскольку нержавеющая сталь имеет низкую теплопроводность, неравномерность теплового потока влияет только на область вблизи полного осушения и не распространяется далеко вверх по потоку. Примеры распределения теплового потока по длине теплообменника показаны на рис. 1.

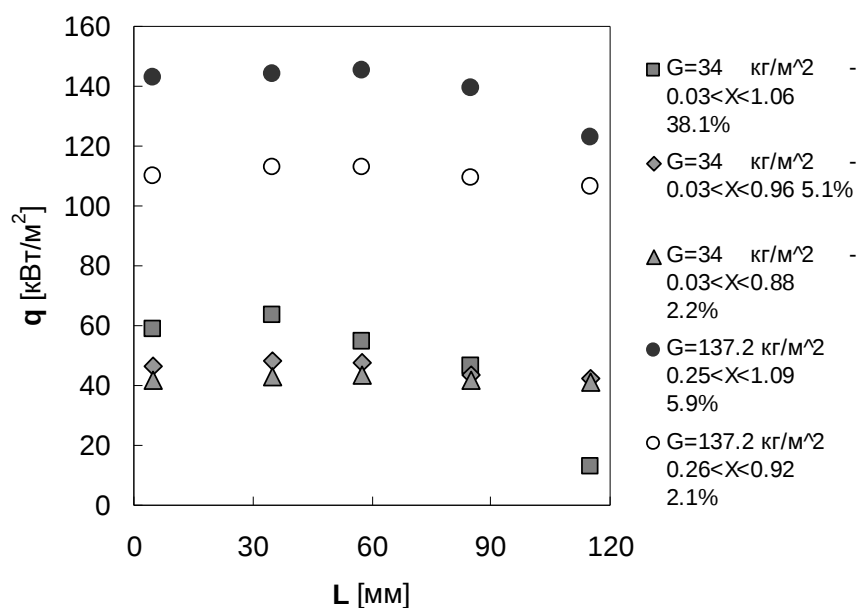


Рис. 1. Распределение теплового потока по длине микроканального теплообменника при различных нагрузках и массовых расходах

Экспериментальные данные, представленные в [3] показали, что модель из [2] и модель из [6] с учётом рекомендаций, данных в [3] хорошо описывают экспериментальные данные при кипении хладона 21 в канале размером $1,6 \times 6,3$ мм² при массовом расходе выше 200 кг/м²с. При уменьшении массового расхода наблюдается значительное превышение измеренных коэффициентов теплоотдачи по сравнению с расчетом для всех рассмотренных моделей.

Причиной этого может быть смена режима теплообмена при изменении соотношения капиллярного давления на масштабе размера канала и динамического напора. На рис. 2 приведена зависимость отношения измеренного коэффициента теплоотдачи к расчету по модифицированной модели Лиу Винтертона для хладонов R21, и R132a, полученных при кипении в трубке диаметром 2,06 мм. Линией на рис. 2 показана аппроксимирующая зависимость для фактора стесненности

$$\Psi_{con} = 1 + 1.2 / \exp(0.8 \cdot We^{0.35}) \quad (1)$$

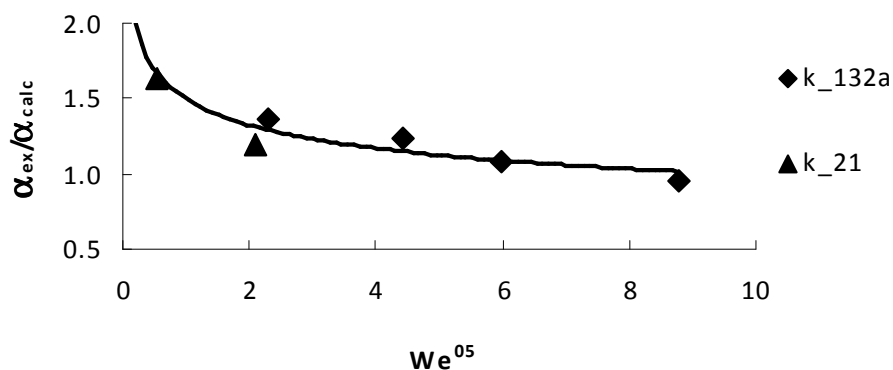


Рис. 2. Экспериментальные значения теплоотдачи, отнесённые к расчёту по модели Лиу Винтертона модифицированному в [2] в зависимости от числа Вебера

Использование фактора стесненности (1) в модели Лиу Винтертона как множителя коэффициента в факторе подавления кипения позволяет повысить точность расчета теплообмена при кипении.

На рис. 3 показана зависимость локальных значений коэффициента теплоотдачи при кипении восходящего хладона 21 в исследованной микроканальной пластине при массовом расходе 171,6 кг/м²с. Вертикальными толстыми линиями показаны переходы между режимами течения: от пузырькового к снарядному и переходному и от переходного к кольцевому режимам. Переходы определены по модели из работы [7].

Для пузырькового режима течения теплоотдача возрастает с ростом теплового потока. Преобладающим механизмом теплообмена является пузырьковое кипение. В снарядном и переходном режимах теплоотдача возрастает вплоть до значения теплового потока равного 113 кВт/м², при больших значениях теплового потока наступает насыщение и рост теплоотдачи прекращается. Для переходного режима локальные коэффициенты теплопередачи слабо зависят от паросодержания. При переходе к кольцевому режиму течения коэффициенты теплопередачи уменьшаются с ростом паросодержания. Это указывает на подавление кипения в плёнке жидкости при кольцевом режиме течения. В работе [4] предложен критерий определения подавления кипения в плёнке, как отношение толщины теплового подслоя в турбулентной плёнке к диаметру каверны активного центра парообразования.

Для вертикального потока, когда это отношение становится меньше 2, кипение полностью подавляется. На рис. 3 штрихованной линией показан численный расчёт по модели из [2], сплошной по модифицированной в [3] модели Лиу и Винтертона с учётом фактора стеснённости (1), расчёт с учётом подавления кипения показан чёрными ромбами. Расчёты проведены для режима с тепловым потоком равным 113 кВт/м^2 . При численном моделировании расчёты проводились в элементе симметрии реального теплообменника.

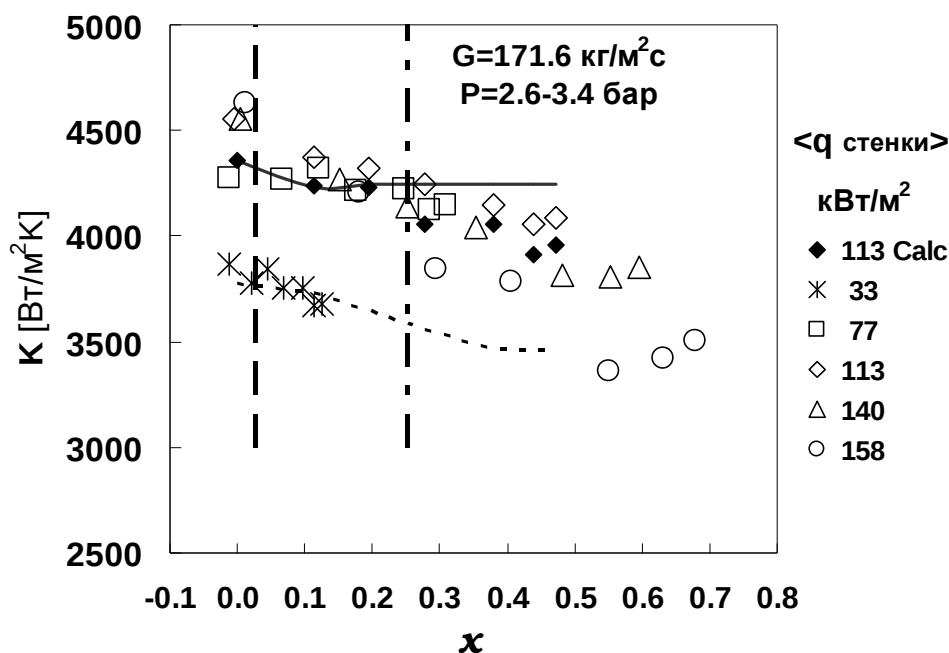


Рис. 3. Зависимость локальных значений теплопередачи от паросодержания при кипении восходящего потока хладона 21 в микроканальной пластине

Различные модели теплообмена могут давать близкие значения коэффициента теплопередачи в месте расположения термодар на теплообменной поверхности, в то же время поле температур в целом будет различаться. Для определения наилучшей модели теплообмена производился расчёт поля температур в элементе симметрии реального теплообменника для различных граничных условий. Пример полученного поля температур приведён на рис. 4. Расчёты проводились в следующих предположениях: постоянства теплоотдачи по периметру канала; распределения теплоотдачи по модифицированной модели Лиу Винтертона с учётом фактора стеснённости (1); распределения теплоотдачи по модифицированной модели Лиу Винтертона с учётом фактора стеснённости (1) и учётом подавления кипения в плёнке при кольцевом режиме течения. Наилучшее соответствие экспериментальным значениям температуры, измеренным на «холодной» стороне теплообменной пластины, показал расчёт с наибольшим количеством учитываемых параметров.

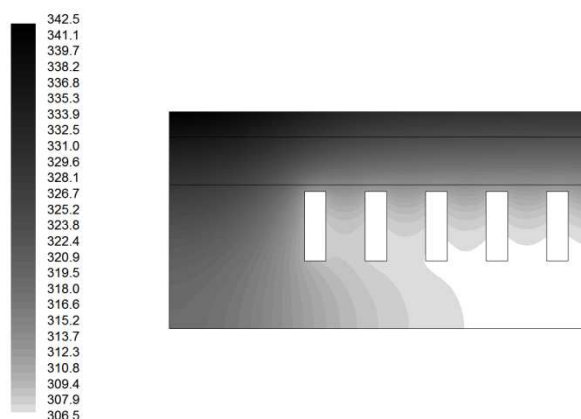


Рис. 4. Поле температур в элементе симметрии микроканального охладителя. Граничные условия по модели Лиу Винтертона с учётом фактора стеснённости (1). Температура насыщения 303 К

Таким образом, чем большее количество факторов влияющих на теплообмен при кипении двухфазных потоков будет учтено, тем более лучшее соответствие расчёта с экспериментом будет получено. Для построения модели теплоотдачи необходимо понимание всех физических процессов, протекающих при кипении потоков в каналах малого размера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Steinke M.E., Kandlikar S.G. An Experimental Investigation of Flow Boiling Characteristics of Water in Parallel Microchannels, *Journal of Heat Transfer*. 2004. V.126, pp. 518-526.
2. Kandlikar S.G. Similarities and Differences Between Flow Boiling in Microchannels and Pool Boiling, *Heat Transfer Engineering*. 2010. V.31, pp. 159-167.
3. Kuznetsov V.V., Shamirzaev A.S. Boiling heat transfer for freon R21 in rectangular minichannel, *Heat Transfer Engineering*. 2007a. V. 28, pp. 738–745.
4. Kuznetsov V.V, Shamirzaev A.S. Flow boiling heat transfer mechanism in minichannels, in: *Proceedings of the 5th International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels ICNMM2007-30210*. 2007b.
5. Kuznetsov V.V., Shamirzaev A.S. Flow boiling heat transfer in two-phase micro channel heat sink at low water mass flux // *Microgravity Sci. Technology*. 2009. V. 21, pp. 305-311.
6. Liu Z., Winterton R.H.S. A general correlation for saturated and subcooled flow boiling in tubes and annuli, based on a nucleate pool boiling equation, *Int. J. Heat and Mass Transfer*. 1991. V.34, pp. 2759-2766.
7. Taitel Y., Barnea D., Dukler A.E. Modeling flow pattern transition for steady upward gas-liquid flow in vertical tubes, *AIChE J.* 1980. V.26, pp. 345-354.

© А.С. Шамирзаев, С.П. Козлов, В.В. Кузнецов, 2010

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ»

В данной работе описывается применение программы Electronics Workbench для преподавания курса: «Основы электротехники и электроники». Предлагается использовать программу для проведения лабораторных работ и тестирования качества знаний студентов. Этот подход повышает качество усвоения материала студентами. Он является инструментом для самостоятельной проверки результатов. Использование программы закрепляет основные навыки расчётов электрических схем. В работе представлен блок из шести лабораторных работ. Приводится описание одной из них. Авторы считают, что применение программы Electronics Workbench в процессе преподавания курса: «Основы электротехники и электроники» значительно улучшает качество усвоения материала. Важным являются: доступная форма представления материала и возможность самостоятельного выполнения работ на домашнем компьютере. Преподаватель может быстро тестировать знания и навыки студентов. Если лабораторная база хорошая, то авторы предлагают проводить работы на стендах. Потом повторить на персональных компьютерах с применением программы Electronics Workbench. В этом случае происходит более глубокое усвоение материала.

N.V. Zarzhetskaja, M.F. Noskov

SSGA, Novosibirsk

COMPUTER OF TESTING ON DISCIPLINE “BASES ELECTRICAL ENGINEERS AND ELECTRONICS”

In the given work application of program Electronics Workbench for teaching a rate is described: « Bases electrical engineers and electronics ». It is offered to use the program for carrying out of laboratory works and testing's of quality of knowledge of students. This approach raises quality of mastering of material students. It is the tool for independent check of results. Use of the program fixes the basic skills of calculations of electric circuits. In work the block from six laboratory works is submitted. The description of one of them is resulted. Authors consider that application of program Electronics Workbench during teaching a rate: « Bases electrical engineers and electronics » considerably are improved with quality of mastering of a material. Important are: the accessible form of representation of a material and an opportunity of independent performance of works on a domestic computer. The teacher can quickly test knowledge and skills of students. If laboratory base good authors suggest to carry out works at stands. Then to repeat on personal computers with application of program Electronics Workbench. In this case there is deeper mastering a material.

In work application of program Electronics Workbench for teaching a rate is described: « Bases electrical engineers and electronics ». Electronics Workbench it is used for carrying out of laboratory works and quality check of knowledge of students.

The purposes of application of computer programs for carrying out of laboratory works:

1. Simplification of recognition of a material and improvement of quality of storing.

2. Simplification of independent work of students at the decision of practical tasks.
3. Creation of the convenient tool for self-checking knowledge.
4. Increase in number of practical tasks which fix the basic skills in an investigated subject.

This approach is very important at work of the teacher in branches and branches of Academy where there is no good laboratory base. Earlier in this case teaching of a rate has consisted of lecturing and the decision of problems. This limited representation of a subject did not give full understanding. [3]. Authors describe carrying out of laboratory works on computers. The block of laboratory works on six basic themes is developed. [1].

1. Calculation of an electric circuit of a direct current with one power supply.
2. Research of the ramified linear circuit of a direct current.
3. Research of nonlinear circuits of a direct current.
4. Research of loading characteristics of the transformer.
5. Research of a consecutive oscillatory contour.
6. Research of the amplifier of low frequencies.

Each work allows to study completely properties and characteristics of researched objects. Students receive practical acknowledgement of base laws and fix necessary skills.

The equipment necessary for performance of laboratory works:

1. A personal computer.
2. The researched electric circuit.
3. Program Electronics Workbench.

Example.

Laboratory work 1: « Calculation of an electric circuit of a direct current with one power supply. (the Method of equivalent replacement) ». [2].

For research the circuit of an electric circuit represented on fig. 1 is offered.

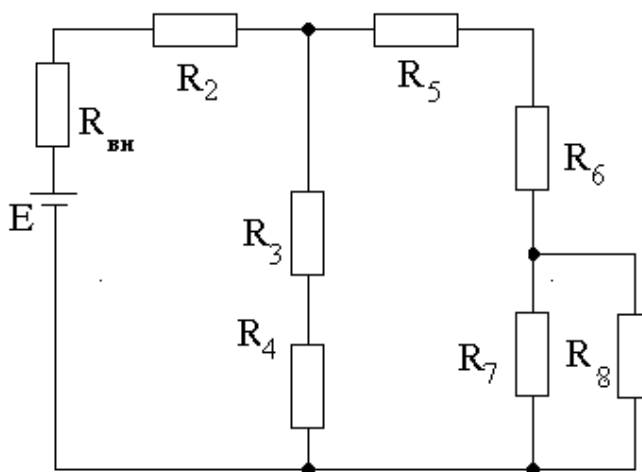


Fig. 1

Values E , R_{BH} , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 , R_6 , R_7 are set according to a variant.

Performance of work.

Stage 1: calculation of a circuit by a method of curtailing of the electric circuit to equivalent resistance R_{Σ} is carried out (using rules of equivalent replacement for resistance of consecutive and parallel connection of elements). Then, currents and pressure on all sites of a circuit (all I_i and U_i) pay off. (For this purpose are applied the law of the Ohm to an active site of a circuit and laws Kirchhof). The received results will be worn out in Table 1.

Table 1. The table of the initial data and results

The initial data			The received results		
E					
R_{BH}		i	I_i	U_i	$P_i = U_i I_i$
R_2		2			
R_3		3			
R_4		4			
R_5		5			
R_6		6			
R_7		7			
R_8		8			

Stage 2: the researched electric circuit (fig. 1) with the help of program Electronics Workbench Is modeled. Measurements of values of force of a current on each site of a circuit are made. It allows to check up the results received at calculations.

During performance of the given laboratory work students master skill of calculation of electric circuits of a direct current. Thus they receive an opportunity instantly to test the received results. The described approach allows to be convinced evidently of performance of laws Кирхгофа and the law of the Ohm for an active site of a circuit.

Authors consider, that application of program Electronics Workbench during teaching a rate « electrical engineers and electronics » improves Bases of mastering of a subject by students. This is promoted by the accessible form of representation of a material and a wide opportunity of independent performance of works on a domestic computer. There is an opportunity of fast testing of knowledge of students the teacher.

At good laboratory base it is recommended works in parallel: at working stands and personal computers with application of program Electronics Workbench. There is deeper mastering a material, due to application of a principle of sequence. (It is one of main principles of the system approach in teaching). It provides to base a statement of a taught rate materials of the disciplines investigated earlier, and as from the disciplines investigated in parallel. This question was earlier consecrated in work [4].

The literature:

1. Kasatkin A.S. Bas electrical engineers. M.Energija, 1976.
2. Матуско V.N.General of the electrical engineer. Novosibirsk, SSGA, 2002г.

3. Noskov M.F. Experience's socks of application of program Electronics Workbench in teaching a rate «General the electrical engineer» to students SSGA. Novosibirsk, SSGA, 2010 г.

4. Zarzhetskaja N.V., Koshelev A.V., Application of the system approach in the organization of teaching of a rate « the Electrical engineer and electronics ». Novosibirsk, SSGA, 2010 г.

© Н.В. Заржецкая, М.Ф. Носков, 2010

КРАЕВОЙ ЭФФЕКТ В ФИЛЬТРАХ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ НАРУШЕННОЕ ПОЛНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ОТРАЖЕНИЕ

Целью статьи является анализ прохождения электромагнитных волн в фильтре терагерцового диапазона, использующем эффект нарушенного полного внутреннего отражения и влияние краевого эффекта на спектральные характеристики фильтра.

A.S. Syrneva
SSGA, Novosibirsk

REGIONAL EFFECT IN OF TERAHERTZ RADIATION FILTERS USING THE EFFECT OF BROKEN TOTAL INTERNAL REFLECTION

Article purpose is the analysis of passage of the electromagnetic radiation filter that works in the terahertz range of the spectrum using the frustrated total internal reflection phenomenon and influence of regional effect on filter spectral characteristics.

Целью статьи является анализ прохождения электромагнитных волн в фильтре терагерцового диапазона, использующем эффект нарушенного полного внутреннего отражения и влияние краевого эффекта на спектральные характеристики фильтра.

В работе [1] представлена теория узкополосных светофильтров, в которых используется нарушенное полное внутреннее отражение. Зеркалами в таких фильтрах служат тонкие диэлектрические слои, на границе с которыми наблюдается полное внутреннее отражение. Ограничивающие среды в таком фильтре оформляются в виде стеклянных призм, между которыми находится плоско-слоистая структура. В простейшем случае структура содержит три прозрачных слоя. Крайние слои являются зеркалами, на границах с которыми наблюдается эффект нарушенного полного отражения (рис. 1).

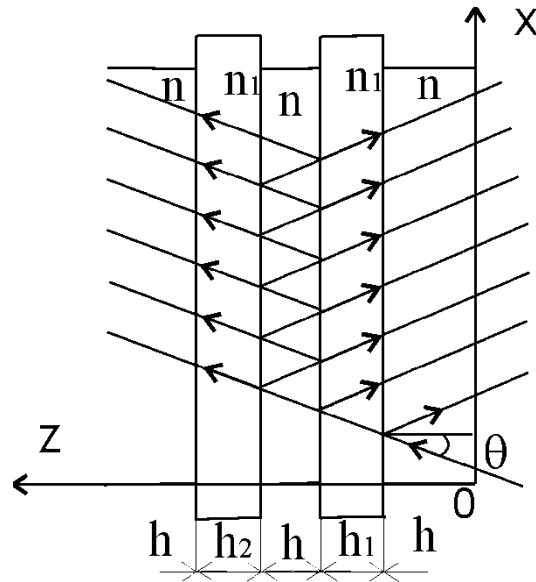


Рис. 1. Схема фильтра с нарушенным полным внутренним отражением

Поскольку все слои в фильтре с нарушенным полным внутренним отражением являются прозрачными, то теоретически, коэффициент пропускания фильтра в максимуме должен быть равен единице. Очевидно, что полоса пропускания будет тем уже, чем больше коэффициент отражения R фильтра и чем меньше коэффициент пропускания D . Это означает, что чем толще полноотражающие слои, тем уже должна быть полоса пропускания.

В работе [1] проведен анализ прохождения излучения через оптический фильтр, использующий эффект нарушенного полного внутреннего отражения и получено выражение для ширины полосы пропускания фильтра:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \left| \frac{\sin \zeta \cos v}{\alpha \operatorname{sh} 2\gamma} \right|, \quad (1)$$

где γ – набег фазы волны на зазоре h_1 (рис. 1), ζ – изменение фазы при полном внутреннем отражении, α – набег фазы при прохождении лучом средней пластины, v – изменение фазы волны на границе между пластиной и зазором, вычисляется из формулы: $\operatorname{tg} v = \operatorname{th} \gamma \operatorname{tg} \zeta$. Величины γ и α равны

$$\gamma = k h_1 \sqrt{n^2 \sin^2 \theta - n_1^2}, \quad \alpha = k n h \cos \theta,$$

где h_1 – величина зазора, n_1 – показатель преломления среды в зазоре, n – показатель преломления средней пластины, h – толщина средней пластины, k – волновое число, θ – угол падения волны.

Для различных поляризаций излучения величина ζ различна:

$$\operatorname{tg} \frac{\zeta_{\parallel}}{2} = \operatorname{sh} 2\beta / \sin 2\theta, \quad \operatorname{tg} \frac{\zeta_{\perp}}{2} = \operatorname{th} \beta \tan \theta,$$

где $\operatorname{ch} \beta = n \sin \theta$, а θ – угол падения волны.

Коэффициент отражения для резонансной длины волны равен:

$$R_1 / D_1 = sh^2 2\gamma / (\sin^2 \zeta \cdot \cos^2 \nu_1) , \quad (2)$$

где R_1 и D_1 – коэффициенты отражения и пропускания фильтра по модели [1], причем $D_1 = 1 - R_1$, ν_1 – изменение фазы волны на границе между пластиной и зазором.

На практике наблюдается значительное ухудшение прозрачности фильтра при увеличении толщины полноотражающих слоев.

Предполагается, что возможной причиной непрозрачности в плоско-слоистых системах, включающих тонкие полноотражающие прослойки может быть краевой эффект, резко ограничивающий пропускание при увеличении толщины полноотражающих слоев выше некоторого предела.

В работе [2] показано, что на процесс прохождения электромагнитных волн через плоско-слоистые диэлектрические системы, включающие тонкие полноотражающие прослойки, существенно влияет величина геометрических размеров системы. Установлено, что для увеличения разрешающей способности и добротности подобных систем необходимо резко увеличивать геометрические размеры.

При наклонном падении волн на плоско-слоистую ограниченную систему сред имеет место своеобразный дифракционный эффект, связанный с резонансным накоплением волн внутри слоистой системы. Длина, определяющая расстояние вдоль слоев системы, на котором этот эффект заметен, называется в работе [2] длиной резонансной дифракции l_0 и определяется формулой:

$$l_0 \sim \operatorname{tg} \theta \cdot h \cdot e^{2 \cdot q_z \cdot h_1} , \quad (3)$$

где θ – угол падения волны, h – толщина средней пластины, h_1 – толщина воздушного зазора, q_z – величина мнимой части волны внутри воздушного зазора (рис. 1). Величина q_z равна

$$q_z = \sqrt{k_x^2 - (n_1 \cdot \omega / c)^2} , \quad (4)$$

где k_x – проекция волнового вектора k на ось x , n_1 – показатель преломления среды в зазорах.

Для определения ширины пропускания в работе [2] был введен безразмерный действительный параметр $|\varepsilon| \ll 1$, равный: $|\varepsilon| = (k_z h) - (k_z h)_{\text{рез}}$.

После преобразований:

$$\varepsilon = \left(2\pi n \cdot \cos \theta / \lambda_{\text{рез}} \right) \cdot \left(\Delta \lambda / \lambda_{\text{рез}} \right) ,$$

где $\lambda_{\text{рез}}$ – резонансная длина волны, n – показатель преломления средней пластины.

В работе [2] рассматриваются отдельно два крайних случая:

а) Если линейный размер основания призмы L много больше длины резонансной дифракции l_0 , то ширина полосы пропускания определяется выражением:

$$\Delta\lambda/\lambda = \sqrt{3} \left((2 \cdot q_z \cdot k_z) / (q_z^2 + k_z^2) \right)^2 \cdot \exp(-2 \cdot q_z \cdot h_1) \cdot \lambda_{(рез)} / 2\pi n \cdot \cos\theta, \quad (5)$$

причем,

$$k_x^2 + k_z^2 = (n \omega / c)^2.$$

б) Если, наоборот, L много меньше l_0 , то ширина полосы пропускания равна:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \alpha \cdot \frac{2k_x}{k_z} \cdot \frac{h + 2/q_z}{L} \cdot \frac{\lambda_{(рез)}}{2\pi n \cdot \cos\theta}, \quad (6)$$

где α – некоторый (порядка единицы) числовой коэффициент, зависящий от значения показателя преломления сред и угла падения волн.

Коэффициент отражения волн от резонатора в [2] определяется формулой:

$$R(\varepsilon, x) = \left[\int_0^L (1 - 2 \exp(-x/l_0))^2 dx \right] / L. \quad (7)$$

Ниже рассматриваются два фильтра с нарушенным полным внутренним отражением для терагерцового диапазона излучения. В первом фильтре используются кремниевые призмы и пластинки, а во втором – полипропиленовые призмы и пластинки (рис. 1).

В табл. 1 приведены результаты расчета по модели [1] и модели [2] разрешающей способности $\Delta\lambda/\lambda$ и пропускания D этих фильтров в зависимости от угла падения излучения и величины воздушного зазора. При расчетах использовались выражения (1), (2), (5) – (7). Угол θ_0 полного внутреннего отражения для кремния (Si) принимался равным $\theta_0 = 17^\circ$, для полипропилена (PP) – $\theta_0 = 41,8^\circ$.

Таблица 1. Результаты расчета разрешающей способности и пропускания

	$\Delta\lambda/\lambda$ [1]				$\Delta\lambda/\lambda$ [2]					
	$\lambda = 100$ мкм				$\lambda = 100$ мкм					
h_1 , мкм	$\Delta\lambda/\lambda$, PP	D, PP	$\Delta\lambda/\lambda$, Si	D, Si	$\Delta\lambda/\lambda$, PP	l_0 , PP, мкм	D, PP	$\Delta\lambda/\lambda$, Si	l_0 , Si, мкм	D, Si
	$\theta = \theta_0 + 1^\circ$									
	$h = 51,36$ мкм		$h = 16,43$ мкм		$h = 51,36$ мкм			$h = 16,43$ мкм		
$3\lambda/4$	0,014	1	10^{-3}	1	0,47	$3 \cdot 10^2$	0,97	0,1	$1,3 \cdot 10^2$	0,97
λ	0,007	1	$4 \cdot 10^{-4}$	1	0,25	$5,6 \cdot 10^2$	0,95	0,04	$4 \cdot 10^2$	0,92
$5\lambda/4$	0,003	1	10^{-4}	1	0,13	10^3	0,91	0,01	10^3	0,77

	$\theta = \theta_0 + 5^0$									
	$h = 61,35 \text{ мкм}$		$h = 18,25 \text{ мкм}$		$h = 61,35 \text{ мкм}$			$h = 18,25 \text{ мкм}$		
$3\lambda/4$	0,004	1	$6,5 \cdot 10^{-5}$	1	0,2	$4,2 \cdot 10^3$	0,68	0,2	$1,4 \cdot 10^4$	0,28

Из результатов расчетов видна разница в полученных по рассматриваемым моделям значений разрешения и пропускания фильтра. При малых значениях параметра l_0 , характеризующего краевой эффект, пропускание по обеим моделям почти одинаково, однако разрешение по модели [2] хуже в ~ 100 раз для кремния и ~ 40 раз для полипропилена, но изменяются эти параметры с изменением полноотражающего зазора h пропорционально, независимо от изменения l_0 . При увеличении угла падения до значения большего на 5^0 , чем угол полного внутреннего отражения, разрешение фильтров, рассчитанное по модели [1], только улучшается. Расчет по модели [2] приводит к меньшим значениям пропускания фильтров (табл. 1) и к существенно низким значениям разрешающей способности даже при небольшой величине зазора.

Наши предварительные экспериментальные данные свидетельствуют в пользу модели [2], хотя остается неясным вопрос о разнице результатов по моделям [1] и [2] при параметрах фильтров, исключая влияние краевого эффекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кард, П.Г. Анализ и синтез многослойных интерференционных пленок / П.Г. Кард. – Таллин.: Валгус, 1971. – 233 с.
2. Иогансен Л.В. Резонансная дифракция волн в слоисто-неоднородных средах / Л.В. Иогансен // ЖТФ. – Москва: Наука, 1961 – Т.40., вып. 6 – С.1839-1843.
3. Чесноков, В.В. Расчетные характеристики узкополосного фильтра терагерцового диапазона спектра / В.В. Чесноков, Е.Н. Чесноков, А.С. Сырнева. // Сб. матер. III Междунар. конгр. «ГЕО-Сибирь-2007». – Новосибирск, 2007 – Т.4., ч.1. – С.214-220.

© А.С. Сырнева, 2010

РАЗРАБОТКА СТАНДАРТА ОРГАНИЗАЦИИ АКАДЕМИИ ПО ДЕЛОПРОИЗВОДСТВУ

Стандарт организации устанавливает единую систему делопроизводства в академии, порядок подготовки, оформления, прохождения, контроля за исполнением, учетом, хранением, печатанием, копированием и тиражированием служебных документов.

V.A. Ashcheulov, L.G. Kulikova, L.M. Abramova
SSGA, Novosibirsk

DEVELOPMENT OF THE OF THE ACADEMY ORGANIZATION STANDARD OF RECORD KEEPING

The organization standard establishes the uniform system of record keeping at the academy; the procedures of preparation, execution, passing, administration control, registration, keeping, printing, copying and replication of the internal documents.

В академии в 2009 году разработан стандарт организации, который является нормативным документом системы менеджмента качества, зарегистрирован в установленном порядке как СТО СГГА 010- 2009 «Организационно - распорядительная документация. Требования к ведению делопроизводства в академии». Стандарт является обязательным для применения административно-управленческого персонала и профессорско-преподавательского состава. Может использоваться студентами как справочное пособие. Стандарт составлен на основании приказа Министерства образования Российской Федерации от 24 июля 2000г. № 2286 «Об утверждении примерной инструкции по делопроизводству в высшем учебном заведении» и ГОСТ Р 6.30-2003 «Государственный стандарт Российской Федерации. Унифицированные системы документации. Унифицированная система организационно-распорядительной документации. Требования к оформлению документов».

В целях создания единого информационного пространства, внедрения электронного документооборота на базе корпоративной информационной системы 1С в академии устанавливаются единые правила оформления документов. Руководство и контроль за ведением делопроизводства в академии осуществляет общий отдел. Общий отдел даёт указания по вопросам организации ведения делопроизводства, обязательные для исполнения структурными подразделениями академии, проверяет состояние делопроизводства и осуществляет обучение работников, ответственных за ведение делопроизводства.

Академия издает следующие документы: приказы, распоряжения, инструкции.

Документирование управленческой деятельности.

Документирование управленческой деятельности заключается в фиксации на бумаге или других носителях по установленным правилам управленческих действий, т. е. создании управленческих документов.

Документирование осуществляется средствами вычислительной техники, а также с использованием электронных носителей (дисков, флэш-карт и др.). При подготовке и оформлении документов необходимо соблюдать правила, обеспечивающие юридическую силу документов, оперативное и качественное их исполнение и поиск, возможность обработки документов с помощью средств вычислительной техники.

Документ имеет юридическую силу при наличии реквизитов, обязательных для данного вида документа [наименование организации - автора документа, название вида (унифицированной формы документа), дата, индекс, заголовок к тексту, текст, визы, подпись].

В процессе подготовки и оформления состав реквизитов может быть дополнен другими реквизитами, если того требует назначение документа, его обработка и т. д.

Бланки документов.

Документы должны оформляться на бланках академии и иметь установленный комплекс обязательных реквизитов и стабильный порядок их расположения. В академии применяются следующие бланки:

общий бланк;

бланк письма;

бланк конкретного вида документа.

В стандарте представлены необходимые примеры оформления всех документов академии.

Особенности подготовки и оформления отдельных видов документов

Приказ.

Приказ - правовой акт, издаваемый ректором академии для решения основных и оперативных задач, стоящих перед академией.

Приказ может быть издан ректором или лицом, исполняющим обязанности ректора академии в случае его отсутствия.

В приказах по основной деятельности решаются вопросы учебной, хозяйственной, финансовой деятельности, планирования, отчетности, учебно-воспитательного процесса, физического развития и т. п. Приказы должны оформляться на бланке академии и иметь установленный комплекс обязательных реквизитов и стабильный порядок их расположения. Употребление бланков произвольной формы не допускается. Передача приказов, их копий работникам сторонних организаций допускается только с разрешения руководства академии. Проекты приказов разрабатываются структурными подразделениями академии по поручению руководства или по собственной инициативе.

Автоматизация документирования.

Для подготовки документов в академии впервые применяется электронный документооборот (приказы, распоряжения, входящие и исходящие документы) требующие согласования и срочного исполнения.

Порядок разработки, эксплуатации и пользования такими системами определяется стандартами в области автоматизированных информационных технологий.

Организация контроля.

Все поступающие на имя ректора и в адрес академии документы, требующие исполнения и подготовки ответа, подлежат контролю.

Контроль за исполнением документов устанавливается в целях обеспечения их своевременного и качественного исполнения, повышения уровня организаторской работы и исполнительской дисциплины, осуществляется с помощью автоматизированной системы контроля на базе ЭВМ.

Автоматизированному контролю подлежат приказы, решения советов, а также документы, поступающие на имя ректора академии.

Ответственность за обеспечение работы автоматизированной системы контроля в общем отделе академии возлагается на сотрудников общего отдела и секретарей – референтов.

Руководители структурных подразделений обязаны рассматривать состояние исполнительской дисциплины по документам с поручениями руководства академии, а также документы, поступившие в адрес структурного подразделения и требующие исполнения и подготовки ответа.

Документ считается исполненным, когда решены окончательно все поставленные в нем вопросы и соблюдены следующие сроки:

если в документе поставлен срок исполнения - в указанный срок;

документы без указания срока исполнения - в месячный срок;

если в документе имеется пометка «срочно», - то в трехдневный срок;

Срок исчисляется в календарных днях с даты подписания документа.

Если документ исполнен в оперативном порядке, то кроме записи «В дело №...», подписи и даты, исполнитель должен сделать краткую запись об исполнении.

© В.А. Ащеулов, Л.Г. Куликова, Л.М. Абрамова, 2010

ИЗМЕНЕНИЯ В МЕТОДИКЕ ПОВЕРКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Рассматриваются изменения в методике поверки спутниковых приемников, связанные с расширением возможностей Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

K.M. Antonovich, L.G. Kulikova

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

THE CHANGES IN GEODETIC HARDWARE VERIFICATION PROCEDURE FOR USERS OF SPACE NAVIGATION SYSTEM

The changes in verification procedure of the satellite receivers due to the possibility extension of Global navigation satellite systems (GNSS) are considered.

Первая методика метрологической поверки спутниковой аппаратуры была разработана в 1997 г. Госстандартом России (исполнители Юношев Л.С., доктор технических наук, академик РМА (руководитель разработки), Генике А.А., кандидат технических наук, Зубинский В.И., кандидат технических наук). За прошедшее время произошли изменения в самих навигационных системах, аппаратуре, методах измерений. Кроме того, был накоплен опыт работы в области практической метрологии службой СГГА. Это привело к необходимости провести корректировку методики поверки. Ранние работы по отработке методик выполнения измерений спутниковыми приёмниками отражены в публикациях [1, 2].

Методика Госстандарта 1997 г. разрабатывалась в то время, когда существовало только две спутниковых радионавигационных системы (СРНС) – GPS или NAVSTAR (США) и ГЛОНАСС (Россия). Однако уже тогда появился термин ГНСС (GNSS) – Глобальная навигационная спутниковая система. Первоначально под этим термином понималось объединенное созвездие спутников GPS и ГЛОНАСС. В настоящее время развернуты три глобальные спутниковые навигационные системы, а именно, GPS, ГЛОНАСС и Бейдоу (Китай), которая по размерам области покрытия является региональной. Запущены экспериментальные спутники европейской системы Галилео, действуют подсистемы функционального дополнения спутникового базирования (Satellite Based Augmentation System, SBAS) и наземного базирования (Ground Based Augmentation System, GBAS). Они позволяют производить высокоточные определения положений одним приемником. Разрабатываются новые глобальные и региональные навигационные системы и подсистемы функционального дополнения. К 2015 г. ожидается

функционирование примерно 80 спутников ГНСС, а общее количество сигналов достигнет 20 [3].

Эти изменения в СРНС нашли отражение в регламенте на области применения методики, которая рассчитана на обеспечение пользователей спутниковых радионавигационных систем типа ГЛОНАСС, GPS (NAVSTAR), Галилео и их подсистем функционального дополнения космического и наземного базирования.

Методика не предназначена для поверки аппаратуры, используемой в кинематическом режиме работы на сухопутных, водных и воздушных транспортных средствах, а также абсолютным методом по фазе несущей.

Поверке может подвергаться средство измерений из отдельного приемника, работающего абсолютным методом или сетевым (локальным, широкозонным или глобальным) дифференциальным методом, или комплект спутниковой аппаратуры (СПА), состоящий не менее чем из двух приемников сигналов СРНС и штатного программного обеспечения.

Последний пункт является актуальным, поскольку достаточно часто заказчики требуют подтверждения метрологических характеристик при работе со спутниками ГЛОНАСС. В то же время, не все программы обеспечивают обработку спутников ГЛОНАСС, а заказчик не заинтересован привозить на поверку программное обеспечение или даже электронный ключ к нему.

Ограничение, касающееся кинематического позиционирования, объясняется большими материальными затратами на создание соответствующего полигона и на выполнение метрологической поверки. Ограничение на определение координат абсолютным методом по фазовым измерениям объясняется тем, что этот метод на производстве практически не применяется из-за отсутствия дорогого и сложного программного обеспечения (научные программы типа Bernese, GAMIT, GIPSY и др.) [3].

Другое изменение в операциях поверки касается тестирования кодовой аппаратуры в абсолютном режиме позиционирования. Дело в том, что некоторым пользователям требуется подтверждение возможностей кодовой аппаратуры получать координаты в условиях SPS (Standard Positioning Service, услуга стандартного позиционирования).

Кроме того, мы исключили определение погрешности измерений в зависимости от продолжительности сеанса наблюдений. Обычно компания-изготовитель аппаратуры указывает продолжительность сеанса, при которой гарантированно подтверждается паспортная точность. Уменьшение продолжительности иногда может привести к хорошим данным, но далеко не всегда. Это объясняется тем, что точность измерений зависит от множества причин, таких как солнечная активность, наличие интерференции, препятствия в окружении антенны приемника и т.п. Предусмотреть все это практически невозможно. Поэтому результаты этого теста не имеют особой ценности, хотя некоторые исследователи описывают соответствующие эксперименты и дают практические рекомендации. В ряде применений точность аппаратуры оказывается избыточной, но даже небольшое сокращение продолжительности

наблюдений может приводить к многократному понижению точности координат.

В связи с увеличением числа режимов, в которых может проводиться поверка, мы расширили пункт о регламенте на состав комплекта. Теперь поверке подвергается кодовый навигационный приемник, фазовый (или кодо-фазовый) приемник или комплект фазовой (кодо-фазовой) аппаратуры, состоящий из нескольких приемников. Фазовая и кодо-фазовая аппаратуры должна иметь программное обеспечение для обработки результатов. Для поверки одиночного кодового, фазового (кодо-фазового) в локальном дифференциальном или в относительном методе используется постоянная базовая станция геодезической сети ПГЭ СГГА.

Как видно, допускается поверка комплекта из одного приемника. Это не удивительно, когда производится поверка кодового приемника в абсолютном режиме. Но в отношении фазовой аппаратуры это объясняется тремя причинами. Во-первых, появились организации с очень большим парком аппаратуры (десятки приемников), и формировать комплекты из небольшого количества приемников стало неудобно. Во-вторых, появились проекты, в которых одновременно работает большое количество приемников. Наконец, в-третьих, в России начали функционировать сети из активных базовых станций, в этом случае каждый мобильный приемник работает независимо от других мобильных приемников, а одну базовую станцию, в классическом понимании этого термина, заменяет целая сеть. Поэтому очень часто пользователи просят выдать свидетельство на каждый отдельный приемник.

Определение погрешности измерений координат при дифференциальном позиционировании, наверно, является самым неопределенным режимом измерений, потому что наблюдатель, как правило, не знает, в каком режиме работает аппаратура. Дело в том, что различие между дифференциальным и относительным режимом позиционирования незначительное. По определению (например, [3]) в дифференциальном режиме координаты получаются путем передачи корректирующих поправок от опорных станций, а в относительном – из совместной обработки измерений базового и мобильного приемника. Но какой процесс происходит в аппаратуре, например, при измерениях в реальном времени, наблюдатель не знает. Более того, в сетевых методах позиционирования, когда работают сети из активных базовых станций, возможна работа и в относительном режиме (метод виртуальной базовой станции), и в дифференциальном методе (метод площадных поправок) [4].

За 14 лет работы Метрологической службой СГГА было проверено более 3000 комплектов аппаратуры, выписано 1500 свидетельств о поверке. За все это время было лишь несколько случаев отказа аппаратуры по причине ее неисправности и несколько случаев невыполнения допусков из-за ошибок наблюдателя или обработчика наблюдений. В то же время к нам неоднократно обращались с просьбой разобраться в результатах обработки. Среди них на первом месте авторы бы поставил ошибки в проектировании геодезических сетей, которые приводят к нарушению масштаба, к искажению системы координат. На втором месте – методические ошибки наблюдателя (например,

продолжительность сеанса наблюдений, метод измерения высоты антенны, привязка к пунктам геодезических сетей и др.). В итоге получается, что исполнитель имеет исправную поверенную аппаратуру, а результат его работы находится в противоречии с концепцией системы единства измерений.

В Канаде на это обстоятельство обратили внимание еще в 1990-е годы. Одна из рекомендаций по этой проблеме состояла в том, чтобы лицензии на производство топографо-геодезических работ со спутниковой аппаратуры выдавалась после выполнения измерений на контрольной сети [5]. Если результат получался в пределах доверительного интервала, то лицензию можно было бы выдать, а иначе – отказ. Возможно, и в России этот метод следовало бы ввести.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обработка методик высокоточных измерений спутниковыми приёмниками / К.М. Антонович, Ю.В. Сурнин, В.Д. Лизунов, Л.Г. Куликова // Законодательная метрология. – 1998. – № 2. – С. 34-35.
2. Разработка согласованных методов и средств метрологического обеспечения GPS – приёмников спутниковой аппаратуры для геодезических и навигационных целей // отчёт о НИР (заключит.) / Сиб. гос. геодез. акад.; рук. В.А. Середович; отв. исполн. Л.Г. Куликова.- № ГР 01.960.007156; Инв. № 02.9.80005339.- Новосибирск, 1998. – 33 с.
3. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии : в 2 т. – М. : Картоцентр, Новосибирск : Наука. – 2005. – 334 с. – 2006. – 360 с.
4. Евстафьев, О.В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования / О.В. Евстафьев. – М. : Проспект, 2009. – 48 с.
5. Cramer, M.R. Specifications for urban GPS surveys / M.R. Cramer, D.E. Wells, P. Vanicsek, R.L. Devlin // Surveying and Land Information Systems. – 1990. – Vol. 50, No. 4. – P. 251-259. – Англ.

© К.М. Антонович, Л.Г. Куликова, 2010

РАЗВИТИЕ РАБОТ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В СИБИРСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ

В статье рассмотрены вопросы создания Центра метрологического обеспечения и оценки соответствия нанотехнологий и продукции наноиндустрии в Сибирском Федеральном округе.

G.V. Shuvalov, V.F. Matveychuk, V.I. Evgrafov

Siberian Scientific-Research Institute of Metrology (SSRIM) 4 Dimitrova, Novosibirsk, 630004, Russian Federation; Siberian State Academy of Geodesy (SSGA) 10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

DEVELOPMENT OF THE WORK IN THE FIELD OF NANOTEHNOLOGIY AND THEIR METROLOGICAL PROVISION IN SIBERIAN FEDERAL COUNTY

In article are considered questions of the making the Centre of the metrological provision and estimations of the correspondence to nanotechnology and product nanoindustry in Siberia-canopy federal county.

Развитие нанотехнологий открывает большие перспективы для разработки новых материалов, в различных отраслях промышленности, которая все чаще испытывает на себе влияние этой, образно выражаясь, «индустриальной революции XXI века». Новые технологии, основанные на современных знаниях и исследованиях, предоставляют значительный потенциал для создания высокотехнологичных продуктов и процессов, отличающихся гарантированными показателями надежности, развивают принципы получения современных «суперматериалов».

Так, например, использование современных конструкционных материалов обычно ограничено тем, что увеличение прочности приводит к снижению пластичности. С освоением нанотехнологий появилась возможность значительно расширить область пластичности при сохранении прочностных характеристик материалов. Данные по нанокompозитам (из которых наиболее изученной на сегодня является нанокерамика) показывают, что уменьшение размеров структурных элементов, образование специфических непрерывных нитевидных структур, формирующихся в результате трехмерных контактов между наночастицами разных фаз ведет к коренному улучшению их эксплуатационных характеристик. Дополнительный потенциал для развития более прочных, жестких и долговечных конструкционных материалов предоставляют углеродные нанотрубки и нановолокна, которые сегодня производятся рядом компаний в промышленном масштабе (в том числе и в России).

Например, в Институте электрофизики УрО РАН налажено изготовление керамических материалов с применением нанотехнологий. Полученные изделия

по многим параметрам превосходят обычную керамику. В Институте физики металлов идут работы и по молекулярному конструированию нанокерамических материалов, в том числе и строительной керамики.

Широкое применение находят нанотехнологии при производстве стекол различного назначения. Так, например, поливиниловая пленка с наночастицами из гексаборида лантана, помещенная между двумя слоями обычного оконного стекла, служит прекрасным фильтром для инфракрасного излучения.

Одним из ярких примером использования нанотехнологий в строительстве может служить стальная арматура с измененной наноструктурой, которая подобна арматуре из нержавеющей стали, но намного дешевле. По сравнению с обычной углеродистой сталью она имеет слоистую структуру, из-за чего резко возрастают ее механические свойства, например, прочность и сопротивление усталости по сравнению с другими известными высокопрочными сталями. Эти свойства материала приводят к значительно более длительным срокам службы в коррозионных средах и понижают интегральную стоимость строительства. В Институте физики металлов Уральского отделения РАН разработаны основы технологии получения интеллектуальных сталей, обладающих высокой жаропрочностью и радиационной стойкостью.

Одним из наиболее широко используемых наноматериалов являются порошки. Наряду с применением нанопорошков металлов в традиционных областях материаловедения, в последнее время возрос интерес к их использованию.

Например, ООО «Высокодисперсные металлические порошки» производит высокоэффективные антикоррозионные покрытия на базе нанопорошков, используемые в строительном комплексе. Эти покрытия превосходят по долговечности существующие аналоги в 2–4 раза, при этом пожаробезопасны и устойчивы к воздействию низких и высоких температур, поэтому активно применяются при строительстве Московской кольцевой автодороги, мостов через реки Обь, Иртыш, Кама, Волга и других важных объектов. В ближайшее время планируется разработать новые порошки для промышленности и транспорта. Их можно будет использовать для защиты от коррозии внутренней поверхности резервуаров, трубопроводов, при ремонте тепловых и водопроводных сетей. Эти покрытия обеспечат эффективную долговременную защиту от коррозии металлоконструкций, работающих в жестких условиях эксплуатации автотранспортных магистралей: мостов, и эстакад, предупредят аварийные разрушения металлоконструкций. Новые материалы позволят значительно увеличить межремонтные сроки работы промышленного оборудования и автотранспорта, снизить расход топлива, электроэнергии и смазывающих материалов.

На основе нанопорошков создано большое число материалов, позволяющих сократить трение и износ деталей, что продлевает срок службы тракторов и другой строительной и монтажной техники. Незаменимую роль могут сыграть наноматериалы при использовании их в качестве различных катализаторов, например, катализаторов горения для различных видов топлив, применяемых для отопления жилого комплекса.

В настоящее время трудно оценить выгоды от внедрения нанотехнологий в промышленности, однако можно с уверенностью сказать, что это внедрение позволит интенсифицировать производство и повысить конкурентоспособность продукции.

Вместе с тем, существуют определенные трудности, связанные с освоением нанотехнологии как в целом, так и применительно к строительной отрасли.

Одной из особенностей нанотехнологии является ее межотраслевой характер, что приводит к определенной разобщенности, затрудняющей успешный обмен технической информацией. Поэтому возникает задача стандартизации нанотехнологий, так как с учетом нынешнего состояния и степени развития нанотехнологий и производства нанопродукции становится очевидной важность стандартизации, без развития которой выход нанопродукции на рынок будет закрыт.

Другой важной составляющей, обеспечивающей реализацию нанотехнологий, является метрологическое обеспечение. Специфика нанотехнологий привела к развитию нового направления – нанометрологии, с которой связаны все теоретические и практические аспекты метрологического обеспечения единства измерений на наноразмерном уровне. Выделение нанометрологии в отдельный раздел метрологии обусловлено тем, что переход к наноуровню ставит ряд новых специфических измерительных задач, обусловленных малыми размерами элементов и структур, с которыми имеет дело нанотехнология.

Особый аспект нанотехнологий – решение задач обеспечения здоровья и безопасности операторов технологических процессов и лиц, взаимодействующих с продукцией нанотехнологий на всех этапах ее производства, испытаний, исследований и применений, а также экологической безопасности окружающей среды.

Это должно находить выражение в подтверждении соответствия параметров и свойств объектов, материалов и структур, технологических процессов, а также инструментальной и измерительной базы требованиям технических регламентов, стандартов и иных нормативных документов.

Международная стандартизация уделяет метрологии и безопасности значительное внимание, в частности, международная организация по стандартизации сформировала комитет ТК 229 «Нанотехнологии». Сфера деятельности этого комитета ИСО охватывает вопросы, касающиеся стандартизации во всех направлениях и областях нанотехнологии.

Учитывая мировые тенденции в области наноиндустрии было принято решение о создании в России сети региональных и отраслевых центров метрологического обеспечения нанотехнологий и оценке соответствия нанотехнологий и продукции наноиндустрии.

Центр метрологического обеспечения и оценки соответствия нанотехнологий и продукции наноиндустрии в Сибирском федеральном округе создан в соответствии с Концепцией по направлению «Развитие методической составляющей системы обеспечения единства измерений в наноиндустрии,

безопасности создания и применения объектов наноиндустрии» Федеральной целевой программы (ФЦП) «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008-2010 г».

ФГУП «СНИИМ» является головным предприятием, через организационные структуры которого Центр осуществляет свою деятельность.

Основной целью Центра метрологического обеспечения и оценки соответствия нанотехнологий и продукции наноиндустрии является обеспечения единства измерений на предприятиях нанотехнологической сети в регионе, обеспечения международного признания результатов измерений в сфере нанотехнологий, выполнение работ по оценке соответствия нанотехнологий и продукции наноиндустрии в регионе, а также информационно-технического обеспечения работ в регионе по стандартизации, обеспечению единства измерений и оценке соответствия в области нанотехнологий.

В соответствии с целью основными задачами Центра являются:

- Формирование системы мониторинга состояния метрологического обеспечения, стандартизации, оценки соответствия и безопасности нанотехнологий, наноматериалов и продукции наноиндустрии;

- Осуществление модернизации существующих эталонов путем значительного повышения точности результатов воспроизведения и передачи единиц величин, используемых в области нанотехнологий и создание новых эталонов, средств измерений и прецизионных измерительно-технологические комплексов;

- Разработка и аттестации стандартных образцов веществ и наноматериалов, а также эталонных мер и тест – объектов для калибровки средств измерений;

- Разработка и аттестация методик измерений, а также поверки, калибровки и испытаний средств измерений в области нанотехнологий;

- Разработка комплекса нормативно-технических документов по обеспечению единства измерений и гармонизация их с аналогичными международными регламентирующими документами;

- Участие эталонов России для нанотехнологий и наноиндустрии в международных сличениях, а также международное признание измерительных и калибровочных возможностей российской наноиндустрии;

- Проведение экспериментальных исследований и формирование научно обоснованного и утвержденного перечня наноматериалов и нанотехнологий, потенциально способных оказывать негативное воздействие на здоровье людей и состояние окружающей среды, их классификация, определение контролируемых параметров и диапазонов их измерений, а также разработка санитарно-гигиенических и экологических нормативов безопасности, регламентирующих работы в сфере наноиндустрии;

- Разработка и обеспечение эффективного функционирования российской системы оценки и подтверждения соответствия параметров и свойств нанотехнологий и продукции наноиндустрии требованиям технических

регламентов и других нормативных документов, гармонизированных с международными аналогами.

Созданная инфраструктура метрологического обеспечения и оценки безопасности предусматривает использование как систем добровольной сертификации, так и обязательное подтверждение соответствия, а в случае необходимости аттестацию (аккредитацию) отдельных предприятий нанотехнологической сети путем оценки соответствия международным требованиям их инструментального, метрологического, нормативно-технического и кадрового обеспечения, включая оценку их системы менеджмента качества и системы экологического менеджмента.

© Г.В. Шувалов, В.Ф. Матвейчук, В.И. Евграфов, 2010

УДК 536.5

А.А. Горбылев, Д.А. Гривастов

СГГА, ФГУП «СНИИМ», Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ РЕАЛИЗАЦИИ РЕПЕРНЫХ ТОЧЕК ТЕМПЕРАТУРНОЙ ШКАЛЫ

В данной статье рассматриваются мероприятия, проводимые в рамках модернизации вторичных эталонов температуры.

A.A. Gorbylev, D.A. Grivastov

Siberian Scientific-Research Institute of Metrology (SSRIM) 4 Dimitrova, Novosibirsk, 630004, Russian Federation; Siberian State Academy of Geodesy (SSGA) 10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

RESEARCH OF ALGORITHMS OF MANAGEMENT OF PROCESSES OF REALIZATION CONSTANT OF POINTS OF A TEMPERATURE SCALE

In paper steps to supply upgrade of temperature secondary standard are considered.

С начала 2009 г. в ФГУП «СНИИМ» проводятся мероприятия по модернизации государственных вторичных эталонов температуры ВЭТ 34-27-99 и ВЭТ 34-22-89. В рамках этих мероприятий, помимо прочего, для эталона ВЭТ 34-27-99 были приобретены новые ампулы реперных точек затвердевания цинка (419,527 °C) и алюминия (660,323 °C).

Опыт использования реперной точки затвердевания алюминия в течение предыдущих шести лет показал сравнительно низкую ее конструктивную надёжность при эксплуатации в установках для реализации реперных точек эталона ВЭТ 34-27-99.

Изучение обстоятельств, при которых происходило разрушение капсулы, позволяет сделать вывод о том, что, вероятнее всего, причиной разрушения стал существенный градиент температуры по высоте ампулы.

Принимая во внимание физическую изношенность печей и другой аппаратуры для воспроизведения реперных точек, было принято решение изготовить совершенно новые установки, в которых можно реализовать реперные точки затвердевания металлов в режимах, обеспечивающих малый градиент температуры по высоте ампулы на всех стадиях процесса воспроизведения.

МТШ-90 устанавливает ряд реперных точек температуры затвердевания чистых металлов, который представлен в табл. 1.

Как правило, реперная точка состоит из ампулы с тиглем, в котором находится образец заплавленного металла высокой чистоты. Тигель помещен в герметичную капсулу, выполненную из графита, либо из кварца. Сама капсула помещена в кожух из нержавеющей стали. Кроме того, для реализации процесса воспроизведения реперной точки необходимо специальное оборудование, включающее печь, а также управляющий и измерительный комплексы.

Таблица 1. Реперные точки затвердевания металлов МТШ-90

Металл	Температура, °С	Температура, К
In (Индий)	156,598	429,748
Sn (Олово)	231,928	505,078
Zn (Цинк)	419,527	692,677
Al (Алюминий)	660,323	933,473
Ag (Серебро)	961,78	1234,93
Au (Золото)	1064,18	1337,33
Cu (Медь)	1084,62	1357,77

Процесс воспроизведения реперной точки температуры затвердевания металла проходит следующим образом. Сперва уставка регулятора задается на уровне на (5-10) °С выше температуры плавления. Температура нагревателей достигает этого уровня довольно быстро, тогда как температура внутри ампулы растет медленней, вплоть до достижения температуры плавления металла. При достижении внутри ампулы этой температуры, начинается процесс плавления, характеризующийся постоянством температуры. Температуру нагревателей во время плавления необходимо также поддерживать постоянной до полного расплавления металла. После его расплавления температура внутри ампулы вновь начинает расти. После того, как зафиксировано начало перегрева, температуру нагревателей задают на (2-3)°С ниже температуры затвердевания и поддерживают постоянной. Температура внутри ампулы начинает понижаться вплоть до достижения температуры затвердевания, после чего в металле инициируется процесс затвердевания и дальнейшее понижение температуры в ампуле прекращается. С этого момента времени начинается так называемая

«площадка» затвердевания, во время которой реперная точка может служить для передачи единицы температуры помещаемым в неё термометрам. Описанный процесс воспроизведения реперной точки представлен на рис. 1.

В целом система должна поддерживать температуру нагревателей в печи в пределах $\pm 2^{\circ}\text{C}$. При этом градиент по высоте ампулы не должен превышать 5°C для графитовой капсулы и 1°C – для кварцевой капсулы. При повышении значений градиента, есть вероятность разрушения капсулы.

Для каждой реперной точки в составе эталона имеется ампула с металлом, печь для воспроизведения, а также стойка управления САУРТ-М с регуляторами температуры.

Печь для реализации реперной точки затвердевания металлов представляет собой керамическую трубу, на которую намотаны три нагревателя. В неё погружается ампула с металлом. Нагреватель в середине печи является основным. Через него ампула получает большую часть мощности. Нагреватели по краям, так называемые, охранные, служат для выравнивания температурного градиента. Мощность нагревателей задаётся усилителями мощности из состава САУРТ-М.

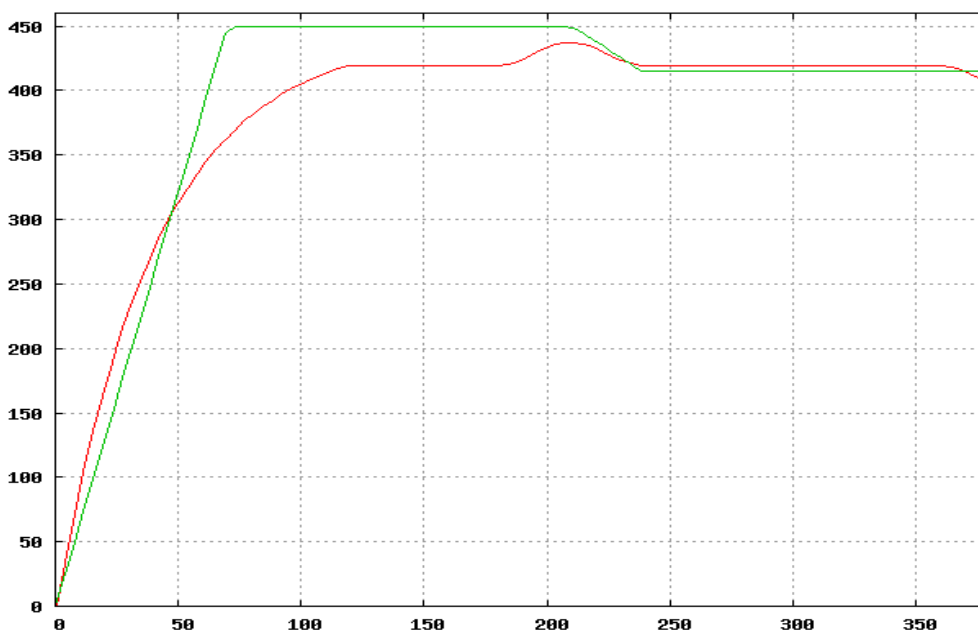


Рис. 1. Общий вид процесса воспроизведения реперной точки затвердевания чистого металла: красная линия – температура внутри ампулы; зеленая линия – температура нагревателей

В связи с высокой тепловой инерционностью объекта управления, нельзя с уверенностью утверждать, что тепловые процессы, которые проходят в печи во время нагрева и охлаждения такие, какими их можно ожидать. Это связано с тем, что положение нагревателей и термопреобразователей в печи со временем может изменяться в результате усадок после циклов нагрева и охлаждения, ремонта и техобслуживания. А значит изменяется и воздействие нагревателей на ампулу.

Печи и ампулы составляют лишь часть, хоть и основную, оборудования, необходимого для реализации реперных точек. Другая часть оборудования – это система управления всеми процессами. Она включает в себя средства

измерения температуры, ПИД-регуляторы, усилители мощности и интерфейс управления.

На данный момент управление процессами в эталоне ВЭТ 34-27-99 осуществляется с помощью установок САУРТ-М, выполненных в виде стоек, заполненных различными функциональными блоками. Каждая стойка состоит из блока питания, вольтметра, блока переключения уставок, регуляторов и усилителей мощности. Стойки выполнены на элементной базе 70-х, 80-х годов, и к настоящему времени устарели как морально, так и физически.

Основные фазы управления, которые реализует данное оборудование при нагреве, плавлении и перегреве, заключаются в следующем:

- На нагревателях устанавливается температура на (5-10) °С выше температуры плавления;
- Как только температура в металле достигла этой отметки, уставка изменяется на значение температуры на (1-2) °С ниже точки затвердевания;
- Регулирование и поддержание температуры основано на ПИД-законе. При этом все уставки регуляторов программируются персоналом вручную в ходе предусмотренных руководством по эксплуатации мероприятий (постоянной метрологической работы – ПМР).

Можно отметить, что алгоритм работы аппаратуры обладает рядом недостатков:

- Отсутствует возможность отслеживания градиента температуры по высоте ампулы, так как это не предусмотрено ни конструкцией печей, ни функциями самих стоек САУРТ-М;
- Отсутствует защита от возможных обрывов, ошибок оператора и сбоев оборудования;
- Отсутствует оперативный интерфейс управления и детального отслеживания процесса.

В прошлом эти недостатки не раз приводили к отказам оборудования, в том числе к разрушению ампулы. Устранение этих недостатков было выбрано основной целью модернизации эталонов.

Первым этапом модернизации была разработка нового управляющего комплекса на основе платформы персонального компьютера, для управления процессами формирования температурного режима в существующих печах. В состав комплекса входят компьютер, измеритель температуры и блок усилителя мощности.

Основным назначением комплекса является отладка режима управления. На нём был проведен ряд экспериментов. В частности, с использованием методов управления с поддержанием малого градиента температуры была получена площадка затвердевания цинка. В рамках эксперимента были разработаны и отлажены алгоритмы управления тепловым процессом; реализован закон цифрового ПИД-регулирования и интерфейс пользователя.

Однако в связи с отсутствием функционально эффективного верхнего нагревателя у печи, на который проводились эксперименты, не удалось достичь достаточно малого градиента и длительной площадки затвердевания. Однако полученные результаты были лучше, чем полученные на прежнем оборудовании. Эксперименты позволили сделать вывод о направлении работ по устранению выявленных недостатках во вновь создаваемых установках.

В частности, в новой аппаратуре предусматривается возможность измерения и отслеживания градиента температуры по высоте ампулы. Для этого на верхнем и нижнем конце ампулы закрепляют два термопреобразователя.

Управление, измерение и хранение данных организуется на компьютере, что добавляет гибкости при управлении процессами воспроизведения реперных точек. Оператор может отслеживать состояние процессов во времени с помощью дружественного интерфейса и графиков. Кроме того, новая программа защищает оборудование от возможных ошибок оператора и сбоев оборудования.

В процессе нагрева, охлаждения и поддержания температуры учитывается градиент температуры по высоте ампулы, что положительно сказывается на длительности площадки затвердевания. При этом должен увеличиться срок службы ампулы и точность воспроизведения температуры.

Конструкция новых печей в целом не отличается от прежних, за исключением некоторых особенностей.

1. При проектировании учитываются реальные размеры ампулы с металлом, для того, чтобы охранные нагреватели находились строго над верхним и нижним концами ампулы, что должно снизить тепловую инерцию;
2. Внутри печи закреплены два термопреобразователя для измерения градиента температуры по высоте ампулы.

Ниже представлены результаты экспериментов, выполненных на макете печи для реализации реперной точки затвердевания индия, изготовленной полностью в рамках новой концепции.

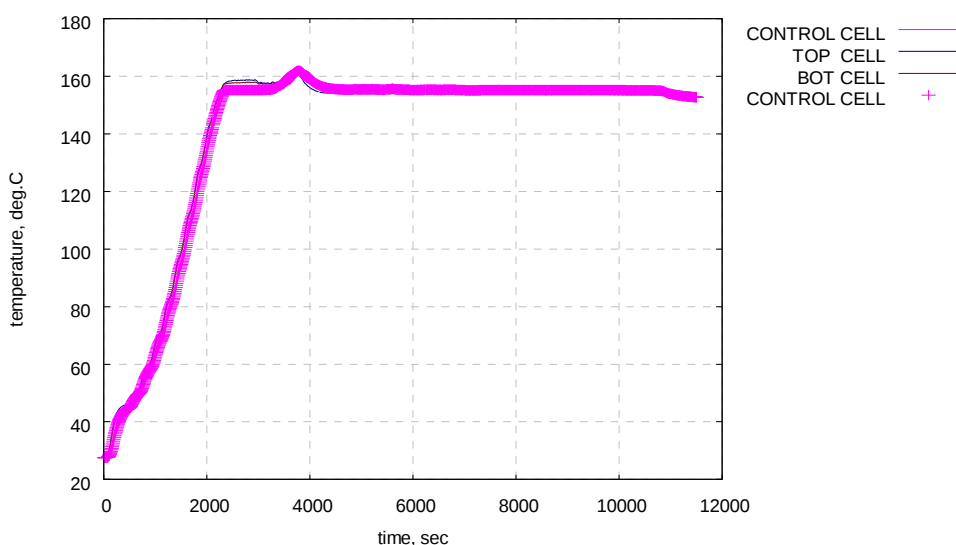


Рис. 2. График процесса воспроизведения реперной точки затвердевания индия

На графике видно, что площадка затвердевания продолжается более полутора часов. В процессе регулирования акцент ставился на поддержания минимального значения градиента температуры. На рис. 3 представлены увеличенный участок фазы затвердевания предыдущего графика.

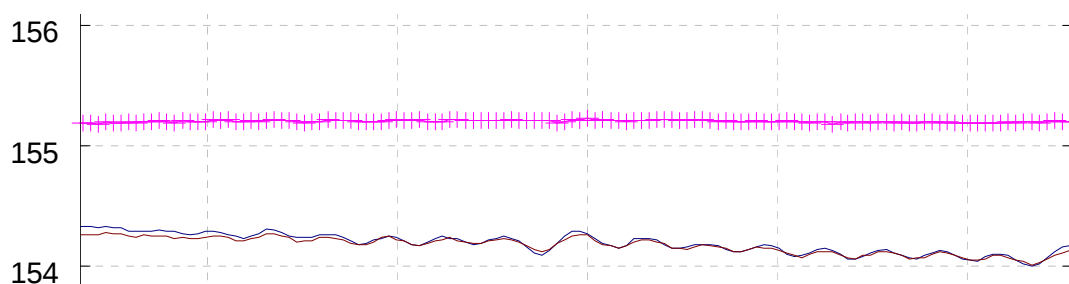


Рис. 3. Увеличенный участок графика площадки затвердевания индия

Градиент температуры по высоте ампулы в процессе воспроизведения реперной точки не превышал $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Работы по реализации программы модернизации в настоящее время продолжаются. В ближайшее время планируется ввод в эксплуатацию двух установок – для реализации точки затвердевания индия и цинка. Затем, по результатам опыта эксплуатации, будут изготавливаться установки для реализации точек затвердевания олова, алюминия и меди. Индий и цинк выбраны в качестве первоочередных в связи с простотой процесса реализации этих реперных точек.

В процессе модернизации также решаются многие прикладные задачи: полностью самостоятельное изготовление печей, датчиков температуры, усилителей мощности. Это обеспечивает метрологическую независимость государственных вторичных эталонов температуры.

© А.А. Горбылев, Д.А. Гривастов, 2010

ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ НОВОЙ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ МАССЫ

В статье рассмотрены изменения нормативной базы в области испытаний средств измерений массы в Российской Федерации и задачи, встающие в связи с этим перед Государственными центрами испытаний средств измерений.

A.A. Koller

Siberian Scientific-Research Institute of Metrology (SSRIM) 4 Dimitrova, Novosibirsk, 630004, Russian Federation; Siberian State Academy of Geodesy (SSGA) 10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

QUESTIONS OF INTRODUCTION OF NEW STANDARD BASE IN THE FIELD OF PATTERN EVALUATION OF WEIGHING INSTRUMENT

In article is considered changes of standard base in the field of pattern evaluation of weighing instrument in the Russian Federation and the problems rising in this connection before the National centers for testing measuring instruments.

В конце 2009–начале 2010 годов произошли существенные изменения нормативной базы испытаний средств измерений в целях утверждения типа, а также нормативной базы, устанавливающей требования к метрологическим и техническим характеристикам весов для статического взвешивания и требования к методам проведения испытаний весов.

30 ноября 2009 года вступил в силу приказ № 1081 Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, изменяющий порядок проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа и порядок утверждения их типа. Также, в соответствии с данным приказом утратившими силу Правила по метрологии ПР 50.2.009-94 «ГСИ. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений». Кроме изменений, касающихся процедуры проведения испытаний и утверждения типа, можно выделить два существенных аспекта. Во-первых, новый порядок не предусматривает возможность внесения изменений в утвержденный тип средств измерений. Фактически это отменяет существовавшие ранее испытания на соответствие утвержденному типу. Срок действия свидетельства об утверждении типа может быть продлен без проведения испытаний решением Ростехрегулирования на основании письменного заявления держателя свидетельства с представлением информации об отсутствии изменений в документации на изготовление стандартных образцов или средств измерений и анализа результатов государственного метрологического надзора и обращений граждан с претензиями к выпускаемым средствам измерений за время действия свидетельства.

Вторым важным аспектом нового порядка проведения испытаний является значительное ужесточение и конкретизация требований к программному обеспечению, входящему в состав средств измерений.

Еще большие изменения произошли в нормативной базе производства и эксплуатации в Российской Федерации весов для статического взвешивания.

С января 2010 года вступил в силу ГОСТ Р 53228-2008 «Весы неавтоматического действия. Метрологические и технические требования. Испытания» [1].

Данный стандарт представляет собой модифицированный текст Международной рекомендации МОЗМ 76 [2] и заменяет ГОСТ 29329-92 [3], ГОСТ 8.453-82 [4], а также стандарты, устанавливающие общие технические требования и методику поверки на весы лабораторные.

Новый стандарт [1] частично изменяет требования к техническим и метрологическим характеристикам весов для статического взвешивания, содержит новые требования к процедуре поверки данных СИ, а также этот документ содержит разделы, устанавливающие методы испытаний весов.

С введением ГОСТ Р 53228-2008 значительно ужесточаются требования к испытаниям в целях утверждения типа весов. Это, в частности, касается требований к программному обеспечению, исключения возможности использования балластных грузов при испытаниях, проведения испытаний на электромагнитную совместимость. Также изменились требования к испытаниям большегрузных крупногабаритных весов, построенных по модульному типу, то есть весов, в составе которых можно выделить и идентифицировать отдельные функциональные узлы, выполняющие определенную функцию или функции. Эти узлы имеют собственные метрологические и технические характеристики и, как правило, изготавливаются серийно. Основными модулями большегрузных весов являются весоизмерительные датчики, которые преобразуют возникающую в них под действием силы тяжести деформацию в выходной сигнал, и устройство обработки данных (весоизмерительное устройство, вторичный преобразователь), которое выполняет преобразование выходного сигнала весоизмерительного датчика, дальнейшую обработку данных и выдает результат взвешивания в цифровой форме, как правило, в единицах массы. Большинство российских производителей большегрузных весов, используют в составе своих изделий весоизмерительные датчики и устройства обработки данных иностранного производства.

Как отмечалось в [5, 6], до 2010 года не было единого документа, устанавливающего требования к испытаниям в целях утверждения типа весов для статического взвешивания. Испытания проводились по программам, разрабатываемым и утверждаемым Государственными центрами испытаний средств измерений. Такие программы были либо типовыми, либо разрабатывались для испытаний конкретного типа средств измерений. Программы испытаний большегрузных весов, построенных по модульному типу, разрабатывались на основе [2], а подтверждение метрологических характеристик весов в диапазоне рабочих температур проводилось расчетным методом, изложенным также в [2]. При этом в расчетах использовались

метрологические характеристики модулей, установленные технической документацией на данные изделия и подтвержденные при испытаниях в целях утверждения типа. Однако при использовании этого метода возникал ряд проблем [5]. В частности, утвержденная в Российской Федерации нормативно-техническая документация на изделия, используемые в качестве модулей весов, зачастую содержит не все характеристики, необходимые для проведения расчета в соответствии с [2]. Также остается открытым вопрос о соблюдении требования [2], заключающееся в том, что условия испытаний каждого из составляющих весы модулей должны соответствовать условиям работы этого модуля в весах [6].

ГОСТ Р 53228-2008 [1] устанавливает следующие требования к метрологическим характеристикам весов в диапазоне рабочих температур:

- Если на маркировочных надписях не указывается диапазон специальных рабочих температур, весы должны сохранять свои метрологические свойства в температурном диапазоне от минус 10 °С до плюс 40 °С. Весы, для которых в маркировочных надписях указан специальный температурный диапазон, должны удовлетворять метрологическим требованиям в этом диапазоне (формулировка данного требования иллюстрирует разницу между стандартными диапазонами рабочих температур для средств измерений массы используемых на большей части территории Европы и на территории России. Диапазон рабочих температур большегрузных весов, используемых в России, как правило, составляет от минус 50 °С до плюс 50 °С).

- Границы диапазона могут выбираться в зависимости от назначения весов.
- Диапазоны внутри этих границ должны быть не менее определенного значения, в зависимости от класса точности весов.

Кроме того, в отличие от ГОСТ 29329 устанавливается требование к влиянию температуры при нулевой нагрузке: нулевое или близкое к нему показание не должно изменяться более чем на один поверочный интервал шкалы при разности температур окружающей среды 5 °С.

Методы испытаний изложены в приложениях стандарта [1].

Испытания на влияние температуры заключается в выдержке испытываемого оборудования при постоянных температурах в установленном диапазоне в воздушной атмосфере в течение двух часов, после достижения испытываемым оборудованием температурной стабильности.

Испытания взвешивания (нагружение и разгружение) должны быть выполнены в следующей последовательности:

- При нормальной температуре;
- При установленной высокой температуре;
- При установленной низкой температуре;
- При температуре 5 °С, если установлена низкая температура ниже 0 °С;
- При нормальной температуре.

Изменение температуры не должно превышать 1 °С /мин во время нагрева и охлаждения.

При каждом значении температуры после достижения температурной стабилизации испытываемые весы должны быть выдержаны в течение 2 ч, проведено предварительное нагружение, основной цикл нагружение – разгружение и снятие нулевого отсчета.

Для электронных весов устанавливается испытание на комбинированное влияние температуры и влажности.

Главное отличие ГОСТ Р 53228 - 2008 [1] от существовавшей ранее нормативной базы испытаний большегрузных весов, построенных по модульному принципу, заключается в том, что при невозможности испытаний на воздействие температуры весов в сборе теперь требуется проведение экспериментальных испытаний модулей. Заключение о соответствии метрологических характеристик весов в диапазоне рабочих температур в соответствии с [1] делается на основе результатов таких испытаний модулей, а не на основе информации, содержащейся в нормативно-технической документации на данные устройства, как это практиковалось ранее. Таким образом, разрешается часть проблем, поставленных в [5, 6]. Если применяемый ранее расчетный метод из-за недостаточности содержащейся в документации на модули информации часто носил формальный характер, то в соответствии с [1] при испытаниях модулей должны быть получены все их характеристики, необходимые для подтверждения метрологических характеристик весов в заявленном изготовителем диапазоне рабочих температур. При этом в [1] сохранены требования к модулям, в плане их использования в большегрузных весах, идентичные тем, что существовали и для модулей весов по [3], но устанавливались программами испытаний весов. Например, эти требования касаются числа поверочных интервалов и диапазона рабочих температур. Взвешивающий модуль должен иметь не меньше поверочных интервалов шкалы, чем у весов, с которыми он будет применяться. Взвешивающий модуль должен иметь такой же или больший диапазон температуры, чем у весов, с которыми он будет применяться.

Следует отметить, что российские производители весовой техники в целом негативно комментируют требования ГОСТ Р 53228–2008 [1] в части испытаний в целях утверждения типа большегрузных весов. По их мнению, установленные требования к проведению этих испытаний ставят вопрос об экономической целесообразности разработки и изготовления новых типов большегрузных весов. Однако, с точки зрения обеспечения единства измерений и повышения качества производимой в России измерительной техники, вступление в силу нового стандарта [1], несомненно, имеет положительное значение.

Вместе с тем, в новой нормативной базе содержится решение не всех технических проблем испытаний в целях утверждения типа большегрузных весов, построенных по модульному типу. Так, в [1] устанавливаются методы испытаний модулей, аналогичные методам испытаний весов в сборе, в том числе на воздействие температуры окружающего воздуха. Однако в нем, как в

действовавших ранее стандартах, не содержится методов оценки влияния на весоизмерительные датчики невертикального приложения нагрузки, боковых нагрузок и изменения положения датчика в узле встройки, вследствие изменения линейных размеров частей конструкции весов под влиянием температуры окружающего воздуха [5]. Однако, необходимость проведения испытаний модулей весов, которыми являются и весоизмерительные датчики, открывает возможность включения в программу таких испытаний и определение влияния невертикального приложения нагрузки к датчикам, в том числе в сочетании с изменением температуры. Модульные испытания датчиков по [1] требуют использования силозадающих машин и климатических камер. Таким образом, для определения влияния невертикального приложения нагрузки к этой технической базе требуется лишь добавление устройств, которые позволят моделировать такие нагрузки в используемых силозадающих машинах. Подобное исследование весоизмерительных датчиков позволит полностью выполнить требование [2], заключающееся в том, что условия испытаний каждого из модулей должны соответствовать условиям работы этого модуля в весах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 53228–2008. Весы неавтоматического действия. Метрологические и технические требования. Испытания.
2. МР 76 МОЗМ. Неавтоматические весоизмерительные приборы. Метрологические и технические требования. Испытания.
3. ГОСТ 29329-92. Весы для статического взвешивания. Общие технические требования.
4. ГОСТ 8.453-82. Весы для статического взвешивания. Методы и средства поверки.
5. Цибин, И.Г. Особенности модульного метода подтверждения метрологических характеристик весов, работающих в широком диапазоне температур / И.Г. Цибин, А.А. Коллер // Информационные технологии, системы и приборы в АПК. Ч. 1: материалы 4-ой международной научно-практической конференции «АГРОИНФО-2009» / Рос. Акад. с.-х. наук Сиб. отд-ние, Сиб. Физико-техн. ин-т аграр. проблем. – Новосибирск, 2009. – С. 307–311.
6. Коллер, А.А. Состояние вопроса о методах испытаний тензорезисторных датчиков с учетом условий их работы в составе большегрузных весов / А.А. Коллер, И.Г. Цибин, В.Я. Черепанов // Измерительная техника. – 2009. – №11. – С. 10–14.

© А.А. Коллер, 2010

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ АТТЕСТАЦИИ ОБРАЗЦОВЫХ МЕР СВЧ В КОАКСИАЛЬНЫХ ТРАКТАХ

В докладе рассмотрены вопросы аттестации образцовых мер СВЧ

Yu.A. Palchun, I.Yu. Blinov, I.A. Ryzhkov, A.M. Kaverin

Siberian Scientific-Research Institute of Metrology (SSRIM) 4 Dimitrova, Novosibirsk, 630004,
Russian Federation; Siberian State Academy of Geodesy (SSGA) 10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk,
630108, Russian Federation

THE QUESTIONS CERTIFICATIONS MICROWAVE REFERENCE STANDARD IN COAXIAL CIRCUITS

In article is considered questions certifications microwave reference standard.

Одной из причин, ограничивающей точность измерения параметров передачи и отражения в коаксиальных трактах при использовании алгоритмических методов является конечная точность устройств и элементов, используемых для калибровки. При этом погрешность измерения параметров передачи и отражения никогда не бывает меньше погрешности задания параметров калибровочными элементами. Использование калибровочных элементов с большими погрешностями может свести на нет все преимущества алгоритмических методов измерения.

В качестве таких элементов в диапазоне СВЧ при измерении параметров передачи и отражения, широко используются меры угла фазового сдвига (отрезки воздушного коаксиала), меры комплексного коэффициента передачи (ККП) и отражения (ККО).

В высокоточных калибровочных устройствах, в которых не используются алгоритмические методы для повышения точности задания параметров передачи, удалось снизить систематическую погрешность воспроизведения (задания) фазы коэффициента передачи до 1° по фазе коэффициента передачи.

Дальнейшее повышение точности воспроизведения параметров высокоточными калибровочными устройствами при использовании неалгоритмических методов сталкивается со значительным увеличением трудностей конструкторского и технологического характера. В тех случаях, когда результирующая погрешность мер превышает допустимое значение, целесообразно использовать соответствующие методы и алгоритмы, уменьшающие влияние погрешностей. Эти методы и алгоритмы базируются на экспериментальном определении эквивалентных параметров мер.

Анализ представленных в докладе зависимостей и полученных выражений позволяет сделать следующие выводы.

Для рассмотренных мер, в зависимости от фазы эквивалентных параметров, наблюдается смещение математического ожидания фазы сигнала на выходе относительно номинального (расчетного) значения. При этом максимальное отличие фазы коэффициента передачи от номинального значения может достигать удвоенного значения амплитуды вариации.

Погрешности из-за изменения коэффициента передачи мер обусловлены: изменением постоянной распространения вследствие конечной проводимости материала покрытия СВЧ-тракта, изменением относительной диэлектрической проницаемости, неточным определением изменения геометрической длины тракта, неточным определением частоты источника СВЧ-сигнала, изменением геометрической длины тракта вследствие изменения температуры окружающей среды, неравенством удлинения тракта по внешнему и внутреннему проводнику и т.д.

Альтернативой аттенюаторов (аттестуемых экспериментальным путем мер с ослаблением), при небольшом динамическом диапазоне изменения уровня сигнала, могут выступать меры воздушного коаксиала со ступенчатым внутренним (внешним) проводником. Важной особенностью этих мер является и то, что они могут существенно облегчить поверку измерителей S-параметров (измерителей параметров передачи и отражения) в диапазоне СВЧ. Эти меры могут быть использованы и при калибровке измерителей параметров передачи с использованием только мер проходного типа и в качестве образцовых мер S-параметров.

В докладе показано, что наблюдается «вырождение» точек калибровки и поверки на фазовой плоскости, поэтому наборы калибровочных и поверочных элементов должны учитывать как этот факт, так и зависимости функций распределения от фазовых параметров. Показано, что дальнейшее повышение точности калибровочных и поверочных элементов, использующих принцип изменения геометрической длины тракта и расчетные методы аттестации, может быть достигнуто использованием расчетно-экспериментальных методов, в которых на первом этапе получают наилучшие расчетные характеристики мер, а на втором этапе их уточнение осуществляют с использованием «зоновых» методов аттестации.

© Ю.А. Пальчун., И.Ю. Блинов, И.А. Рыжков, А.М. Каверин, 2010

ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ В СТАНДАРТАХ СЕРИИ ИСО 9000

В докладе рассматриваются вопросы метрологического обеспечения качества выпускаемой продукции в стандартах серии ИСО 9000.

Yu.A. Palchun, I.V.Yakimova, P.I. Pigov

Siberian Scientific-Research Institute of Metrology (SSRIM) 4 Dimitrova, Novosibirsk, 630004, Russian Federation; Siberian State Academy of Geodesy (SSGA) 10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

THE QUESTIONS ON MESUREMENT ASSURANCE QUALITY OF PRODUCTS IN STANDARDS ISO 9000

In article is considered raise questions on measurement assurance quality of products in standards ISO 9000.

Реализовать проблему производства продукции высоких и сверхвысоких технологий без решения проблемы измерений в настоящее время невозможно. Этим вопросам уделяется серьезное внимание на международном уровне, как со стороны технической части, так и со стороны нормативной базы. Для полного понимания проблемы измерений достаточно вспомнить о существовании Международного бюро мер и весов, где сосредоточены основные международные эталоны единиц физических величин, многочисленные комитеты и подкомитеты в области метрологии, чтобы понять значимость измерений на современном этапе.

По оценке зарубежных экономистов доля измерений в себестоимости продукции высоких и сверхвысоких технологий составляет от 45 до 70 процентов.

Огромное внимание на международном уровне этому вопросу уделяется и в основополагающих международных стандартах, направленных на решение производственных задач по организации производства высококачественной продукции. Так, например, в стандартах серии ИСО 9000, в частности, в стандарте ИСО 9001, эти вопросы находят серьезное отражение во всех основных разделах. Это и неудивительно, ведь создать высокотехнологичную и сверхвысокотехнологичную продукцию можно только на основании объективных данных положенных в основу процесса управления производством, а получить эти данные без измерений абсолютно невозможно.

Особенно следует отметить 7 и 8 разделы стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2008. Если проанализировать стадии жизненного цикла продукции, то легко можно убедиться в том, что они присутствуют в каждом подпункте этих разделов. Причем качественный выпуск продукции возможен только в том

случае, когда и на этапе проектирования, и на этапе создания опытных образцов, и на этапе производства эти вопросы тщательно продуманы.

В докладе дан анализ основных подходов позволяющий обеспечить решение вопросов метрологического обеспечения выпуска качественной продукции с учетом требований ГОСТ Р ИСО 9001-2008.

© Ю.А. Пальчун, И.В. Якимова, П.И. Пыжов, 2010

УДК 621.317

Ю.А. Пальчун, С.В. Владимирова, А.В. Колпаков

СГГА, ФГУП «СНИИМ», Новосибирск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРПОЛИРУЮЩИХ И ЭКСТРАПОЛИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖПОВЕРОЧНОГО ИНТЕРВАЛА КОАКСИАЛЬНЫХ МЕР

В статье рассмотрены вопросы определения межповерочного интервала.

Yu.A. Palchun, C.V. Vladimirova, A.V. Kolpakov

Siberian Scientific-Research Institute of Metrology (SSRIM) 4 Dimitrova, Novosibirsk, 630004, Russian Federation; Siberian State Academy of Geodesy (SSGA) 10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

USE THE INTERPOLATIONS AND EXTRAPOLATIONS FUNCTIONS FOR DEFINITION CALIBRATION INTERVAL FOR COAXIAL LOAD

In article is considered of questions definition calibration interval.

В настоящее время в области метрологического обеспечения измерений комплексных параметров передачи и отражения в коаксиальных трактах широко используются меры за пределами их сроков службы. Таким образом, задача продления сроков службы мер является важной и актуальной. Она, в свою очередь требует решения задачи по определению сроков межповерочного интервала мер.

Выход из создавшегося положения заключается в использовании результатов многолетних измерений (поверки) с целью определения непрерывных функций интерполирующих и экстраполирующих результаты измерений во времени. В качестве таких функций могут быть использованы сплайн-функции [1-2].

Сплайн-функции – это новая быстро развивающаяся область теории приближения функций и численного анализа. Получив распространение в 60-х годах, главным образом как средство интерполяции сложных кривых, сплайны в дальнейшем стали важным методом для решения разнообразных задач вычислительной математики и прикладной геометрии. Крупный вклад в развитие теории сплайн-функций и ее приложений внесли сибирские ученые.

По сравнению с классическим аппаратом приближения многочленами сплайн-функции обладают, по крайней мере, двумя важными преимуществами. Во-первых, бесспорно, лучшими аппроксимативными свойствами и, во-вторых, удобством реализации построенных на их основе алгоритмов.

Методы сплайн-функций в настоящее время широко применяются в вычислительной математике и инженерной практике. Между тем, существующие по данной проблеме монографии адресованы в первую очередь математикам, занимающимся теорией сплайнов или обоснованием ее приложений в численном анализе и систематической информации о вычислительной специфике сплайнов.

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам аппроксимации функций одной переменной, а также аппроксимации кривых и поверхностей. Особенно детально исследуются сплайны невысоких степеней (первой), хорошо зарекомендовавшие себя при решении самых разнообразных задач. Чтобы в оценках погрешности приближений получать достаточно «хорошие» или даже точные константы, пригодные для практического использования, разработан метод их вычисления с применением ЭВМ. Достаточно полно изложены задачи сглаживания экспериментальных данных, непосредственно примыкающие к проблемам аппроксимации. На основе изучения аппроксимаций рассмотрены методы численного дифференцирования и интегрирования функций.

Большинство численных методов решения задач математического анализа так или иначе связано с аппроксимацией функций. Это и особенно задачи приближения функций (интерполяция, сглаживание, наилучшее приближение) и задачи, в которых аппроксимация присутствует как промежуточный этап исследования (численное дифференцирование и интегрирование, численное решение дифференциальных и интегральных уравнений).

Типичной задачей приближения является задача интерполяции: по заданной таблице чисел $(x_i, f(x_i)), i = 0, \dots, N$, восстановить функцию $f(x)$ с той или иной точностью на отрезке $[a, b]$ действительной оси. Классический метод ее решения состоит в построении интерполяционного многочлена Лагранжа, определяемого равенством

$$L_N(x) = \sum_{i=0}^N f(x_i) \frac{\omega_N(x)}{(x - x_i) \omega_N'(x_i)},$$

$$\omega_N(x) = \prod_{i=0}^N (x - x_i).$$

Хотя согласно теореме Вейерштрасса всякая непрерывная функция $f(x)$ на отрезке $[a, b]$ может быть как угодно хорошо приближена многочленами, практические возможности применения Лагранжа ограничены. Прежде всего, используя подобный аппарат, можно уверенно говорить, что, выбрав достаточно большое число узлов интерполяции, получится хорошее приближение интерполируемой функции. Однако, как показывает ряд простых примеров, это часто нельзя гарантировать.

С.Н. Бернштейном (1916 г.) было установлено, что последовательность интерполяционных многочленов Лагранжа $\{L_N(x)\}$, построенных для

непрерывной функции $f(x)=|x|$ на отрезке $[-1, 1]$ по равностоящим узлам ($x_0 = -1, x_N = 1$), с возрастанием N не стремится к $f(x)$. Еще более любопытен другой пример, восходящий к Рунге (1901 г.) и состоящий в том, что указанный интерполяционный процесс не сходится на $[-1, 1]$ даже на гладкой сколь угодно раз дифференцируемой функции $f(x) = (1 + 25x^2)^{-1}$.

В обоих случаях

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \max_{-1 < x < 1} |f(x) - L_N(x)| = \infty.$$

Иногда эти трудности удается преодолеть путем специального выбора узлов интерполяции или за счет перехода к каким-либо обобщенным многочленам. Однако такой путь, как правило, весьма усложняется вычислениями и к тому же не избавляет от второй проблемы – быстрого накопления ошибок округления с ростом степени многочлена. Поэтому на практике для того, чтобы достаточно хорошо приблизить функцию, вместо построения интерполяционного многочлена высокой степени используют интерполяцию кусочными многочленами.

Примером такого рода является кусочно-линейная интерполяция. В общем случае отрезок $[a, b]$ точками $a = \zeta_0 < \zeta_1 < \dots < \zeta_n = b$ разбивается на части и на каждом промежутке $[\zeta_i, \zeta_{i+1}]$, $i = 0, \dots, n-1$, строится свой интерполяционный многочлен. Полученные таким образом многочлены (обычно одной и той же степени) дают интерполяцию функции $f(x)$ на всем отрезке $[a, b]$, которая, вообще говоря, не обеспечивает гладкого перехода от одного звена к другому и может быть даже разрывной, если точки ζ_i , $i = 0, \dots, n-1$, не включаются в число узлов интерполяции. Это допустимо, если не требуется восстанавливать функцию с заданной степенью гладкости. В частности, различные таблицы составляются с таким шагом, чтобы промежуточные значения функции с принятой точностью можно было вычислить с помощью линейной или квадратичной интерполяции. Для гладкого восстановления таблично заданной функции нужно увеличить степень составляющих многочленов, а остающиеся свободными коэффициенты определять из условий гладкого сопряжения многочленов на соседних промежутках. Получающиеся при этом гладкие кусочно-многочленные функции с однородной структурой (составленные из многочленов одной и той же степени) называются сплайн-функциями или просто сплайнами. Простейший и исторически самый старый пример сплайна – ломаная.

В докладе рассматриваются результаты исследования указанных вопросов применительно к эталонным мерам СВЧ в коаксиальных трактах.

В докладе показано, что использование сплайн-функций позволяет решить вопросы, связанные с непрерывным временным представлением параметров мер, но и вопросы, связанные с определением межповерочных интервалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Завьялов, Ю.С. Методы сплайн-функций /Ю.С. Завьялов, Б.И.Квасов, В.Л. Мирошниченко // – М.: Наука, 1980. – 352 с.

2. Крылов, А.Н. Лекции о приближенных вычислениях / А.Н. Крылов // – М.: Наука, 1950. – 250 с.

© Ю.А. Пальчун, С.В. Владимирова, А.В. Колпаков, 2010

РАДИАЦИОННЫЙ МЕТОД ПОВЕРКИ ДАТЧИКОВ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА НА ОСНОВЕ АДИАБАТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

Предложен и теоретически обоснован радиационный метод формирования теплового потока заданной плотности. Разработана экспериментальная измерительная установка, позволяющая исследовать этот метод.

N.A. Kurbatova, V.Ya. Cherepanov

Siberian Scientific-Research Institute of Metrology (SSRIM) 4 Dimitrova, Novosibirsk, 630004, Russian Federation; Siberian State Academy of Geodesy (SSGA) 10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

RADIATING METHOD VERIFICATION OF A HEAT FLUX SENSORS ON A BASIS ADIABATICALLY EMITTER

The radiating method of formation of a thermal flow of given density is offered and theoretically proved. The experimental measuring installation allowing to investigate this method is developed.

В последние годы для решения вопросов рационального использования энергетических ресурсов получили широкое распространение и применение средства измерений плотности теплового потока и появилась необходимость повышения уровня их метрологического обеспечения.

Для решения этих задач в ФГУП «СНИИМ» создан Государственный первичный эталон единицы поверхностной плотности теплового потока и утвержден под номером ГЭТ 172-2008 [1]. В настоящее время завершается утверждение Государственной поверочной схемы для средств измерений поверхностной плотности теплового потока в диапазоне от 1 до 10 000 Вт/м². В качестве рабочих эталонов поверочная схема предусматривает использование теплотрических установок различных принципов действия. В данной работе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований радиационного метода передачи единицы плотности теплового потока от теплотрической установки рабочим средствам измерений, основанным на использовании термоэлектрических датчиков теплового потока [2].

Формирование теплового потока плотностью q в радиационном методе основано на законе Стефана-Больцмана:

$$q = \varepsilon \sigma (T_i^4 - T_a^4), \quad (1)$$

где ε – эффективный интегральный коэффициент черноты излучения в системе излучатель-датчик теплового потока; σ – константа Стефана-Больцмана; T_0 , T_δ – значения абсолютной температуры излучателя и датчика.

Если $T_o \gg T_\partial$, то закон принимает вид

$$q = \varepsilon \sigma T_o^4. \quad (2)$$

В другом случае, когда $T_o \approx T_\partial$, закон (1) можно представить в виде

$$q = 4\varepsilon \sigma T_i^3 (\check{N}_i - \check{N}_a). \quad (3)$$

Множители перед разностью температуры в этом случае можно интерпретировать как коэффициент теплоотдачи излучением α_ε , который равен

$$\alpha_\varepsilon = 4\varepsilon \sigma T_o^3. \quad (4)$$

Для получения плотности теплового потока, например, равной 1 Вт/м², необходимую разность температуры ΔT между излучателем и датчиком, как следует из (3) и (4), можно рассчитать по формуле

$$\Delta \check{N} = (\check{N}_i - \check{N}_a) = q / \alpha_\varepsilon. \quad (5)$$

Для больших значений q для расчета необходимо использовать равенства (1) или (2).

Рабочий эталон на основе теплотрической установки предполагает возможность самостоятельного воспроизведения единицы плотности теплового потока и ее передачи теплоизмерительным приборам и системам. Поверка такой установки осуществляется датчиками, входящими в состав первичного эталона. В качестве источника теплового потока в настоящей работе предложено использовать излучатель, окруженный открытой адиабатической оболочкой [3, 4]. При этом через открытое пространство адиабатической оболочки выходит тепловой поток Q_o , который в стационарном температурном режиме равен мощности P_H источника нагрева излучателя. Если перекрыть это открытое пространство датчиком теплового потока, то через него будет проходить тепловой поток, плотность которого q_o определится соотношением

$$q_o = Q_o / F_o = P_H / F_o, \quad (6)$$

где F_o – площадь датчика.

Следовательно, измеряя мощность нагревателя, площадь воспринимающей тепловой поток поверхности и сигнал E датчика, можно рассчитать значение его коэффициента преобразования K , который является основной метрологической характеристикой датчика:

$$K = P / F E. \quad (7)$$

Схема теплотрической установки, реализующей описанный метод, представлена на рис. 1. Поверяемый датчик 3 устанавливают на пеноплексовое теплоизолирующее кольцо, расположенное на выходном отверстии теплового излучателя 4. Нагреватель представляет собой медный стакан, по поверхности которого бифилярно намотан нагреватель из изолированного манганинового провода. Нагреватель снабжен токовыми и потенциальными выводами, которые подключены, соответственно, к стабилизированному источнику питания постоянного тока 5 и к входным клеммам U_H многоканального измерителя постоянного напряжения, имеющего погрешность около 5 мкВ. В токовую цепь нагревателя последовательно включена мера R_0 электрического сопротивления, потенциальные зажимы U_0 которой также подключены к клеммам многоканального измерителя. Излучатель расположен внутри адиабатического экрана 6, изготовленного из меди и повторяющего форму излучателя. Внешняя поверхность излучателя и внутренняя поверхность экрана покрыты полированной алюминиевой фольгой, которая сводит к минимуму радиационную составляющую теплообмена между излучателем и экраном. Внешняя поверхность экрана снабжена нагревателем из константанового провода. Для снижения влияния температуры среды экран закрыт слоем теплоизоляции 7. Температура экрана измеряется с помощью медь-константановой термопары 8, сигнал которой e_3 поступает на один из входов измерителя.

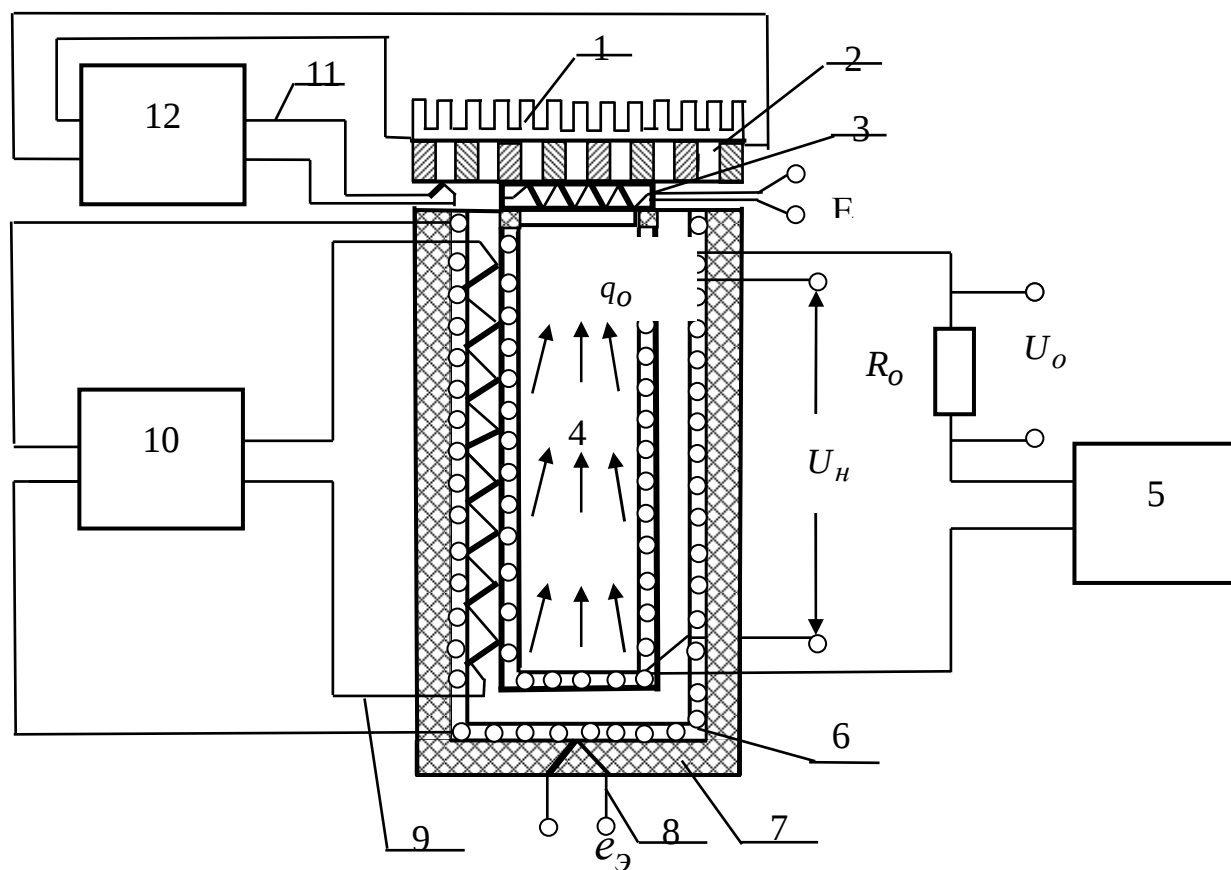


Рис. 1. Схема теплотметрической установки:

1 – радиатор, 2 – термобатарея, 3 – датчик, 4 – излучатель, 5 – источник питания, 6– адиабатический экран, 7 – теплоизоляция, 8 – термопара экрана, 9 – дифференциальная термопара, 10 – регулятор температуры экрана, 11 и 12 – термопара и регулятор температуры Пельтье-батареи

Адиабатизация излучателя достигается поддержанием равенства его температуры и температуры экрана с помощью дифференциальной термопары 9, подключенной к регулятору 10, имеющему разрешающую способность около 0,5 мкВ. Термопара изготовлена из термоэлектродов манганин-константан и содержит 8 пар спаев.

На внешнюю поверхность датчика 3 устанавливают Пельтье-батарею 2. Температура ее поверхности, контактирующей с датчиком, поддерживается постоянной с помощью термопары 11 и регулятора 12. Для увеличения теплоотдачи Пельтье-батареи на ее верхней поверхности расположен радиатор 1.

Условием адиабатичности излучателя является малость теплового потока $Q_{оэ}$ между излучателем и экраном, по сравнению с мощностью P_H нагревателя. Значение этого теплового потока зависит, прежде всего, от значения R_Σ теплового сопротивления пространства, например, воздушного зазора, а также значения разности температур между излучателем и экраном. Как показано в [3], значение R_Σ можно определить по формуле:

$$R_\Sigma = [\lambda/d + \alpha + 4\varepsilon\sigma T_o^3]^{-1}, \quad (8)$$

где λ , d – теплопроводность и толщина зазора; α – коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности излучателя, обращенной к экрану; ε – коэффициент черноты в системе образец-экран; T_o – температура излучателя.

В табл. 1 приведены рассчитанные по формуле (8) значения теплового сопротивления R_Σ и соответствующие значения остаточного теплового потока плотностью $Q_{оэ}$ для разных сред. Значения этой плотности рассчитаны по формуле:

$$q_{оэ} = \Delta T_{оэ} / R_\Sigma, \quad (9)$$

где $\Delta T_{оэ}$ – разность температур излучателя и экрана, равная 3 мК.

Таблица 1

Среда	λ , Вт/(м·К)	d, мм	α , Вт/(м ² ·К)	ε	T_0 , К	R_Σ , (К·м ²)/Вт	$Q_{оэ}$, Вт/м ²
Вакуум	0	3	0	0,05	400	1,4	0,02
Воздух	0,03	3	5	0,05	200	0,04	0,12
Воздух	0,03	3	10	0,05	400	0,01	0,3

Условие адиабатичности, в общем случае, имеет вид:

$$Q_{o\partial} \leq \delta_A Q_o, \quad (10)$$

где δ_A – допустимое значение относительного вклада остаточного теплообмена в суммарную погрешность формирования теплового потока Q_o на выходном отверстии излучателя.

Следовательно, нижний предел задаваемой излучателем плотности q_o теплового потока, как следует из (10), не должен быть ниже значения, определяемого неравенством

$$q_o \geq q_{o\partial} F_{o\partial} / \delta_A F_o, \quad (11)$$

где $F_{o\partial}$ – площадь поверхности теплообмена между излучателем и экраном; F_o – площадь выходного отверстия излучателя.

Для значений $q_{o\partial} = 0,3 \text{ Вт/м}^2$, $F_{o\partial} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ (длина излучателя около 100 мм, диаметр 25 мм); $\delta_A = 0,01$; $F_o = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ (диаметр – 20 мм) из (11) следует, что $q_o \geq 800 \text{ Вт/м}^2$, а для $q_{o\partial} = 0,12$ значение q_o должно превышать 200 Вт/м^2 .

Отсюда следует, что для выполнения адиабатических условий для меньших значений q_o необходим вакуум. В табл. 2 приведены результаты сравнения значений плотности теплового потока q_o , задаваемого адиабатическим излучателем и q_x , измеренного эталонным датчиком № 120 с коэффициентом преобразования $22,5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{мВ)}$, полученные в воздушной среде.

Таблица 2

№ п/п	τ , час	T_o , °C	$\Delta T_{o\partial}$, °C	P_n , Вт	q_o , Вт/м ²	q_x , Вт/м ²	E_x , мВ	δ , %
1	11 ⁰⁰	23,15	0,003	0,08	180,3	184,3	8,190	5,4
	13 ¹⁰	25,40	0,003			190,6	8,470	
2	12 ⁰⁷	24,07	0,003	0,08	179,3	167,0	7,424	0,5
	14 ⁰⁵	25,05	0,003			178,7	7,930	

Расхождение сравниваемых значений плотности теплового потока в опыте № 1 составляет около 6 %, а во втором – около 0,3 %. Как видно из таблицы возможной причиной заметного расхождения значений в первом опыте является недостаточная стабильность температурного режима излучателя.

В результате выполнения работы предложен и теоретически обоснован радиационный метод формирования теплового потока заданной плотности и разработана экспериментальная измерительная установка, позволяющая

определять метрологические характеристики датчиков теплового потока при их поверке и калибровке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лозинская, О.М. Государственный первичный эталон единицы поверхностной плотности теплового потока [Текст] / О.М. Лозинская, Н.И. Рыбак, В.Я. Черепанов, Э.М. Шейнин, В.А. Ямшанов // Измерительная техника. – 2009. - № 10. – С. 52-55.
2. ГОСТ 30619-98. Энергосбережение. Преобразователи теплового потока термоэлектрические общего назначения. Общие технические условия. – Введ. 2006 – 01 – 01. – Киев: Госстандарт Украины, 2000. – 21 с.
3. Черепанов, В.Я. Адиабатический метод формирования и измерения тепловых потоков в эталонах физических величин [Текст] / В.Я. Черепанов // Сб. материалов научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2006». Специализированное приборостроение, метрология. – СГГА. – Новосибирск, 2006. – т.4, ч.2. – С. 201-206.
4. Черепанов, В.Я. Разработка методов и средств метрологического обеспечения измерений коэффициентов теплового излучения материалов [Текст] / В.Я. Черепанов // Сб. материалов научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2005». Специализированное приборостроение, метрология. – СГГА. – Новосибирск, 2005. – т.6. – С. 176-181.

© Н.А. Курбатова, В.Я. Черепанов, 2010

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований теплотрического метода измерений теплового потока на поверхности отопительных приборов. Метод основан на использовании накладных датчиков теплового потока и температуры.

A.D. Zonova, V.Ya. Cherepanov

Siberian Scientific-Research Institute of Metrology (SSRIM) 4 Dimitrova, Novosibirsk, 630004, Russian Federation; Siberian State Academy of Geodesy (SSGA) 10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

RESEARCH OF A NON-DESTRUCTOIN METHOD OF HEATED DEVICES HEAT POWER MEASUREMENTS

In article are given the results of the experimental researches of the heat measurements method of the heat flow on surfaces heated devices. The method is based on use of additional sensors of the heat flow and the temperature.

Неразрушающие методы измерений количества теплоты и теплового потока (тепловой мощности) в системах водяного теплоснабжения, например, ультразвуковые, имеют целый ряд преимуществ:

- Нет необходимости встраивать расходомерный участок в трубу;
- Исключены потери давления на расходомерном участке;
- Датчики расхода не погружены в измеряемую среду, а значит, они не загрязняются, и на них не образуется осадок;
- Возможность использования датчиков там, где нежелательно вмешательство в измеряемую среду.

Однако при реализации ультразвукового метода необходимо выполнить ряд требований, которые обязательны при монтаже накладных датчиков. Для этого необходимо соблюдать следующие правила:

- Необходимо убедиться, что верно подобраны датчики под конкретные условия эксплуатации, то есть с необходимыми размерами и рабочей частотой;
- Крепление датчиков к трубе должно производиться очень тщательно, с учётом точного позиционирования;
- Длина прямого участка, предшествующего расходомерному, должна быть не менее $20 D_y$;
- Желательно избегать установки накладных датчиков на участках, где есть двойные и тройные колена, либо ставить датчики как можно дальше от этих местных сопротивлений;

– Необходимо иметь точные знания о свойствах измеряемой среды, а также размерах, материале и состоянии трубы, по которой она протекает.

Теплометрический метод неразрушающих измерений, рассматриваемый в данной работе, также основан на использовании накладных датчиков, но не ограничен необходимостью выполнения таких требований и, кроме того, имеет ряд преимуществ. Мощность P , выделяемая отопительной системой, на расходомерном участке трубопровода, подводящего теплоноситель к отопительному прибору, определяется по формуле [1, 2]:

$$P_G = K_S G \Delta t, \quad (1)$$

где K_S – коэффициент, учитывающий калорические свойства теплоносителя (для воды его часто называют коэффициентом Штука) и зависящий от давления и температуры теплоносителя; G – массовый расход теплоносителя; Δt – разность температур на расходомерном участке.

Аналогично рассчитывается мощность, выделяемая ОП:

$$P_x = K_S G \Delta T, \quad (2)$$

где ΔT – разность температур на ОП.

Расход теплоносителя, как следует из (1), определяется по формуле:

$$G = \frac{P_G}{K_S \Delta t}. \quad (3)$$

Подставляя значение расхода G в формулу (2), получаем:

$$P_x = \frac{P_G \Delta T}{\Delta t}. \quad (4)$$

Свойства реального теплоносителя могут отличаться от свойств дистиллированной воды, которые принято учитывать коэффициентом Штука K_S . Из выражения (4) видно, что этот коэффициент не участвует при расчёте мощности, выделяемой отопительным прибором. Следовательно, теплометрический метод неразрушающих измерений пригоден для любых теплоносителей и не требует знания их свойств.

Таким образом, эффективность работы ОП можно определять путём измерений теплового потока и разности температур на расходомерном участке, а также на входе и выходе ОП с помощью накладных датчиков.

В качестве датчиков теплового потока использовались термоэлектрические датчики, называемые «датчиками типа вспомогательной стенки» [3, 4]. Такие датчики представляют собой пластинку (рис. 1), размещаемую на поверхности тела (отопительной системы), чтобы вектор теплового потока был перпендикулярен рабочим плоскостям датчика.

Зная электрический сигнал, измеренный с помощью преобразователя теплового потока, который часто называют контактным тепломером, можно рассчитать плотность теплового потока по формуле:

$$q = K E, \quad (5)$$

где K – коэффициент преобразования, Вт/(м²·мВ), зависящий от значений теплового сопротивления и чувствительности дифференциальных

термопреобразователей, который определяют экспериментальным путём; E – электрический сигнал датчика, измеряемый милливольтметром.

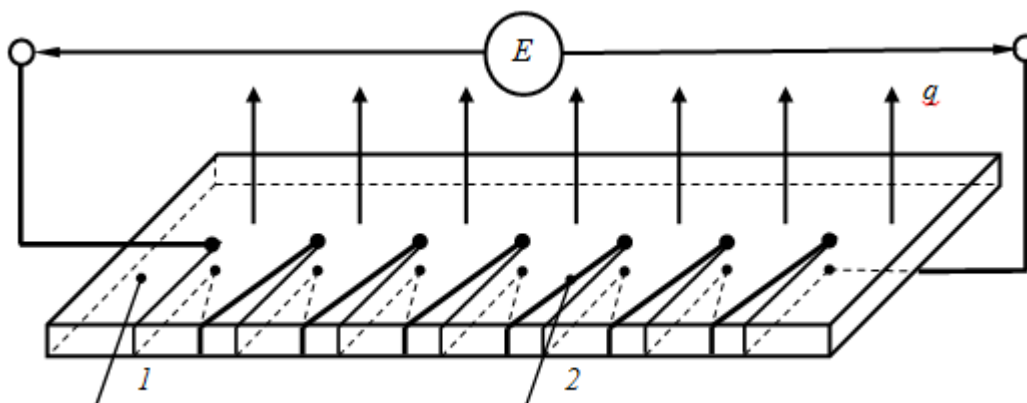


Рис. 1. Устройство чувствительного элемента контактного преобразователя теплового потока:

1 – слой материала с постоянным термическим сопротивлением; 2 – дифференциальный термопреобразователь

На рис. 2 приведена принципиальная схема расходомерной установки, которая была собрана в ФГУП «СНИИМ» для экспериментальных исследований предлагаемого метода. На поверхность контрольного (расходомерного) участка трубы, подходящей к ОП, прикрепляются накладные датчики разности температур и теплового потока, которые подсоединяются к милливольтметру с помощью переключателя.

Разности температур для датчиков 7 в соответствии с рис. 2 можно рассчитать по формулам:

$$\Delta T = \frac{\Delta E}{n_1 S_1}, \quad (6)$$

$$\Delta t = \frac{\Delta e}{n_2 S_2}, \quad (7)$$

где ΔE и Δe – значения электрических сигналов (термо-э.д.с.) датчиков, расположенных на расходомерном участке и ОП соответственно; n_1, n_2 – общее число пар спаев дифференциальных термопар в датчиках; S_1, S_2 – чувствительность термопар.

Подставив выражения (5), (6) и (7) в формулу (4), получим:

$$P_x = \frac{q F \Delta T}{\Delta t} = \frac{K E F \Delta E n_2 S_2}{n_1 S_1 \Delta e}, \quad (8)$$

где F – площадь поверхности расходомерного участка.

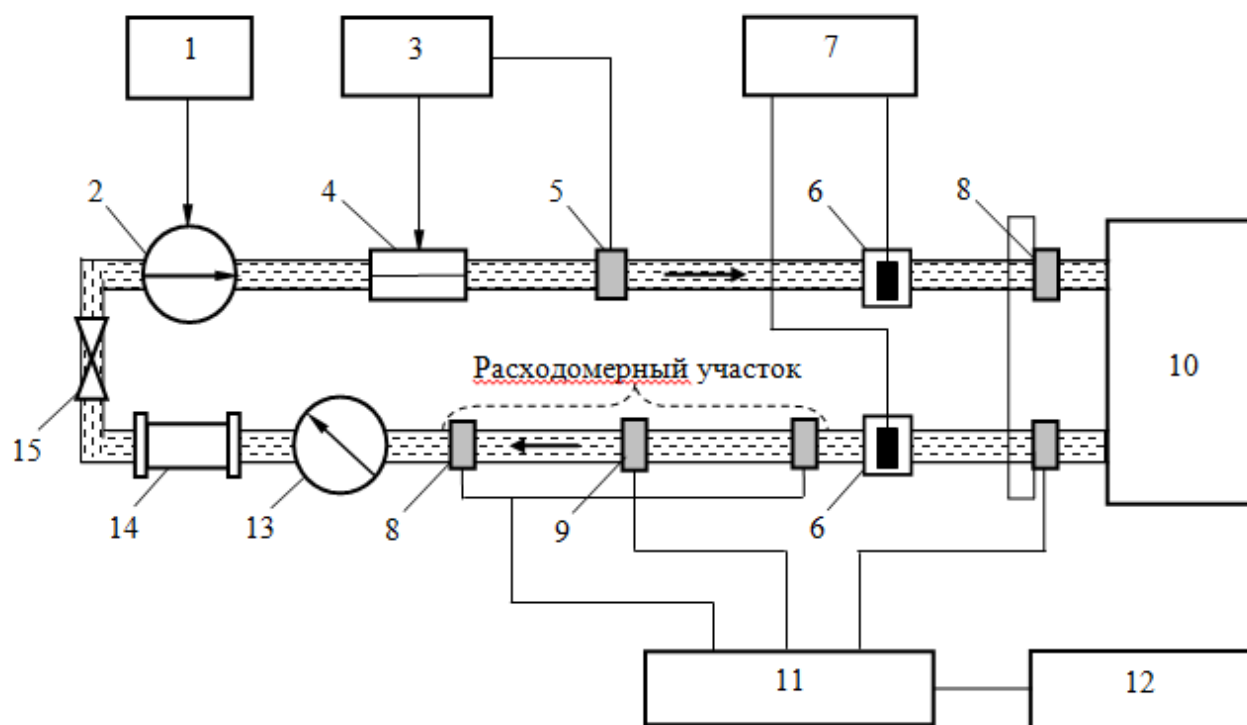


Рис. 2. Принципиальная схема экспериментальной установки:

1 – блок управления расходом; 2 – насос; 3 – регулятор температуры; 4 – нагреватель; 5 – контрольный датчик температуры; 6 – эталонные термопреобразователи № 1 и № 2; 7 – измерительно-вычислительный комплекс; 8 – накладные датчики разности температур; 9 – датчик теплового потока; 10 – отопительный прибор; 11 – переключатель; 12 – милливольтметр; 13 – манометр; 14 – эталонный расходомер; 15 – вентиль

При условии, что $n_1 = n_2$, $S_1 = S_2$, получаем уравнение измерений мощности, выделяемой теплоносителем на поверхности ОП:

$$P_x = \frac{K E F \Delta E}{\Delta e}. \quad (9)$$

Результаты проведённых измерений параметров теплоносителя в реальных условиях на рассмотренной экспериментальной установке приведены в табл. 1 и 2.

Значения электрических сигналов накладных датчиков позволяют рассчитать разность температур каждого датчика по формулам (6) и (7), а также плотность теплового потока по формуле (5), расход теплоносителя по формуле (3) и мощность, выделяемую отопительным прибором, по формуле (9).

Из анализа табл. 2 следует, что расхождение результатов измерений тепловой мощности ОП, полученных с помощью накладных датчиков и контрольного теплосчётчика, составляет 6,83 %, а расхождение результатов измерений расхода составляет 19,45 %.

Таблица 1. Значения термо-э.д.с. датчиков разности температур и теплового потока (при температурах в помещении + 25°C, на улице – 5°C)

Значения термо-э.д.с. датчиков, мкВ		
Датчик разности температур на расходомерном участке	Датчик разности температур на ОП	Датчик теплового потока
Значения термо-э.д.с. датчиков с заданными температурой + 70°C и расходом 0,284 кг/с		
15,50	225,00	3,80
15,00	222,50	3,80
15,00	222,00	3,80
15,50	224,50	3,80
15,00	222,50	3,75
15,00	222,00	3,75
15,50	225,00	3,80
15,50	225,00	3,80

Таблица 2. Разность температур, плотность теплового потока, расход теплоносителя и мощность, выделяемая отопительным прибором

Разность температур на расходомерном участке, °C	Разность температур на ОП, °C	Плотность теплового потока, Вт/м ²	Расход теплоносителя, кг/с	Мощность, выделяемая ОП, Вт
Значения термо-э.д.с. датчиков с заданными температурой + 70°C и расходом 0,284 кг/с				
0,055	0,804	760	0,226	761,226
0,054	0,795	760	0,233	777,860
0,054	0,793	760	0,233	776,112
0,055	0,802	760	0,226	759,534
0,054	0,795	750	0,230	767,625
0,054	0,793	750	0,230	765,900
0,055	0,804	760	0,226	761,226
0,055	0,804	760	0,226	761,226
Средние значения				
0,055	0,80	757,50	0,23	766,34

Таким образом, можно сделать вывод, что предлагаемый метод позволяет:

– С достаточной для практических приложений точностью измерять мощность, выделяемую ОП, и расход теплоносителя в отопительной системе;

– В целом определять эффективность работы отопительной системы по измеренным параметрам теплоносителя и, в частности, может быть использован для экспресс-определений работоспособности отопительных приборов.

Рассмотренный в статье теплотрический метод даёт возможность измерять количество теплоты, выделяемой системой теплоснабжения, накладными датчиками без нарушения её целостности. Это открывает перспективы использования метода для решения многих задач в сфере рационального использования теплоэнергетических ресурсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черепанов, В. Я. Метрологическое обеспечение измерений основных параметров теплообмена и теплоносителя: Материалы 3-й Международной научно-практической конференции «Теплосиб-2004». – Новосибирск, 2004. – С. 67 – 76.
2. Черепанов, В. Я. Методы и средства метрологического обеспечения измерений параметров теплообмена и теплоносителей: дис. док.техн.наук / Черепанов Виктор Яковлевич. – Новосибирск, 2005. – 276 с.
3. Геращенко, О.А. Основы теплотрии. – Киев: Наукова думка, 1971. – 192 с.
4. ГОСТ 30619-98. Энергосбережение. Преобразователи теплового потока термоэлектрические общего назначения. Общие технические условия. – Введ. 2006 – 01 – 01. – Киев: Госстандарт Украины, 2000. – 21 с.

© А.Д. Зонова, В.Я. Черепанов, 2010

КОНДУКТИВНЫЙ КОМПАРАТОР ДЛЯ ПОВЕРКИ ДАТЧИКОВ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА

В статье рассмотрен кондуктивный компаратор, предназначенный для поверки и калибровки датчиков теплового потока. Описан принцип действия. Представлена конструкция установки.

D.O. Priashin, D.P. Trotsenko, V.Ya. Cherepanov

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA), 10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation, Siberian Scientifically Research Institute of Metrology (SSRIM), 4 pr. Dimitrova Ul., Novosibirsk, 630104, Russian Federation

THE CONDUCTION COMPARATOR FOR CALIBRATION OF HEAT FLUX SENSORS

In article is considered the conduction comparator intended for calibration of heat flux sensors. The measurement principle is described. The installation design is presented.

Одним из основных направлений прикладной метрологии являются работы по передаче единицы физической величины. Среди большого разнообразия величин, наиболее важной в сфере энергосбережения является тепловой поток. На сегодняшний день существуют различные датчики, измеряющие эту физическую величину. При поверке любого первичного преобразователя требуется подтверждение его метрологических характеристик. Главной характеристикой датчика теплового потока является коэффициент преобразования, устанавливающий связь сигнала датчика с измеряемой плотностью теплового потока.

Согласно поверочной схеме [1] определение метрологических характеристик можно выполнить посредством компаратора. Существуют различные способы создания теплового потока в подобных устройствах: конвективный, кондуктивный и радиационный. Для каждого устройства сравнения (компаратора) важным является создание условий, при которых будет минимизирована методическая погрешность. Присутствие датчика в тепловом поле приведет к его искажению и тем самым к погрешности измерений. Эта особенность особенно заметно проявляется в кондуктивном компараторе. Она обусловлена свойствами и конструкцией датчиков, а также способом их монтажа [2].

Для передачи единицы измерений датчикам теплового потока с минимальной методической погрешностью разработан кондуктивный компаратор, особенностью которого является наличие большого теплового сопротивления теплотметрического блока. Это позволяет практически исключить искажающее влияние датчиков на тепловое поле.

Тепловая модель измерения плотности теплового потока контактными датчиками приведена на рис. 1.

Тепловой поток, пронизывающий два материала, может быть определен по формуле:

$$q = k(T_1 - T_2), \quad (1)$$

где T_1 – температура среды толщиной d_1 и теплопроводностью λ_1 , T_2 – температура среды толщиной d_2 и теплопроводностью λ_2 , k – коэффициент теплопередачи.

В этой системе температура $T_1 > T_2$, что и задаёт направление потока. Коэффициент k определяется следующим выражением:

$$k = \left[\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2} \right]^{-1}, \quad (2)$$

где α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи на поверхности сред.

В случае их надёжного контакта с другими твёрдыми средами коэффициенты α_1, α_2 стремятся к бесконечности. В этом случае выражение (1) принимает вид:

$$k = \left[\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} \right]^{-1}. \quad (3)$$

Тепловое сопротивление определяется формулой:

$$R = \frac{d}{\lambda}. \quad (4)$$

Поэтому выражение (3) с учетом (4) принимает вид:

$$k = [R_1 + R_2]^{-1}. \quad (5)$$

Таким образом, тепловой поток для рассматриваемой тепловой модели определяется выражением:

$$q = \frac{T_1 - T_2}{R_1 + R_2}. \quad (6)$$

Формула (6) определяет тепловой поток, создаваемый в кондуктивных компараторах, где используется принцип большого теплового сопротивления. Таким образом, если $R_1 \gg R_2$, то при наличии объекта с тепловым сопротивлением R_2 , тепловой поток изменится, но незначительно [3]. Согласно

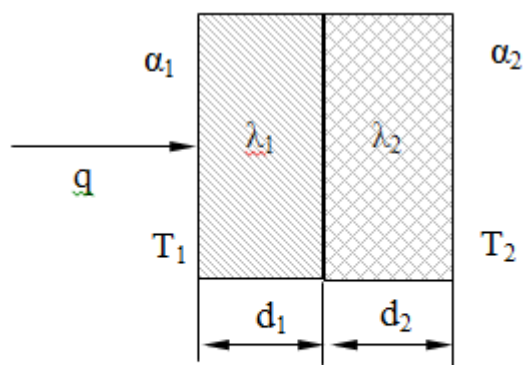


Рис. 1. Тепловая модель измерений теплового потока

представленному принципу таким объектом может выступать поверяемый датчик.

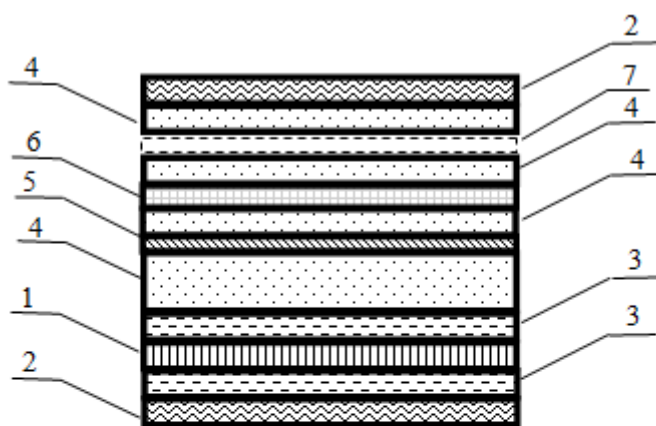


Рис. 2. Схема теплотрического блока:

1 – нагреватель, 2 – холодильник, 3 – асбестовая плита, 4 – поролоновая плита, 5 – тепловыравнивающая пластина, 6 – датчик неоднородности теплового поля, 7 – область компарирования

Это принцип реализован в теплотрическом блоке, схема которого представлена на рис. 2.

Тепловой поток задаётся разностью значений температуры нагревателя (1) и холодильника (2). В качестве теплоизоляции выступают асбестовые (3) и поролоновые (4) плиты. Асбест предназначен для изоляции поролоновых слоев от зоны высокой температуры. Поролоновые плиты служат для создания необходимого теплового поля. Для выравнивания теплового поля в ячейке применена дюралевая плита (5). Контроль неоднородности осуществляется с помощью специального датчика (6). Компарлируемые датчики теплового

потока помещаются в пространство между слоями поролона (7).

Тепловое сопротивление датчиков можно рассчитать по формуле (1): толщина $d = 0,02$ мм, теплопроводность $\lambda = 0,28$ Вт/(м²*К), $R_2 = 0,02/0,28 = 0,07$ м³*К/Вт. Для выполнения принципа неизменности теплового потока R_1 теплоизоляции должно быть значительно больше R_2 датчика. В противном случае произойдет искажение теплового поля датчиком. Тепловой поток будет стремиться либо обогнуть датчик, либо сконцентрироваться в нем. В первом случае произойдет завышение коэффициента преобразования, во втором произойдет его занижение.

Предложенный принцип работает, если тепловое сопротивление теплоизоляции много больше теплового сопротивления датчика как минимум на два порядка. Можно произвести расчет R_1 применяемой теплоизоляции. В теплотрическом блоке применяется поролон толщиной $d=50$ мм и теплопроводностью $\lambda=0,03$ Вт/(м²*К), и асбестовая плита толщиной $d=50$ мм и теплопроводностью $\lambda=0,05$ Вт/(м²*К). Таким образом, тепловое сопротивление теплоизоляции, равное сумме тепловых сопротивлений поролона и асбестовых плит будет равно сумме:

$$R_1 = 0,5/0,03 + 0,5/0,05 = 26,7 \text{ м}^3 \cdot \text{К} / \text{Вт}.$$

Тепловое сопротивление теплоизоляции в этом случае примерно в 380 раз больше теплового сопротивления датчика. Поэтому в области компарирования тепловое поле остаётся практически неизменным при размещении в нём датчика теплового потока.

Важным параметром кондуктивного компаратора является равномерность теплового поля и поэтому его требуется контролировать. Для этой цели был

спроектирован и изготовлен специальный датчик неоднородности теплового поля (ДНТП), схема которого приведена на рис. 3.

Он представляет собой систему из 16 независимых одиночных датчиков теплового потока, размещенных на одной подложке. Основой этих датчиков является тепловое сопротивление в виде слоя стеклотекстолита 1, а также дифференциальная термопара с термоэлектродами из медных и константановых проводников. Места контакта этих проводников 2 находится на расположенных напротив друг друга зонах по двум сторонам текстолита. Чувствительный элемент датчика имеет размер 33×33 см, позволяющий определить неоднородность теплового поля в 16-ти точках рабочей камеры. ДНТП подключен к 16-ти канальному прецизионному преобразователю сигналов «Теркон».

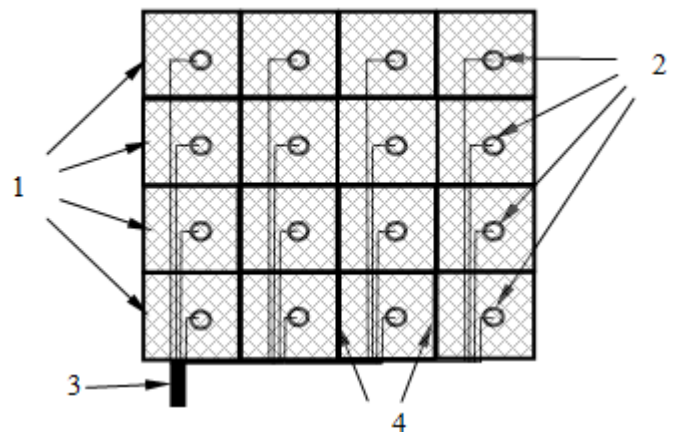


Рис. 3. Схема датчика для контроля неоднородности теплового поля:

1 – текстолит с медной фольгой (толщина меди 0,03мм), 2 – место спаев меди и константана, 3 – шлейф проводов, 4 – границы разделения текстолита на зоны

Теплометрический блок является ключевым элементом кондуктивного компаратора. Блок- схема компаратора представлена на рис. 4.

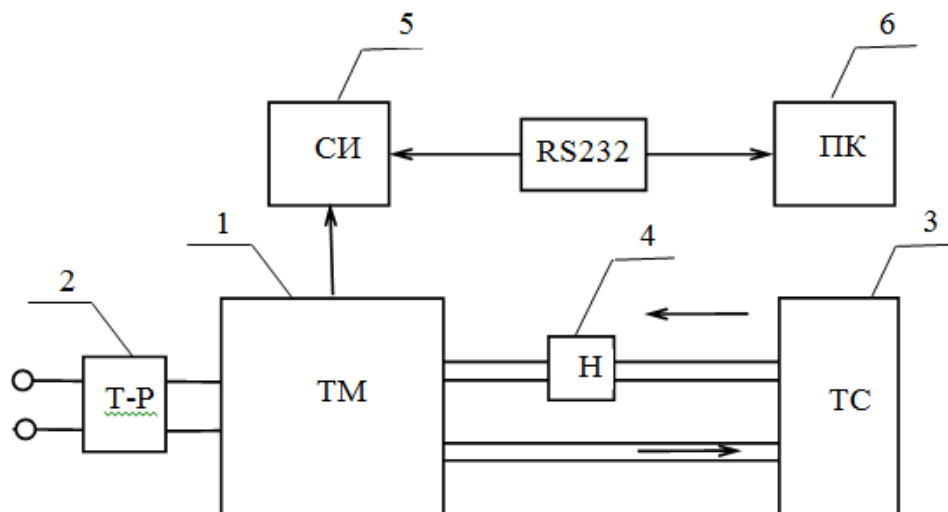


Рис. 4. Блок-схема компаратора теплового потока

1 – теплометрический блок, 2 – терморегулятор TC4S-24R, 3 – термостат «Термотест 150», 4 – насос, 5 – измеритель «Теркон», 6 – компьютер

Для создания однородного теплового поля в теплометрическом блоке необходима стабилизация температуры нагревателя и холодильника.

Температурой нагревателя управляет терморегулятор 2. Температура холодильника привязана к температуре термостатированной жидкости, которая задаётся в термостате 3 и прокачивается циркуляционным насосом 4 через теплообменники холодильников теплотрического блока, соединённые последовательно. Измерительная информация с ДНТП или с компарируемых датчиков теплового потока поступает на входы каналов измерителя 5. Измеритель соединён по линии связи через RS232 с ПК. Программное обеспечение позволяет архивировать данные, представлять измерительную информацию в графическом виде, дистанционно управлять процессом измерений.

Экспериментальное определение погрешности поверяемого датчика заключается в сравнении его сигнала с сигналом эталонного датчика при их размещении в рабочей камере теплотрического блока.

Разработанный компаратор позволяет проводить поверку одновременно нескольких датчиков различной формы с характерным поперечным размером до 300 мм, толщиной до 10 мм и с эффективной теплопроводностью более 0,2 м³*К/Вт в диапазоне плотности теплового потока от 5 до 150 Вт/м² при температуре от 20 до 120 °С. Благодаря достаточно высокой однородности и стационарности теплового поля относительная погрешность передачи единицы плотности теплового потока не превышает 2,5%. Эта характеристика отвечает требованиям новой поверочной схемы для средств измерений поверхностной плотности теплового потока и нормативных документов в сфере энергосбережения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. МИ 1855-88. Государственная поверочная схема для средств измерений поверхностной плотности теплового потока в диапазоне 10...1000 Вт/м². Методические указания //- Введ. 1988—01—01 .М: Изд-во стандартов, 1988. – 5 с.
2. Непчатова А.В., Черепанов В.Я., Ямшанов В.А. Влияние свойств датчиков теплового потока на погрешность измерений // Сборник материалов
3. Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2008». Т. 4. Ч. 2. Новосибирск: СГГА, 2008. – С .113–117.
4. Черепанов В.Я. Методы и средства метрологического обеспечения измерений параметров теплообмена и теплоносителя: дис. докт.техн.наук / Черепанов Виктор Яковлевич. – Новосибирск, 2005. – 297 с.

© Д.О. Пряшин, Д.П. Троценко, В.Я. Черепанов, 2010

СОЗДАНИЕ НОВЫХ СРЕДСТВ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ШКАЛЫ НА ОСНОВЕ МИНИАТЮРНЫХ РЕПЕРНЫХ ТОЧЕК

Приведены результаты разработки и исследования миниатюрных мер температуры. Рассмотрена возможность их применения для воспроизведения и передачи температурной шкалы.

A.F. Brodnikov, V.Ya. Cherepanov

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA), 10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

CREATION OF NEW MEANS OF REPRODUCTION AND TRANSFER OR TEMPERATURE SCALE ON THE BASIS OF TINY CONSTANT OF POINTS

The results of development and research of tiny measures of temperature are given. The opportunity of their application for reproduction and transfer of a temperature scale is considered

Энергетические проблемы стимулируют повышение точности измерений в целях учета и рационального использования энергетических ресурсов. Для России эти проблемы, несмотря на ее природные богатства, становятся все более актуальными, особенно, в области теплосбережения. Эта особенность обусловлена суровым климатом и длительным отопительным сезоном.

Учет тепла осуществляется в настоящее время теплоизмерительными приборами и системами, основой которых являются каналы измерений параметров теплоносителя (расхода, температуры и давления). Данная работа направлена на совершенствование, прежде всего, средств метрологического обеспечения измерений температуры, используемых при учете тепловой мощности и энергии в водяных системах теплоснабжения.

В настоящее время поверка термометров, входящих в состав теплосчетчиков, осуществляется, как правило, в жидкостных термостатах или калибраторах температуры. В термостатах значение температуры термостатирующей жидкости измеряют эталонными платиновыми термометрами, имеющими погрешность $0,01 \div 0,02$ °С. Аналогичную погрешность имеют твердотельные калибраторы температуры с встроенным эталонным термометром. Такой уровень точности эталонных средств температуры становится уже неудовлетворительным [1].

В данной работе рассматривается возможность использования миниатюрных реперных точек для повышения уровня точности воспроизведения и передачи температурной шкалы в наиболее востребованном при учете тепла диапазоне 30 ... 180 °С. Исследования, выполненные в ходе этой работы, привели к следующим выводам.

1. Наиболее надежными и стабильными носителями температурной шкалы являются реперные точки плавления-затвердевания чистых металлов [2].

2. Количество реперных точек в воспроизводимом диапазоне шкалы должно быть избыточным, а не минимально необходимым, как сейчас принято. В частности, существующая шкала температуры МТШ-90 в диапазоне температуры 30 ... 180 °С содержит лишь две реперные точки ($T_{Ga} \approx 30$ °С, $T_{In} \approx 156$ °С), через которые уверенно можно провести только прямую.

3. Для повышения метрологической надежности каналов температуры теплосчетчиков в этом диапазоне необходимо иметь минимум три точки. Поэтому хорошо бы иметь реперную точку температуры плавления-затвердевания натрия, расположенную приблизительно в середине диапазона (≈ 98 °С), а также других щелочных металлов: рубидия (39 °С), калия (63 °С), лития (180 °С) [3].

4. Реализация реперных точек щелочных металлов в традиционных «полногабаритных» ампулах, содержащих 1 кг и более высокочистых металлов, невозможна, так как это очень опасно и дорого.

5. Возможна реализация реперных точек на основе щелочных металлов в миниатюрных ампулах, содержащих менее 1 г высокочистого металла [4].

6. Длительность фазового перехода плавления-затвердевания обратно пропорционально скорости изменения температуры вблизи температуры перехода [5].

7. В адиабатических условиях (отсутствие теплообмена ампулы реперной точки с внешней средой) фазовый переход может длиться бесконечно, независимо от массы металла [3].

8. Миниатюрность ампул для воспроизведения реперных точек позволяет обеспечить их безопасность, невысокую стоимость, малую инерционность и незатруднительную транспортировку, обеспечивающую простоту их периодической поверки (аттестации), например, путем почтовой пересылки.

9. Миниампулы могут быть использованы в качестве эталонных мер температуры при поверке калибраторов (других мер температуры), а также при поверке различных термопреобразователей в жидкостных термостатах взамен традиционных эталонных платиновых термометров [3].

Полученные результаты экспериментальных исследований фазовых переходов плавления-затвердевания ряда металлов в миниатюрных ампулах, содержащих от 0,5 до 1 г металла, подтверждают перечисленные выводы.

На рис. 1 приведена зависимость температуры фазового перехода плавления натрия от времени. Видно, что стабильная температура сохраняется в пределах $\pm 2,5$ мК в течение почти 2-х часов.

Рис. 2 иллюстрирует фазовый переход плавления индия, входящего в перечень реперных точек шкалы МТШ-90.

Длительность «площадки» плавления составляет около 5-ти часов, а стабильность значения температуры находится в пределах $\pm 1,5$ мК.

Данные, полученные для реперных точек натрия и индия, по точности соответствуют эталонам 1-го разряда в поверочной схеме для средств измерений температуры. Кроме этого получены предварительные результаты по фазовому переходу плавления лития (рис. 3). К сожалению, наблюдаемый

фазовый переход не приводит к достаточно высокой стабилизации температуры. Нестабильность ее значений составляет около 0,1 К в течение 2-х часов. Это объясняется неопределенностью в чистоте исследованной навески металла.

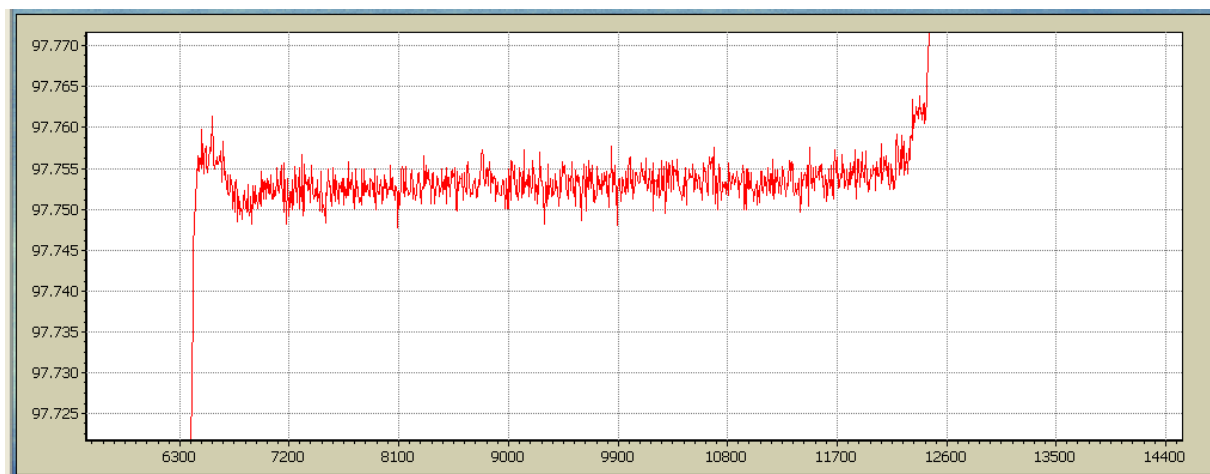


Рис. 1. Фазовый переход плавления натрия

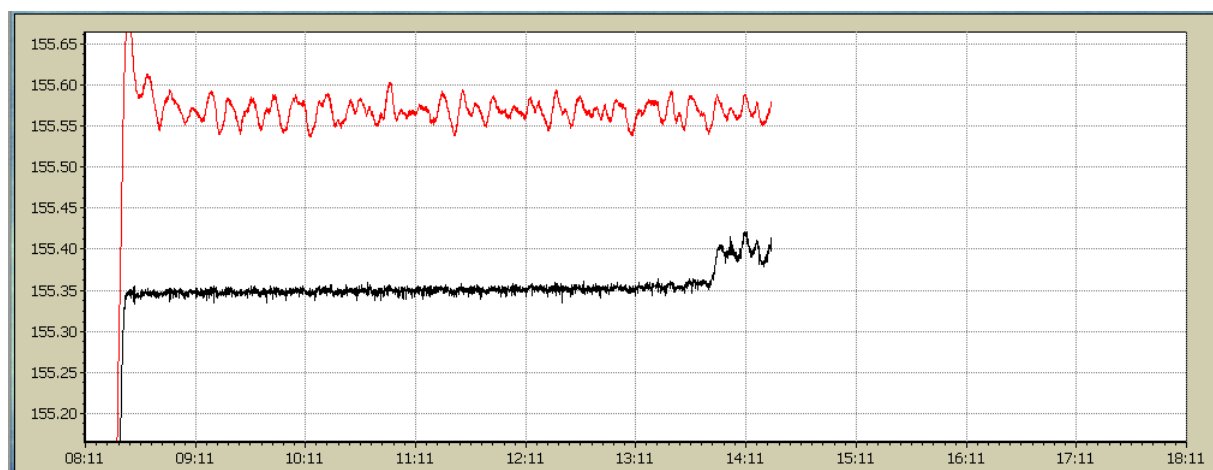


Рис. 2. Стабилизация температуры при плавления индия:

верхняя кривая соответствует температуре термостата, в который помещена ампула (колебания ± 20 мК)

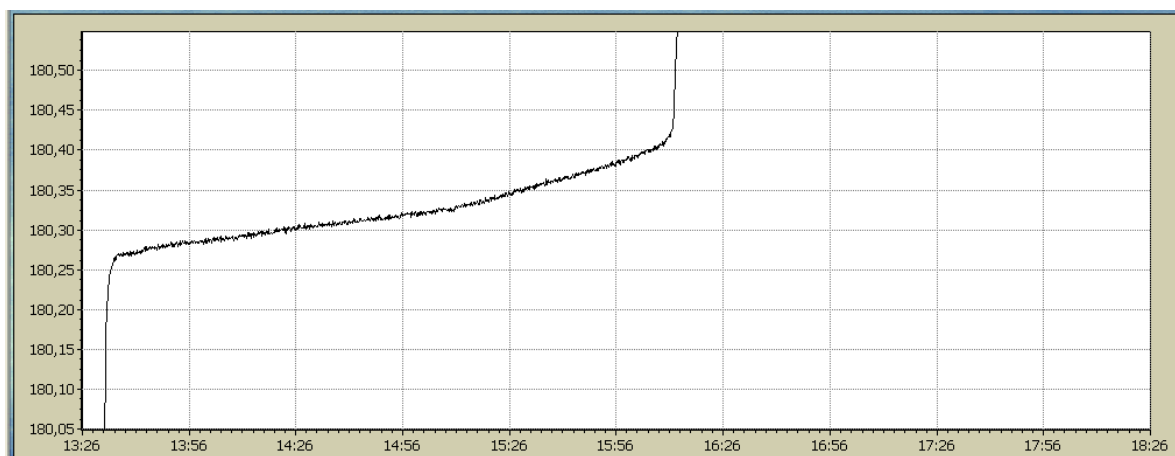


Рис. 3. Фазовый переход плавления лития

В настоящее время ведутся работы по исследованиям фазового перехода галлия в миниатюрной ампуле.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черепанов, В.Я. Вопросы метрологического обеспечения измерений температуры в системах учёта количества теплоты [Текст] / В.Я. Черепанов // – Приборы. – 2002. – № 6. – С. 63–66.
2. Куинн, Т. Температура [Текст] / Т. Куинн // – М.: Мир, 1985. – 448 с.
3. Бродников, А.Ф. Результаты исследований и перспективы использования миниатюрных ампул реперных точек для воспроизведения и передачи температурной шкалы [Текст] / А.Ф. Бродников, В.Я. Черепанов // – Измерительная техника. – 2009. – № 10. – С. 49–52.
4. Бродников, А.Ф. Анализ возможностей создания новых реперных и постоянных точек температурной шкалы [Текст] / А.Ф. Бродников, В.Я. Черепанов // – Приборы. – 2007. – № 8. – С. 15–19.
5. Бродников, А.Ф. Результаты исследования натрия в качестве новой реперной точки температурной шкалы [Текст] / А.Ф. Бродников, В.Я. Черепанов // Сб. материалов международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь – 2008». Т. 4. – Новосибирск: СГГА, 2008. – С. 118–121.

© А.Ф. Бродников, В.Я. Черепанов, 2010

СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ СРЕД С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Импульсная интерферометрия является простым и эффективным методом для реализации спектрально-временного анализа исследуемых сред. Интерферометр Фабри-Перо (ИФП) используется в качестве оптического анализатора формы как одиночного эхо-сигнала, так и синхронизированной последовательности сверхкоротких импульсов.

B.S. Mogilnitsky, A.S. Tolstikov

Siberian Scientific-Research Institute of Metrology (SSRIM) 4 Dimitrova, Novosibirsk, 630004, Russian Federation; Siberian State Academy of Geodesy (SSGA) 10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

SPECTRAL-TEMPORAL ANALYSIS OF MEDIUM WITH A PULSED INTERFEROMETRY

The pulsed interferometry is a more simple and effective method to realize spectral-temporal analysis of the investigated medium. The Fabry-Perot interferometer (IFP) is used as an optical analyzer both of a single echo signal shape, and a synchronized sequence of ultrashort pulses.

Развитие технологии получения лазерных импульсов сверхкороткой длительности открывают новые возможности изучения природы веществ, в частности, атмосферных газов. Получение информации о процессах возбуждения и релаксации в газовых средах является важным дополнением к вопросам спектроскопии атомов и молекул. Зондирование атмосферы импульсным лазерным излучением вызывает потребность в эффективных методах анализа получаемой информации. Прямое детектирование временных процессов пико- и фемтосекундной длительности в настоящее время невозможно из-за отсутствия приемных устройств сверхвысокого временного разрешения. В связи с этим разрабатываются чисто оптические методы исследования формы сверхкоротких импульсов. К настоящему времени разработаны методы анализа формы импульсов на основе сложных современных технологий. Метод FROG (Frequency Resolved Optical Gating) использует накопление данных на принципе стробирования временного процесса [1], метод SPIDER (Spectral Phase Interferometry for Direct Electric field Reconstruction) основан на спектральной интерферометрии сдвига [2]. В последнее время предложен метод самореферентного измерения сверхкоротких импульсов на принципах интерферометрии сдвига [3].

Более простым и достаточно эффективным является метод импульсной интерферометрии, позволяющий реализовать спектрально-временной анализ исследуемых сред [4]. В качестве оптического анализатора используется интерферометр Фабри-Перо (ИФП). Особенности его работы при импульсном освещении рассмотрены в [5,6]. ИФП может быть использован как для анализа

формы одиночного импульсного эхо-сигнала, так и для последовательности синхронизованных сверхкоротких импульсов.

Проблема спектрально-временного анализа волновых полей является одной из центральных в задачах приема и обработки информации. Оптимальные условия отображения динамики спектра импульсов с помощью ИФП: $\tau_{\text{и}} = T$, где $T = N \cdot \tau_0 = 1/(c \cdot \delta\nu)$ – время установления интерференции в ИФП, $\delta\nu$ – полуширина аппаратной функции интерферометра, N – острота (фактор резкости), $\tau_{\text{и}}$ – длительность импульса. Это условие отражает компромисс между спектральным и временным разрешением: еще нет существенных временных искажений динамики импульса и спектр импульса при этом полностью разрешается.

Компьютерное моделирование спектрально временных откликов ИФП на импульсные информационные эхо-сигналы дают полные временные картины исследуемых спектров [4].

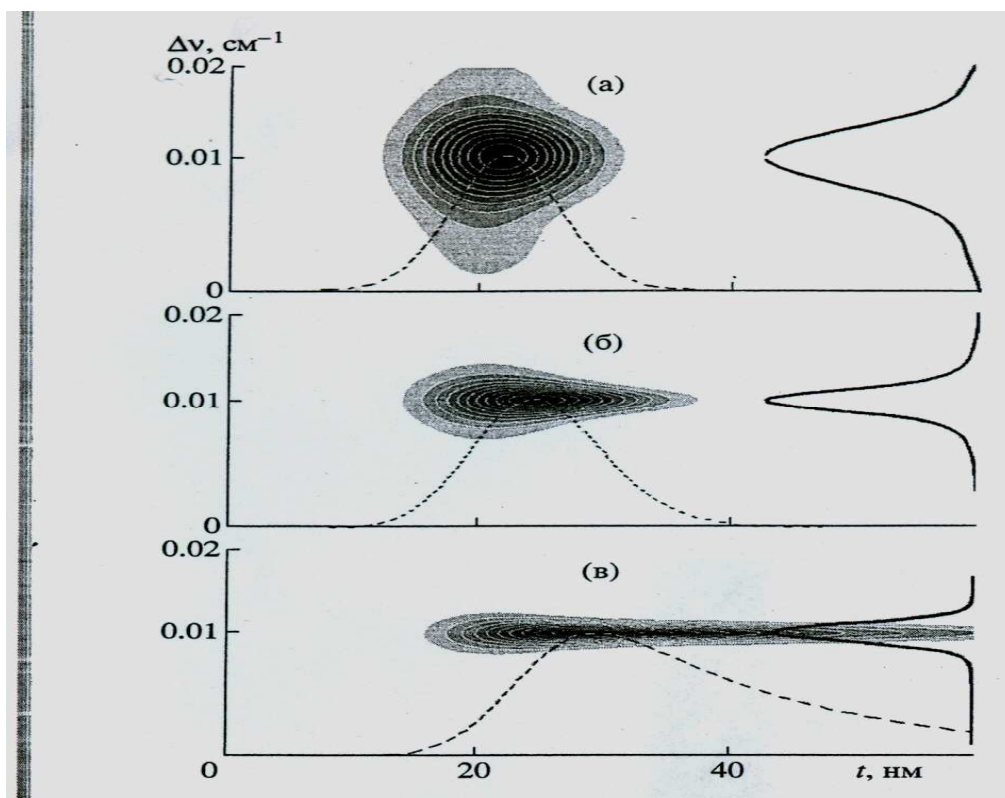


Рис. 1. Спектрохронограмма Гауссовского импульса (длительность 10 нс) регистрируемая ИФП (база 5 см):

сплошная линия справа – интегральный спектр импульса, прерывная – динамика интенсивности импульса [4]

Из спектрохронограммы, полученной при помощи ИФП, и временного анализатора (щелевой камеры) можно извлечь информацию об исходной амплитудно-фазовой картине светового импульса. Полученная информация - результат соединения высокого временного разрешения спектрохронограммы с высоким спектральным разрешением ИФП, регистрирующий интегральный

спектр сверхкороткого импульса. Необходимо отметить, что увеличение спектрального разрешения, определяемого условием $T \gg \tau_i$, приводит к значительным искажениям временного хода спектральных компонент исследуемого сигнала. И, наоборот, улучшение воспроизведения динамики спектральных компонент при $T \ll \tau_i$ сопровождается значительным ухудшением спектрального разрешения. Компромисс достигается при $T \sim \tau_i$.

Получение информации с помощью ИФП при облучении исследуемых сред импульсной генерацией дает реальную возможность определения состава среды не только по спектрам поглощения, но и по картине переходных процессов, происходящих в актах взаимодействия атомов и молекул с лазерным излучением. Комбинационное рассеяние света – один из источников такой информации. Процесс комбинационного рассеяния включает обмен энергией между рассеянным фотоном и рассеивающей молекулой. Вследствие этого спектральные компоненты комбинационного рассеяния сдвинуты относительно частоты падающего излучения на частотный интервал, соответствующий внутренней энергии молекул. Спектры комбинационного рассеяния дают уникальные возможности для анализа сложных молекулярных смесей. Это фотокарточка данного соединения.

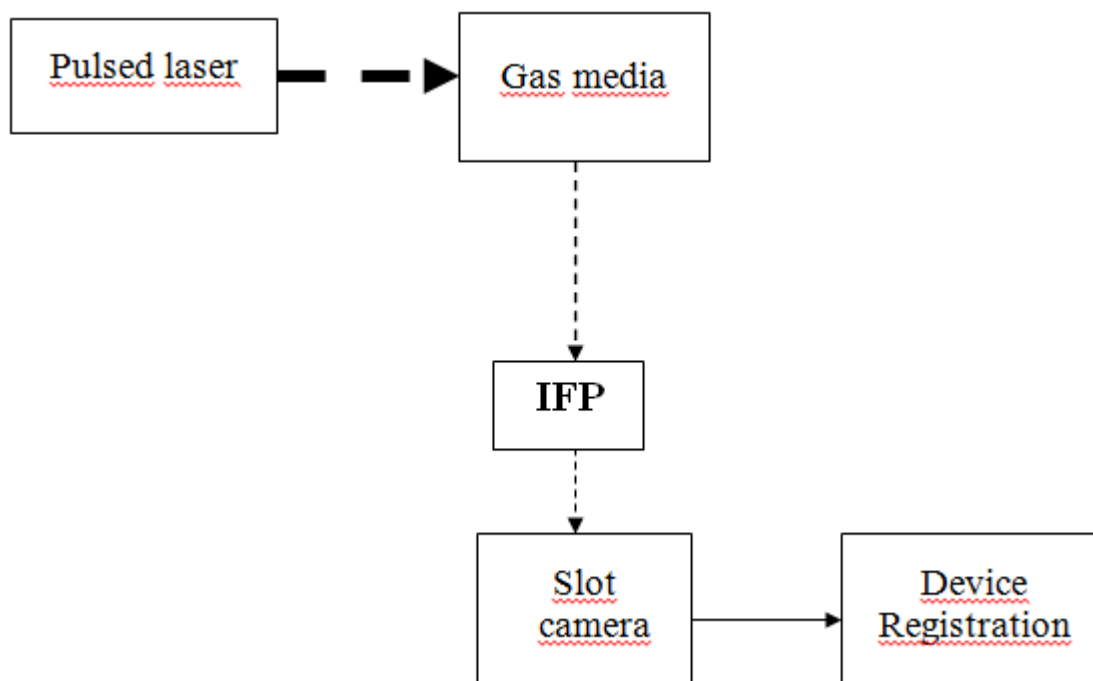


Рис. 2. Схема регистрации спектров импульсов при вынужденном комбинационном рассеянии света

С другой стороны временные свойства сверхкоротких импульсов позволяют исследовать наиболее фундаментальные процессы в веществе. К таким фундаментальным процессам, характерные времена которых можно измерить с помощью ИФП, относятся: свободное затухание молекулярных колебаний и ориентационных флуктуаций в газах и жидкостях, распад фононов,

распад и образование плазмы в газах, процессы переноса заряда и другие безизлучательные процессы в молекулярных средах.

Необходимо отметить возможности применения ИФП как оптического анализатора и в такой фундаментальной области исследования как спектроскопия атмосферы. Принимаемый эхо-сигнал при лазерной локации весьма часто несет информацию о комбинационном рассеянии света атмосферой что дает возможность определения ее молекулярного состава.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Trebino R. et al. Rev. Sci. Instrum. 1997. – V. 68. – № 9. – P. 3277.
2. Walmsley I.A., Jaconis Ch. IEEE J. Quant. Electron. 1999. – V. 35. – № 4. – P. 501.
3. Мазуренко, Ю.Т. Самореферентное измерение сверхкороткого импульса методом стандартной интерферометрии сдвига [Текст] / Ю.Т. Мазуренко // Оптика и спектроскопия. 2009. – Т. 106. – № 1. – С. 134–145.
4. Беспалов, В.Г. Спектрально-временной анализ переходных процессов в интерферометре Фабри-Перо [Текст] / В.Г. Беспалов, Ю.Н. Ефимов, Д.И. Стаселько // Оптика и спектроскопия. – 2001. – Т. 90. – № 4. – С. 900–698.
5. Могильницкий, Б.С. Интерферометр Фабри-Перо при импульсном освещении: новый подход и возможности [Текст] / Б.С. Могильницкий // Измерительная техника. – 2009. – № 12. – С. 11–15
6. Mogilnitsky, B.S. Fabry-Perot Interferometer in the World of Pulses: New Approaches and Capabilities [Text] / B.S. Mogilnitsky, Ju.N. Ponomarev // Atmospheric and Oceanic Optics. 2009. – V. 22. – № 5. – PP. 544–550.

© Б.С. Могильницкий, А.С. Толстиков, 2010

ИЗМЕРЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ СВЕРХКОРОТКИХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Представлен метод точного измерения некоторых параметров импульсной генерации: длительности сверхкоротких импульсов и точного числа синхронизованных лазерных импульсов в единицу времени.

B.S. Mogilnitsky

Siberian Scientific-Research Institute of Metrology (SSRIM) 4 Dimitrova, Novosibirsk, 630004, Russian Federation; Siberian State Academy of Geodesy (SSGA) 10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

MEASUREMENT OF CERTAIN PARAMETERS ULTRASHORT LASER PULSES

The method of precision measurement of the laser pulse radiation is submitted: duration of the ultrashort pulse and the exact number of synchronized pulses per unit time.

Интенсивно развивающиеся методы генерации сверхкоротких лазерных импульсов длительностью 10^{-15} - 10^{-9} сек поставили задачу о точном измерении их длительности. Непосредственные фотоэлектрические методы измерений длительности таких импульсов затруднительны либо вовсе невозможны. Поэтому вместо фотоэлектрических методов разрабатываются чисто оптические методы, в частности интерферометрические [1]. К настоящему времени предложено несколько методик измерений длительности световых импульсов основанных на разных физических принципах.

Методика измерения длительности сверхкоротких световых импульсов на принципе двухфотонной люминесценции [2], обладает рядом недостатков (ограниченный контраст изображения, неквадратичная зависимость люминесценции от интенсивности радиации, низкая точность). В методе второй гармоники [3] контраст достаточно высок, но контур импульса может быть построен только по отдельным значениям интенсивности второй гармоники, что требует многократности процесса при невысокой точности. Достаточно оригинальной является методика на принципе смещения световых волн в кристаллах [4], но точность метода в работе не обсуждается. В последнее время развит метод FROG (frequency – resolved optical gating) [5,6], основанный на достаточно сложной технологии измерений.

В данной работе предлагается простой метод измерения длительности сверхкоротких импульсов света на основе принципов импульсной интерферометрии. Вернее, речь идет об измерении длительности временной когерентности [7] импульсной генерации. Поскольку сверхкороткие лазерные импульсы формируются на явлении интерференции когерентных волн в резонаторе лазера, то их временная длительность эквивалентна степени

временной когерентности импульсного излучения. Для измерения длительности сверхкоротких лазерных импульсов предлагается использовать интерферометр Фабри-Перо.

Известно, что для одиночных импульсов сверхкороткой длительности интерферометр Фабри-Перо прозрачен только при определенных условиях - когда длительность светового импульса больше времени кругового обхода резонатора ИФП [8]. При выполнении этих условий он становится оптическим временным фильтром для одиночных импульсов света. Метод основан на принципе «включения» ИФП как оптического фильтра в режим пропускания импульсов заданной длительности. Первоначально по порядку величины длительности измеряемого импульса определяется «критическая» база ИФП как $d \geq (c\tau)/2$ м, где c -скорость света, τ - длительность импульса. Одно из зеркал интерферометра подвижное (закрепленное, например, на пьезокерамике). ИФП с базой несколько большей «критической» юстируется с падающим лучом на максимальное пропускание. После этого база ИФП плавно уменьшается с помощью пьезокерамики до момента «закрытия» пропускания импульсной генерации. Это означает исчезновение интерференции в ИФП (выключение фильтра), которое соответствует условию $d=(c\tau)/2$. Теперь зафиксированная база ИФП точно измеряется с помощью двух вспомогательных диодных или газовых лазеров, частота излучения одного из которых (опорного) стабилизирована стандартным образом: по провалу Лэмба или по насыщению поглощения. Излучение этого лазера проходит через максимум пропускания ИФП (максимум аппаратной функции). Настройка на максимум пропускания осуществляется системой автоподстройки. Излучение второго лазера, перестраиваемого по частоте генерации на величину области свободной дисперсии ИФП, пропускается через ближайший к первому максимум пропускания интерферометра. Измеренная разностная частота биений $\Delta\nu$ двух вспомогательных лазеров даст прецизионно точную длину базы ИФП как $d=c/\Delta\nu$ м. Таким образом, точное значение длительности импульса определяется как $\tau_u=(2/\Delta\nu)$ сек. Таким методом может быть измерена длительность одиночных лазерных сверхкоротких импульсов вплоть до пикосекундного диапазона.

Обсудим проблему измерения разностной частоты, соответствующей межмодовому расстоянию в ИФП, формируемой вспомогательными лазерами. Поскольку разностная частота биений пропорциональна обратной величине длительности измеряемого импульса то для наносекундного импульса она равна 1ГГц. Современные методы частотных измерений позволяют непосредственно измерять такое значение частоты.

Точное измерение длительности пикосекундных импульсов будет определяться степенью развития техники прямых частотных измерений терагерцового диапазона.

Длительность фемтосекундных импульсов удобнее оценивать способом работы [4], поскольку «критическая» база ИФП для фемтосекундных импульсов в нашем случае должна быть порядка $d \geq (c\tau)/2 = 1.5 \cdot 10^{-7}$ м, что технически не реализуемо.

Погрешность измерения определяется уровнем нестабильности частоты опорного лазера, которая оценивается величиной 10^{-8} - 10^{-7} относительно частоты генерации. Соответственно уровень погрешности измерения размера базы ИФП такого же порядка: $\Delta d = 10^{-8}$ - 10^{-7} м. Поэтому абсолютная погрешность измерения длительности наносекундного импульса будет $\Delta \tau_u = (2/c) \cdot \Delta d = 10^{-15}$ - 10^{-16} сек, что составляет относительную погрешность метода измерения наносекундных импульсов на уровне (0.001-0.0001) %.

Весьма часто необходимо иметь точную информацию о числе импульсов, взаимодействующих с исследуемой средой.

Частота следования синхронизованных импульсов оценивается через параметры резонатора лазера как $f = (c/2d)$ Гц, где d - база резонатора лазера. Как правило, размер базы резонатора лазера имеет оценочный характер. Например, для метрового резонатора лазера межмодовый частотный интервал составляет $\Delta \nu = 150$ МГц и число лазерных импульсов, формируемых в таком резонаторе за 1сек оценивается в $1.5 \cdot 10^8$ штук. Ошибка в определении базы метрового резонатора лазера в 0.1% ($\Delta d = 1$ мм) приводит к потере $10^3 - 10^4$ импульсов.

Метод точного определения числа синхронизованных импульсов аналогичен вышеизложенному. Необходимо точно измерить базу измерительного интерферометра как оптического фильтра и по порядку интерференции в ИФП с такой базой, точно определить число прошедших через интерферометр импульсов.

Известно [9], что ИФП прозрачен для последовательности синхронизованных импульсов независимо от их длительности при выполнении условия равенства периода их следования ΔT времени двойного обхода лазерным импульсом резонатора ИФП когда $\Delta T = (2d/c)$ сек. При этом необходимо соблюдение условия эквивалентности областей свободных дисперсий (частотных «гребенок» мод) резонаторов лазера и интерферометра.

После подстройки интерферометра на максимум пропускания лазерных синхронизованных импульсов с помощью подвижного зеркала, база интерферометра фиксируется и с помощью дополнительных лазеров точно измеряется как описано выше. После этого по периоду следования рассчитывается число импульсов в единицу времени как $N = 1/\Delta T = (c/2d)/\text{сек}$.

Погрешность измерения стабильной базы ИФП определяется нестабильностью частоты опорного лазера, что приводит, как показано, выше к ошибке измерения базы резонатора ИФП порядка 10^{-8} - 10^{-7} его длины. Такая ошибка не приводит к неопределенности в подсчете числа импульсов. Таким образом, представленный метод дает возможность точного определения числа синхронизованных лазерных импульсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беспалов, В.Г. Спектрально-временной анализ переходных процессов в интерферометре Фабри-Перо [Текст] / В.Г. Беспалов, Ю.Н. Ефимов, Д.И. Стаселько // Оптика и спектроскопия. – 2001. – Т. 90, № 4. – С. 900.
2. Weber, H.P. Phys.Lett [Text] / H.P. Weber // – 1968. – V. 27a. – P.321.

3. Armstrong, J.A. Appl. Phys. Lett [Text] / J.A. Armstrong // - 1967. – V. 10. – P. 16.
4. Кривошеков, Г.В. Об одном способе измерения длительности сверхкоротких импульсов света [Текст] / Г.В. Кривошеков, В.И. Строганов // Труды I-ой Вавиловской конференции по нелинейной оптике «Нелинейные процессы в оптике» / Новосибирск, 1970. – С. 103.
5. Kane D.J., Trebino R. Single-shot measurement of the intensity and phase of an arbitrary ultrashort pulse by using frequency-resolved optical gating. // Opt. Lett. - 1993.-V.18.,-P.823.
6. Trebino R. Frequency-resolved optical gating: The measurement of ultrashort Laser pulses // Boston, MA: Kluwer Academic. 2000.
7. Франсон, М. Когерентность в оптике [Текст] / М. Франсон, С. Сланский // «Наука». – М., 1967.
8. Mogilnitsky, B.S. Fabry-Perot Interferometer in the World of Pulses: New Approaches and Capabilities / B.S. Mogilnitsky, Ju.N. Ponomarev // Atmospheric and Oceanic Optics. 2009. – V. 22. – № 5. – PP. 544–550.
9. Могильницкий, Б.С. Интерферометр Фабри-Перо при импульсном освещении: новый подход и возможности [Текст] / Б.С. Могильницкий // Измерительная техника. – 2009. – № 12. – С.11.

© Б.С. Могильницкий, 2010

РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КЕРАМИКИ

Приведены результаты исследования взаимосвязи светопропускания керамики различных марок с параметрами её микроструктуры. Установленные зависимости могут быть использованы для неразрушающего экспресс контроля качества функциональной керамики.

P.M. Pletnev, G.V. Simonova, S.A. Stepanova
Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)
10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk , 630108, Russian Federation

DEVELOPMENT OF AN OPTICAL METHOD OF THE CHECKING QUALITY OF FUNCTIONAL CERAMICS

Results of research of interrelation light-transparency of ceramics of the different marks with parameters of its microstructure and properties are resulted. The established dependences can be used for a quantitative estimation of quality of functional ceramics.

В современной технике функциональная керамика находит разнообразное применение, например, различные виды корундовой керамики используются в электронных приборах в качестве деталей металлокерамической оболочки, для изготовления плат интегральных схем и т.д.

Одним из характерных видов отказов электронных приборов с металлокерамической оболочкой является потеря герметичности и проникновение атмосферных газов внутрь объёма. Этот вид брака связан с нарушениями в металлокерамической оболочке. Наиболее грубые нарушения выявляются в процессе технологических испытаний приборов, более тонкие нарушения обнаруживаются в процессе эксплуатации в течение нескольких месяцев и даже лет.

Высокие требования к надёжности металлокерамической оболочки электронных приборов определяют необходимость строгого контроля качества материалов и деталей из них в процессе их изготовления. При этом должно быть обеспечено гарантированное качество каждой керамической детали.

Выполнение требований, предъявляемых к керамическому материалу, обеспечивается качеством исходного сырья и стабильностью технологии изготовления. Свойства керамических изделий во многом определяются их микроструктурой.

Спеченные керамические изделия являются поликристаллическими. Для обозначения внутреннего строения керамики употребляется термин «микроструктура». Под микроструктурой керамических материалов понимают распределение и относительное количество кристаллических и аморфной фаз, размер и форму кристаллов, содержание газовой фазы – пор, их величину и

распределение по размерам. Установление взаимосвязи между микроструктурой керамики и технологией её изготовления с одной стороны, микроструктурой и свойствами с другой стороны, позволяет обеспечивать требуемые свойства готового керамического материала.

Для получения керамических деталей, обеспечивающих надёжную работу изделий электронной техники необходимо установление требований по оптимальной микроструктуре керамики, создание высокопроизводительных и надёжных методов контроля микроструктуры и совершенствование технологии изготовления изделий с целью обеспечения этих требований.

На рис. 1 приведена характерная картина для спая, отвечающего технологическим требованиям.

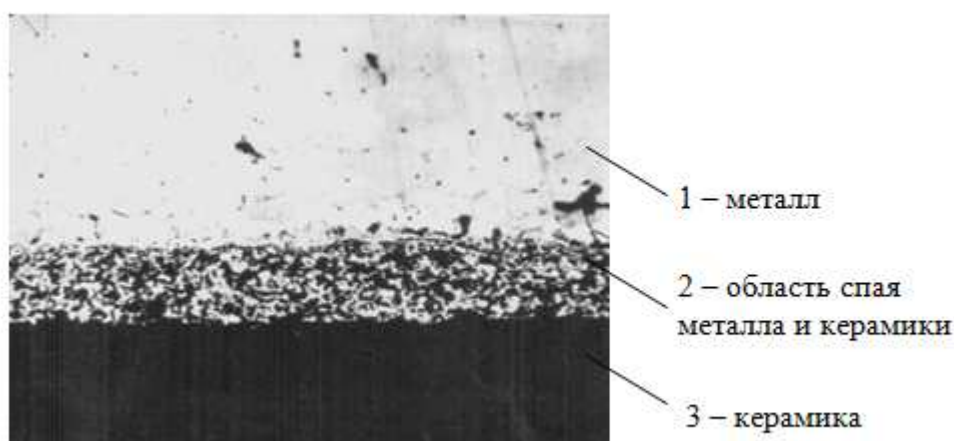
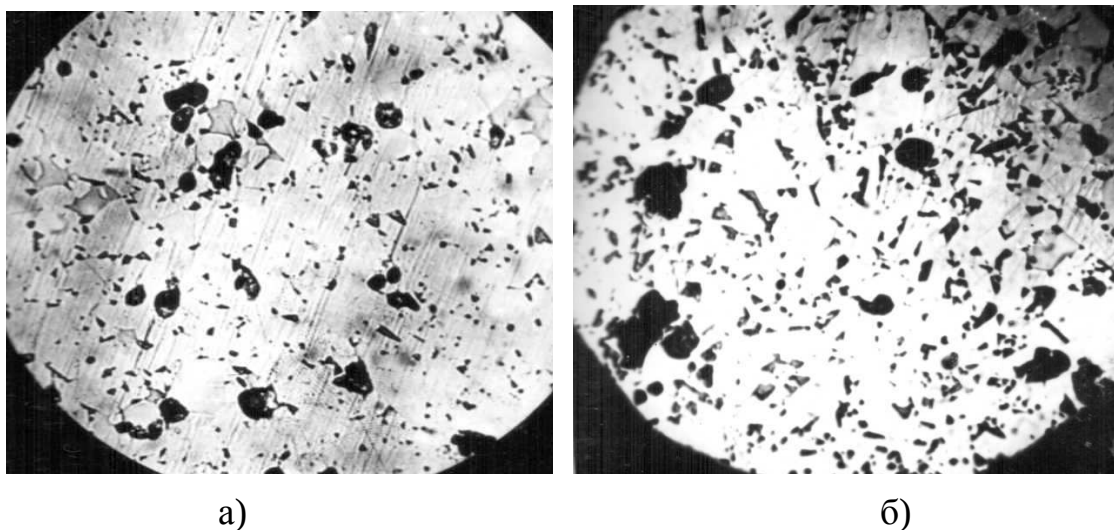


Рис. 1. Спай герметичного прибора

Для обеспечения равномерного и надёжного соединения металлического и керамического слоя необходимо наличие достаточного объёма стеклофазы и среднего размера фрагментов кристаллической фазы не менее 10 мкм [1].

На рис. 2 приведены фотографии керамики, имеющие различную структуру, что обусловлено различной температурой обжига.



а)

б)

Рис. 2. Микроструктура керамики ВК95-1, обожжённой при температуре:
а) 1640 °С; б) 1700 °С

На изображении а) размер кристаллов не превышает 6 мкм (4–6 мкм) и стеклофаза распределена мелкими участками (тёмные точки). Такое состояние микроструктуры не соответствует требованиям, обеспечивающих герметичность спаев.

На изображении б) фрагменты кристаллической фазы находятся в пределах 10–15 мкм, содержание стеклофазы хорошо развито, что соответствует технологическим условиям хорошего спая. Результаты получены при увеличении 360х.

Наблюдаемое визуальное отличие образцов различной структуры позволяет предположить различия их оптических характеристик и возможность их использования для контроля микроструктуры керамики.

В табл. 1 приведены результаты измерений и расчёта показателей поглощения корундовой керамики, имеющей различную микроструктуру. Измерения проводились по методике, описанной в [2]. Данные приведены с учётом величины отражённого сигнала от границы раздела.

Таблица 1. Результаты изменения показателя поглощения керамики различных марок, мм-1

Марка керамики		Размер кристаллов, мкм	Спектральный интервал				
			Сплошной ($\lambda=400\div780\text{нм}$)		Со свето-фильтром СЗС-7 ($\lambda<560\text{нм}$)	Со светофильтром ЖЗС-9 ($\lambda=500\div580\text{нм}$)	Со свето-фильтром ОС-11 ($\lambda>560\text{нм}$)
Алюмооксидная	ВК95-1 h=7,0мм	10–15	δ	0.272	0.067	0.028	0.916
			k	0.185	0.386	0.511	0.013
	ВК95-1 h=2,6мм	4-6	δ	0.442	0.223	0.120	0.312
			k	0.314	0.577	0.835	0.448

Измерения проводились как с использованием светофильтров, задающих определённый спектральный интервал светового потока, так и со сплошным спектром от лампы накаливания. Полученные результаты иллюстрируются графиками на рис. 3.

Полученные результаты показывают зависимость коэффициента пропускания среды не только от спектрального состава излучения и химического состава среды, но и от её микроструктуры, что особенно важно для контроля качества керамики.

Подобие графиков спектральных характеристик для различных образцов отображает подобие физических свойств материалов, а количественные различия показателя поглощения отражают влияние микроструктуры. Следовательно, может быть установлена однозначная связь между

коэффициентом пропускания образца и его пригодностью для использования в дальнейшем технологическом процессе.

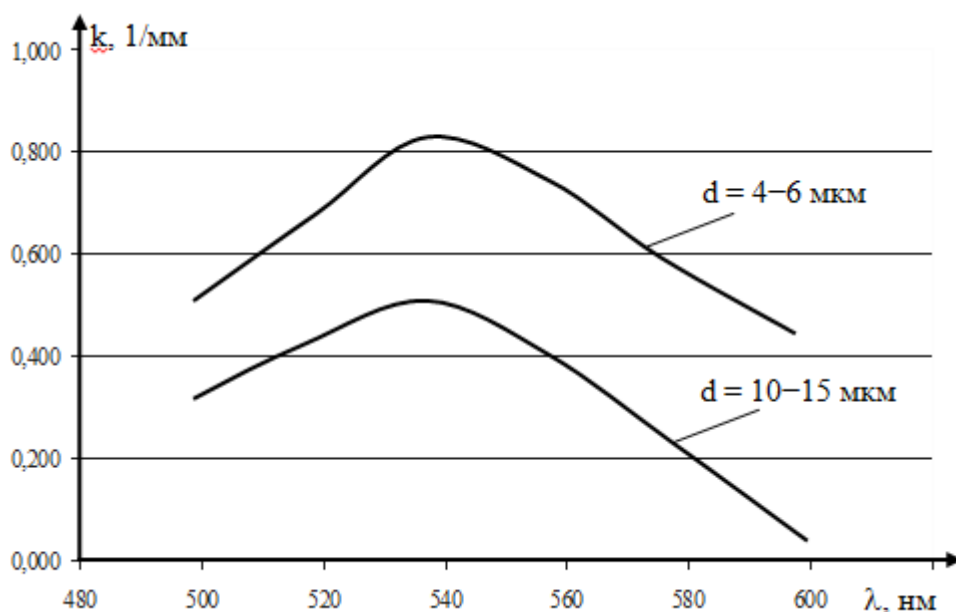


Рис. 3. Зависимость показателя поглощения вещества от спектрального состава излучения

Использование оптического метода контроля позволит обеспечить оперативность и повысить достоверность результатов контроля по сравнению с существующими в настоящее время методиками, а также осуществить контроль всей площади образца, а не фрагмента поверхности, который наблюдается в поле микроскопа.

В результате проведённых экспериментов выявлена заметная взаимосвязь микроструктуры и фазового состава керамики с её светопропусканием. Показана возможность использования оптических измерений для неразрушающего 100 % контроля качества керамических материалов, что особенно важно в условиях серийного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Степанова, С.А. Оптимизация микроструктуры керамики и разработка методов её контроля в условиях серийного производства / С.А. Степанова // дис. канд. техн. наук. – Свердловск: 1984. – 209 с.
2. Плетнев, П.М., Симонова, Г.В., Рогов, В.И., Степанова, С.А. Зависимость светопропускания вакуумноплотных керамических материалов от спектрального состава излучения / П.М. Плетнев, Г.В. Симонова, В.И. Рогов, С.А. Степанова // Сборник материалов IV Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2008». – Новосибирск: 2008. – Ч. 2. – С. 162-165.

© П.М. Плетнев, Г.В. Симонова, С.А. Степанова, 2010

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ СУДОВОЙ ЛАБОРАТОРИИ ДЛЯ АНАЛИЗА НЕФТЕПРОДУКТОВ

В статье рассмотрены вопросы создания мобильной судовой лаборатории для анализа нефтепродуктов на борту речных судов.

G.V. Shuvalov

Siberian Scientific-Research Institute of Metrology (SSRIM) 4 Dimitrova, Novosibirsk, 630004, Russian Federation; Siberian State Academy of Geodesy (SSGA) 10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

DEVELOPMENT OF THE MOBILE SHIP LABORATORY FOR ANALYSIS NEFTEPRODUKTOV

In article are considered questions of the making the mobile ship laboratory for analysis mineral oil on board river court.

С расширением применения смесевых и альтернативны топлив на судах речного флота повышаются требования к свойствам компонентов топлив, их качеству и обязательному контролю. Комплекс требований, предъявляемых к параметрам горюче-смазочных материалов (ГСМ) изложен в ряде государственных стандартов, в частности, ГОСТ 2084-77, ГОСТ 305-82, ГОСТ Р 51105-97, ГОСТ 8226-82. В них нормируются эксплуатационные и физико-химические характеристики дизельного топлива и моторных масел, применяемых на судах.

Однако, качество ГСМ, поступающие на суда речного флота, часто отличается от стандартного, в основном из-за нарушения условий транспортировки и хранения. Это может приводит к отказу судовых дизелей и ,как следствие, к возникновению технико-экономических потерь. Поэтому возникает необходимость постоянного контроля качества ГСМ на судах при их хранении и использовании. Кроме этого на суда речного флота в последнее время все чаще используются водотопливные эмульсии, качество приготовления которых требует постоянного контроля.

Обеспечить постоянный контроль качества нефтепродуктов на судах возможно несколькими путями. Среди них можно назвать упрощение процедур анализа, а также осуществление контроля непосредственно в тех местах, где хранится и используется нефтепродукт.

Наиболее эффективным способом контроля качества ГСМ является применение специализированных мобильных (иногда и переносных) лабораторий, оснащенных необходимыми средствами измерений. Их применение дает возможность создать надежную систему контроля качества

ГСМ при приемке, хранении и подготовке топлива и водотопливных эмульсий на судах речного флота.

Для осуществления оперативного контроля качества нефтепродуктов на суда речного флота в Сибирском научно-исследовательском институте метрологии в настоящее время разрабатывается вариант комплектной лаборатории анализа нефтепродуктов типа «КЛАН-1» модификации «С».

В состав лаборатории входит комплект измерительных приборов (анализаторов), измерительное и вспомогательное оборудование.

Количество измеряемых параметров нефтепродуктов и водотопливных эмульсий определяется объемом проводимого анализа (приемо-сдаточный, контрольный или полный).

Мобильные лаборатории для измерения параметров нефтепродуктов будут оснащаться средствами измерений, которые изготавливаются в Сибирском научно-исследовательском институте метрологии. Перечень этих приборов приведен в табл. 1.

Таблица 1. Перечень приборов для измерения параметров судовых топлив

Наименование измеряемого параметра	Диапазон измерения	Пределы допускаемой погрешности	Наименование средства измерений
1 Измерение содержания воды, %	0,01-2,0	$\pm 10 \%$	Анализатор СИМ-4
2 Измерение температуры вспышки, °C (дизтопливо и масла)	20-200 100-300	$\pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Анализатор СИМ-5
3 Измерение содержания серы в нефтепродуктах, г/дм ³	0,08-4,00	0,005-5,00	Анализатор СИМ-6
4 Измерение плотности, г/см ³	0,7736-0,8879	$\pm 0,0005 \text{ г/см}^3$	Анализатор СИМ-7
5 Диапазон измерения кинематической вязкости, мм ² /с	3,69-9,78	$\pm 1,2 \%$	Анализатор СИМ-8
6 Разгонка нефтепродуктов, °C	35-370	-	Анализатор СИМ-10
7 Измерение содержания механических примесей, %	0,1-1·10 ⁻⁴	$\pm 10 \%$	Анализатор СИМ-12

Все приборы, входящие в состав судовой мобильной лаборатории, прошли государственные испытания и утверждены Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии в качестве средств измерений. Большинство из указанных приборов реализуют стандартные методы испытаний нефтепродуктов, изложенные в соответствующих государственных стандартах (за исключением определения механических примесей). Все

приборы относятся к группе автоматизированных анализаторов по ГОСТ 16851-71, когда отбор проб производится оператором вручную, а измерение параметров осуществляется автоматически и выдается на индикаторе прибора в цифровом виде.

В комплект судовой мобильной лаборатории может входить персональная ЭВМ «NOTE BOOK» для ведения базы данных результатов анализа и их вывода в виде протокола стандартной формы. Кроме того, имеется база нормативных данных параметров судовых топлив и масел, что позволяет оперативно контролировать отклонение измеряемых параметров от их номинальных значений.

Мобильная судовая лаборатория представляет собой комплекс перечисленных средств измерений, смонтированных на борту судна. Для их размещения требуется дооснащение салона каюты судна. Салон лаборатории покрыт слоем пластика с поверхностью, не впитывающей пары ГСМ. Для размещения приборов салон каюты снабжается необходимой лабораторной мебелью, которая состоит из стола, вытяжного зонда с вентилятором, шкафа для рабочей одежды и умывальника. Часть малогабаритных приборов (СИМ – 4, 12) для компактности и удобства работы сгруппирована в приборную стойку.

В нижней части лабораторного стола вмонтированы выдвижные ящики, в которых хранится лабораторная посуда, вспомогательные материалы и химические реактивы. Снизу стола закреплена герметичная емкость для утилизации нефтепродуктов после проведения испытаний. Рабочее пространство в салоне каюты спланировано таким образом, что позволяет организовать два полноценных рабочих места операторов для проведения анализов нефтепродуктов.

Электропитание приборов осуществляется с помощью сети напряжением 220 В. Дополнительно по периметру салона автомобиля выполнено защитное заземление. В случае необходимости, для организации автономного питания приборов и оборудования может быть использована бензиновая переносная электростанция мощностью не менее 3 КВт.

Мобильная лаборатория прошла государственные испытания и внесена в Государственный реестр средств измерений (сертификат № 26145-03 от 19.01.2004 г).

Особенностью лаборатории является то, что в ускоренные сроки на ней можно провести анализ дизельного топлива и моторных масел по основным параметрам с выдачей протокола испытаний. Время, необходимое для проведения анализов, как показывает практика, составляет не более 1,5 часов.

В 2002 -2009 годах аналогичные мобильные лаборатории (автомобильный вариант) были изготовлены для ФГУП «Госэнергонадзор по Курганской области» и ФГУП «Госэнергонадзор по республике Марий-Эл», ООО «Красноярскнефтепродукт», а также в Республику Казахстан «Казмунай газ» и Республику Узбекистан (Навоинский ГОК).

За указанный период времени в процессе проведения инспекционных проверок качества нефтепродуктов был сформулирован ряд дополнительных требований по оснащению и эксплуатации мобильных лабораторий.

Таким образом, создаваемая мобильная лаборатория «КЛАН-1» для условий применения на судах речного флота позволяет решать задачу осуществления оперативного инструментального контроля качества ГСМ, что особенно актуально в связи с введением Технического регламента, определяющего обязательные требования к судовому топливу.

© Г.В. Шувалов, 2010

ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ АНАЛИЗАТОРОВ СИМ-6 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕРЫ В НЕФТЕПРОДУКТАХ

В статье рассмотрены вопросы создания и практического применения анализаторов СИМ-6 для определения серы в нефтепродуктах.

G.V. Shuvalov

Siberian Scientific-Research Institute of Metrology (SSRIM) 4 Dimitrova, Novosibirsk, 630004, Russian Federation; Siberian State Academy of Geodesy (SSGA) 10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

EXPERIENCE OF THE PRACTICAL APPLICATION ANALYZER SIM-6 FOR DETERMINATION OF THE SULPHUR IN NEFTEPRODUKTAH

Questions of the creation and practical application of the analysis-torah SIM-6 are considered In article for determination of the sulphur in mineral oil.

При испытании нефтепродуктов определение содержания серы в дизельном топливе является обязательным видом анализа, предусмотренным ГОСТ 305-82 «Топливо дизельное».

Основным методом анализа сернистых соединений в органических материалах в настоящее время является метод разложения, который заключается в сжигании пробы материала с последующим определением образующегося сернистого ангидрида SO_2 . Методика измерения предусматривает сжигание строго дозированной навески вещества, улавливание сернистого газа и поглощение его адсорбирующим веществом, а также количественное определение SO_2 одним из физико-химических методов [1]. При этом в качестве поглотителей чаще всего используют дистиллированную воду, которая хорошо поглощает сернистый ангидрид. Растворение сернистого ангидрида в воде сопровождается образованием сернистой кислоты по уравнению:



Полученная кислота является слабой, неустойчивой в водных растворах. Ввиду нестабильности сернистой кислоты, она не может использоваться для количественных определений, так как легко разлагается под действием различных влияющих факторов (свет, температура, электрический ток). Поэтому, для анализа сернистых соединений сернистую кислоту доокисляют до сильной и устойчивой серной кислоты H_2SO_4 , применяя различные химические методы. В этом случае, именно концентрация H_2SO_4 в растворе будет пропорциональна содержанию серы в определяемом материале. Для ее количественного определения чаще всего используют реакцию осаждения сульфата бария. Однако этот метод пригоден лишь для лабораторных

исследований, и к тому же не обладает достаточной чувствительностью. Увеличения чувствительности определения серы можно достигнуть, если измерять электропроводность образовавшейся серной кислоты. Таким образом, кондуктометрический метод представляется весьма перспективным, в связи, с чем потребовалось провести исследования по возможности его применения для определения содержания серы в дизельном топливе.

Измерение электропроводности растворов на практике осуществляется как измерение сопротивления кондуктометрической ячейки, поэтому к ее конструкции предъявляются определенные требования, главное из которых – это неизменность постоянной ячейки [2]. В настоящей работе для измерений использовалась кондуктометрическая ячейка, состоящая из двух электродов в виде параллельных цилиндрических стержней из графита диаметром 2 мм.

Для определения сопротивления ячейки при измерениях была использована схема трансформаторного моста с индуктивной связью между элементами, образующими плечи отношений. Основные преимущества такого трансформаторного моста – широкий частотный диапазон и малая погрешность. Эти свойства обусловлены тем, что паразитные емкости и активные сопротивления, которые шунтируют индуктивно связанные плечи, не изменяют соотношения плеч и тем самым не приводят к возникновению дополнительных погрешностей. Кроме того, из-за практического отсутствия зависимости отношения индуктивно связанных плеч моста от влияния внешних условий (влажность, температура, электромагнитные поля и т.д.) трансформаторные мосты не требуют особых мер электрической защиты. В трансформаторном мосте индуктивные плечи моста являются двумя секциями вторичной обмотки трансформатора. Первичная обмотка соединена с источником переменного тока, который питает мост.

Измерения с использованием описанного трансформаторного моста проводились в неуравновешенном режиме работы моста с измерением разбаланса моста в его диагонали. Для этого в диагональ включалось низкоомное постоянное сопротивление порядка 1 Ом, падение напряжения, на котором использовалось в качестве измерительного сигнала, пропорционального концентрации исследуемого раствора. Переменное сопротивление 2,2 МОм использовалось при установке начального равновесия моста (установка «нуля»). Необходимость такой установки связано с тем, что дистиллированная вода, заливаемая в кондуктометрическую ячейку, может иметь незначительный разброс по величине начальной электрической проводимости, связанный с условиями ее хранения и использования (загрязнение аналитической посуды, кондуктометрической ячейки и др.). Поэтому каждый раз перед проведением измерений проводится установка «нуля». Питание трансформаторного моста осуществлялось путем подачи напряжения на первичную обмотку трансформатора. Величина его регулировалась таким, чтобы на каждой из вторичных обмотках напряжение равнялось 12 вольт.

На частоте 50 Гц была экспериментально исследована электропроводность дистиллированной воды при поглощении ею сернистого

ангидрида SO_2 от сжигания проб топлива с разным содержанием серы. Для этого в специально изготовленной горелке проводилось постепенное (в течение 30-40 минут) сжигание 1 миллилитра дизельного топлива при постоянном контролируемом расходе топлива $(0,03-0,05) \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{мин}$. Величина расхода регулировалась таким образом, чтобы сгорание топлива происходило в виде спокойного ровного пламени высотой 5-7 мм без образования копоти. Соблюдение указанных условий необходимо для того, чтобы исключить неполное сгорание топлива, которое приводит к потере SO_2 в продуктах сгорания и возникновению погрешности измерений.

В экспериментах первоначально осуществлялось окисление сернистой кислоты в серную с помощью 1,5 %-ного раствора перекиси водорода H_2O_2 согласно методике, рекомендованной в [3]. Однако, как показали наши исследования, по мере снижения концентрации серы в анализируемых пробах быстро возрастает относительная ошибка определения ее концентрации, что связано с разложением перекиси водорода в процессе поглощения двуокиси серы. Процесс этот случайный и неконтролируемый, в связи, с чем результаты измерений имеют большой разброс. Применение других окислителей (йод, раствор аммиака) не привело к существенному улучшению положения.

Для устранения этого эффекта было предложено проводить окисление сернистого ангидрида озоном, постоянно подаваемым в определенном количестве в реакционную зону. Сначала были предприняты попытки проводить окисление SO_2 в газовой фазе. Однако достаточно высокая температура отходящих газов после сгорания не позволяет провести окисление SO_2 озоном в газовой фазе, так как озон активно распадается уже при температуре более 100°C . Исследования [3] подтверждают вывод о том, что реакция двуокиси серы с озоном в газовой фазе практически не идет.

В наших исследованиях озон вводился непосредственно в дистиллированную воду барботированием и благодаря своей хорошей растворимости (при 20°C – 0,688 г/л) насыщал ее. В присутствии воды происходит быстрое окисление сернистого газа озоном до серной кислоты, что позволило рекомендовать данный способ подготовки пробы для практического применения.

С использованием разработанного метода было установлено, что при измерении серы в нефтепродуктах в диапазоне $(0,08-1,4) \cdot 10^3 \text{ г/м}^3$ окисление сернистого ангидрида озоном в водном растворе происходит по линейному закону. Погрешность определения серы в этом случае не превышает 10 %.

Используя полученные результаты была разработана методика определения серы в нефтепродуктах с использованием кондуктометрического метода, а также прибор с использованием этого метода. Прибор включает в себя следующие основные элементы:

- Кондуктометрическая ячейка с электродами для измерения проводимости раствора;
- Безфитильная горелка для сжигания определенного объема масла;
- Дозатор сжигаемого топлива;

- Генератор озона;
- Схема измерения со схемой управления.

Работа прибора заключается в следующем: испытуемый нефтепродукт (или его раствор в разбавителе) сжигается в горелке, в которую он попадает с помощью дозатора. Продукт сгорания с помощью воздушного насоса (аспиратора) проходит через ламповое стекло и просасывается через поглотительный раствор в кондуктометрической ячейке. В качестве поглотительного раствора в ячейке используется дистиллированная вода, в которую от генератора озона через компрессор подается воздушно-озоновая смесь. В измерительной ячейке происходит образование серной кислоты по описанному выше механизму. Изменение проводимости поглотительного раствора регистрируется измерительной схемой, пересчитывается в конкретное значение содержания серы и выдается на жидкокристаллический индикатор. Разработанный метод можно использовать для надежного определения серы, в нефтепродуктах начиная с концентрации 0,01 %. В этом случае погрешность определения серы не превышает 10 %.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований установлено, что для определения содержания серы в органических веществах можно эффективно использовать кондуктометрический метод. Практическая реализация данного метода позволила на его основе разработать прибор анализа серы СИМ-6 в нефтепродуктах [4].

В настоящее время уже выпущено более 50 анализаторов содержания серы СИМ-6 в нефтепродуктах. Как показал опыт их эксплуатации имеются замечания по работе аспиратора анализатора, заключающиеся в недостаточной скорости аспирации газа. Для устранения этого недостатка был использован более мощный компрессор со скоростью прокачки до 2,5 литров/минуту.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ваня Я. Анализаторы газов и жидкостей [Текст]: / Я.Ваня //– М.: Энергия, 1970.
2. Худякова Т.Н., Крешков А.П. Теория и практика кондуктометрического и хромо-кондуктометрического анализа [Текст]: / Т.Н.Худякова.,А.П.Крешков// – М.: Химия, 1976.
3. Мюллер Г., Гнаук Г. Газы высокой чистоты [Текст]: / Г.Мюллер, Г.Гнаук // – М.: Мир, 1969.
4. Шувалов Г.В. Прибор для определения соединений серы в нефтепродуктах [Текст]: / Г.В.Шувалов// Материалы 6 международной конф. “Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП –2002”.: Сб.тр. – Т.3. – Новосибирск, 2002. – с.135-137.

© Г.В. Шувалов, 2010

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ВЯЗКОСТИ НЕНЬЮТОНОВСКИХ НЕФТЕЙ В ПОТОКЕ

В докладе представлен алгоритм метода динамического определения эффективной вязкости в магистральных трубопроводах. Применимость данного метода обосновывается с точки зрения нефти как неньютоновской жидкости.

M.V. Bodrov, V.N. Mamonov

Institute of Thermophysics of Russian Academy of Science (IT RAS)

Lavrentyev aven., 1, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

THE METHOD FOR DETERMINATION OF EFFICIENT VISCOSITY OF NON-NEWTONIAN OILS IN THE FLOW

This report represents the algorithm of dynamic determination of efficient viscosity in the main pipes. The applicability of this method is grounded on consideration of oil as the non-Newtonian liquid.

Одним из важных контролируемых параметров нефти и её производных является вязкость, определяющая потребительские свойства и влияющая на эффективность транспортировки. Выбор метода и приборов для контроля вязкости определяются областью дальнейшего использования получаемых данных.

Одним примером использования информации о вязкости нефти являются различные методики оценки потерь давления в нефтепроводах при её транспортировке. В большинстве таких методик важно оценить так называемую эффективную вязкость транспортируемого потока нефти, то есть вязкость гипотетической ньютоновской жидкости, перекачиваемой по нефтепроводу с тем же расходом, имеющей ту же плотность и ту же температуру и вызывающей в транспортном нефтепроводе те же потери давления.

Следует заметить, что большинство методов измерения вязкости может быть использовано только для ньютоновских жидкостей, то есть для жидкостей, у которых вязкость не зависит от скорости сдвига в потоке. Однако нефть, подаваемая в нефтепровод с различных месторождений, может обладать свойствами неньютоновской жидкости. При определении реологических характеристик образцов нефти, обладающих свойствами неньютоновской жидкости, обычно используют ротационные вискозиметры, позволяющие получать так называемые «реологические кривые», то есть зависимости вязкости жидкости от скорости сдвига в рассматриваемой точке потока этой жидкости. Однако применение ротационных вискозиметров связано с жестким соблюдением требований к стабильности температуры нефти ($\sim 0,05^\circ\text{C}$), точности установки ($\sim 3^\circ$ отклонения от оси), отсутствию вибраций. Так же

ротационные вискозиметры не предназначены для измерения вязкости непосредственно в потоке.

Нефти, проявляющие неньютоновские свойства, в подавляющем числе случаев можно отнести к так называемым псевдопластичным жидкостям, у которых вязкость уменьшается с ростом скорости сдвига. На рис. 1 приведены «реологические кривые» для четырех образцов неньютоновских нефтей, водного раствора полиэтиленоксида и водного раствора глицерина (70% глицерина). Водный раствор глицерина использован как пример ньютоновской жидкости высокой вязкости, водный раствор полиэтиленоксида – как пример неньютоновской жидкости, которая не является нефтью.

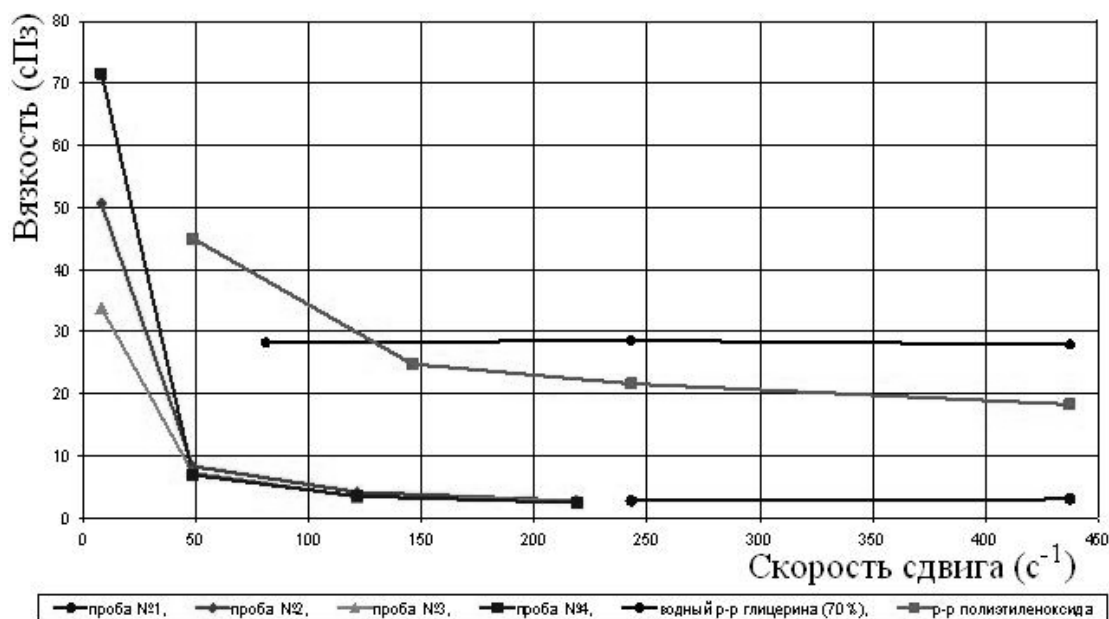


Рис. 1. «Реологические кривые» жидкостей

Анализируя данные, приведенные на рис. 1, можно сделать следующие выводы:

- В области малых скоростей сдвига (от 8 с⁻¹ до 50 с⁻¹) при незначительном изменении скорости сдвига вязкость образцов нефти изменяется в 6 – 10 раз;

- В области изменения скорости сдвига от 50 (с⁻¹) до 450 (с⁻¹) динамическая вязкость изменяется не так значительно, как в предыдущей области: от 8 сПз до 2 сПз. Причем зависимости для всех четырех образцов нефти с ростом скорости сдвига асимптотически сходятся к постоянной величине порядка 2 сПз. С физической точки зрения это можно объяснить тем, что все удлиненные структурные единицы в образцах нефти при достаточно больших значениях скоростей сдвига ориентируются вдоль по потоку и не препятствуют передаче импульса поперек потока. В этом случае образцы нефти начинают вести себя как ньютоновские жидкости.

В табл. 1 приведены результаты оценочных расчетов скорости сдвига в трубопроводах двух диаметров (1 м и 0,1 м) на стенке трубы и на расстоянии 0,05D от стенки трубы при двух значениях вязкости протекающей по

трубопроводам нефти ($\mu = 2$ сПз и $\mu = 150$ сПз) при заданных средних скоростях течения ($V = 6$ м/с и $V = 0,5$ м/с).

Таблица 1. Расчет скорости сдвига при течении нефти в трубопроводе

Вид трубопровода	Динамическая вязкость μ (сПз)	Положение точки расчета $y = f(d)$	Диаметр трубы d (м)	Средняя скорость течения в трубе U (м/с)	Скорость сдвига D (с^{-1})
Магистральный нефтепровод	2	d (стенка)	1,00	6,0	10514
	2	$0,05d$	1,00	6,0	1,32
	150	d (стенка)	1,00	6,0	412,6
	150	$0,05d$	1,00	6,0	1,88
Трубопровод БИК	2	d (стенка)	0,10	0,5	241,7
	2	$0,05d$	0,10	0,5	1,56
	150	d (стенка)	0,10	0,5	16,0
	150	$0,05d$	0,10	0,5	14,4

Из результатов оценочных расчетов, приведенных в табл. 1, следует несколько важных выводов:

– При турбулентном режиме течения нефти по трубопроводу во всем турбулентном ядре течения, которое включает в себя практически все сечение трубопровода за исключением очень тонкого слоя, прилегающего к стенке трубы, скорость сдвига весьма мала по абсолютной величине. В этой области течения скорость сдвига слабо возрастает от нулевого значения на оси трубы [2] до нескольких единиц или десятков единиц (с^{-1}) вблизи пристенной области течения, которую иногда называют вязким подслоем. Это название связано с тем, что в вязком подслое течение формируется в основном под влиянием сил вязкого трения. Турбулентная составляющая сил трения здесь весьма мала;

– В вязком подслое, как видно из табл. 1, величина скорости сдвига превышает значения скорости сдвига в турбулентном ядре в сотни и даже тысячи раз (в зависимости от течения).

Анализ экспериментальных и расчетных данных приведенных рис. 1 и в табл. 1, позволяет сделать заключение, что при движении неньютоновской нефти по трубопроводам она ведет себя в вязком подслое как ньютоновская жидкость, так как в вязком подслое (на стенке трубы) весьма высоки градиенты скорости (скорости сдвига).

Такое же заключение можно сделать и для СУ, потери давления в котором определяются скоростью сдвига на внутренней смоченной поверхности СУ (если через СУ прокачивать неньютоновскую нефть).

Проведенные исследования позволяют построить измерительное устройства поточного типа на основе сужающего (СУ), с помощью которого можно проводить с достаточной точностью оценку эффективной вязкости неньютоновской нефти.

СУ является одним из традиционных инструментов, используемых для измерения расхода жидкостей и газов. Метод измерения расхода жидкости или газа с помощью СУ основан на измерении перепада давления, возникающего в результате преобразования в СУ части потенциальной энергии потока в кинетическую.

В общем случае можно показать [1], что зависимость массового расхода жидкости через СУ зависит от перепада давления ΔP на СУ, геометрии проточной части СУ и свойств жидкости (плотности и вязкости) и погрешность определяется классом приборов и точностью изготовления СУ.

Диапазон расхода измеряемой среды, когда силами трения (вязкостью жидкости) можно пренебречь, реализуются при достаточно больших числах Рейнольдса. При работе с нефтью и нефтепродуктами в общем случае пренебрегать силами трения нельзя, так как их вязкость может быть достаточно высока, а расходы весьма умеренны. В этом случае очень удобно характеризовать коэффициентом сопротивления СУ, универсальным для любых несжимаемых жидкостей зависимостью:

$$\lambda = f(Re) = \Delta P / (\rho U^2 / 2), \quad (1)$$

Здесь $Re = \rho U d / \mu$ - число Рейнольдса, ΔP – перепад давления на СУ, U – средняя скорость во входном сечении СУ, d - диаметр входного сечения СУ, ρ – плотность жидкости, μ - динамическая вязкость жидкости.

Безразмерная зависимость (1) индивидуальна для каждого СУ, так как в нее входят параметры, описывающие геометрию СУ. Но эта индивидуальная с точки зрения геометрии СУ зависимость универсальна для любых жидкостей во всем доступном для практики диапазоне расходов, так как она учитывает кинематику потока (скорость) и свойства жидкости (плотность и вязкость).

Используя обратную универсальную зависимость можно определить действующее значение динамической вязкости μ :

$$Re = g(\lambda) \rightarrow (\rho U d) / \mu = g(2 \Delta P / \rho U^2) \quad (2)$$

На рис. 2 приведена безразмерная зависимость (2) для оригинального СУ [3], полученная на специальном экспериментальном проливном стенде ИТ СО РАН. Стенд позволяет осуществлять циркуляцию жидкости с различными фиксированными значениями динамической вязкости при различных фиксированных температурах циркулирующей жидкости.

СУ представляло собой плоское сужение в канале круглого сечения диаметром 50 мм и длиной 250 мм, имело конфузорный и диффузорный участки, плавно сопрягающие входное и выходное сечения СУ с плоским сужением.

В качестве рабочей ньютоновской жидкости использовался водный раствор глицерина. Вязкость рабочей жидкости изменялась за счет изменения концентрации смеси вода-глицерин и изменения температуры. Измерения проведены при трех значениях концентрации глицерина в смеси: 80%, 70% и 0% (вода). Температура рабочей жидкости изменялась в диапазоне от 22°C до 69°C, что позволило охватить диапазон значений динамической вязкости от 1,2

сП до 40 сП. Перепад давления регистрировался дифференциальным манометром «Метран – 100 ДД» с погрешностью $\delta = \pm 0,5\%$, расход весовым методом с погрешностью $\delta = \pm 0,5\%$, скорость потока определялась ультразвуковым измерителем скорости с $\delta = \pm 0,5\%$.

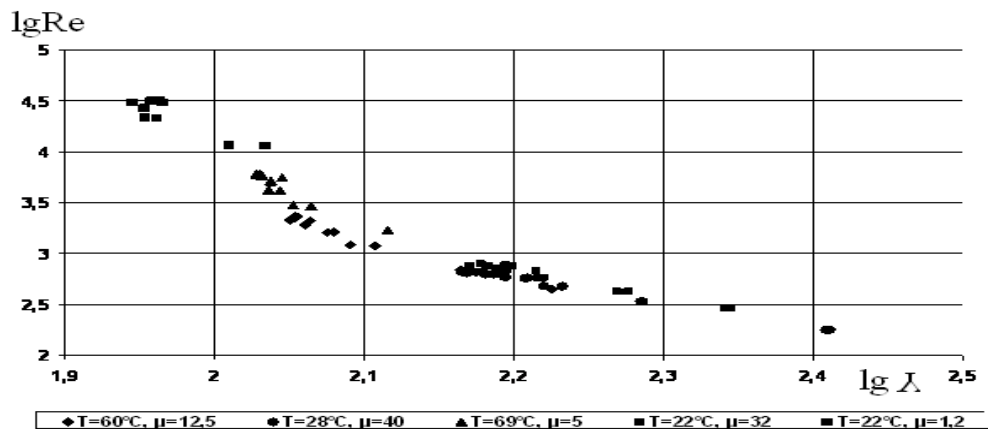


Рис. 2. Безразмерная зависимость для СУ $\lg Re = g(\lg \lambda)$

Полученные экспериментальные данные позволили разработать алгоритм для оснащения им устройства для определения эффективной вязкости неньютоновской нефти в потоке (рис. 3).

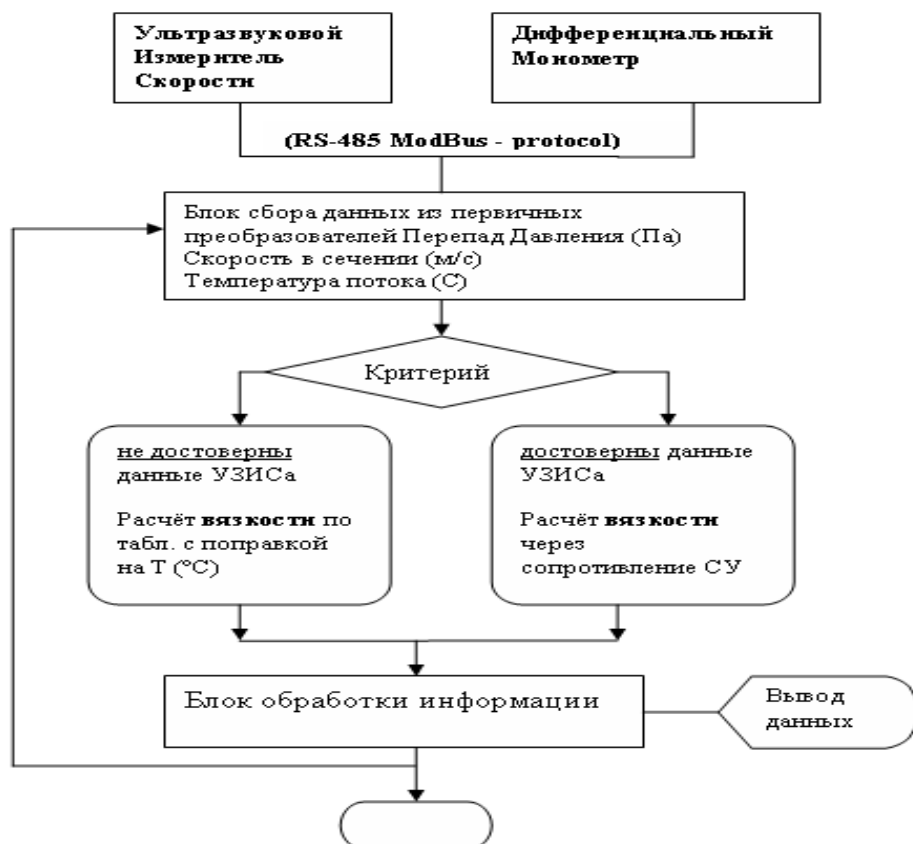


Рис. 3. Алгоритм поточного вискозиметра

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ [Текст] / П.П. Кремлёвский. – С.-Петербург.: Политехника, 2002. – 410 с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя [Текст] / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1969. – 742 с.
3. Серов А.Ф. Определение текущего значения вязкости нефтеводяной эмульсии [Текст] / А.Ф. Серов, В.Н. Мамонов, А.Д. Назаров, М.В. Бодров // сборник материалов международного научного конгресса «Гео-Сибирь-2009», 20–24 апреля 2009 года: Сб. матер. Т. 5, Ч. 2 / СГГА. – Новосибирск, 2009. – С. 163–167.

© М.В. Бодров, В.Н. Мамонов, 2010

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СТЕНДА
ТЕПЛОПЕРЕНОСА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПАКТНОЙ ВОДО-
КАПЕЛЬНОЙ СТРУИ**

В докладе описаны методы, средства измерения и системы контроля, используемые в исследованиях теплопереноса между импульсной газокapельной струей и плоским теплообменником на этапах подготовки и проведения эксперимента.

A.D. Nazarov, A.F. Serov, M.V. Bodrov, V.A. Simakov

Institute of Thermophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IT SB RAS)
Lavrentev avenue 1, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

**METROLOGICAL EQUIPMENT OF SETUP FOR HEAT TRANSFER INVESTIGATION
AT THE PULSE EFFECT OF AN IMPACT WATER-DROPLET JET**

This report describes measuring methods and tools together with control systems used for investigations of heat transfer between an impact gas-droplet jet and a flat heat exchanger at the stage of experiment preparation and execution.

В теплофизических исследованиях с применением газокapельного потока измеряются и контролируются величины большого и разнообразного числа параметров. Это влечет применение первичных датчиков, функционирующих на основе разных физических законов, имеющие неодинаковые выходные интерфейсы электрического сигнала, которые объединяются в специализированную информационно-измерительную систему. В функции такой системы входит не только фиксация измерительной информации, но управление оборудованием.

Основными элементами экспериментальной исследовательской установки, структурная схема которой показана на рис. 1, являются теплообменник и источник газокapельного потока.

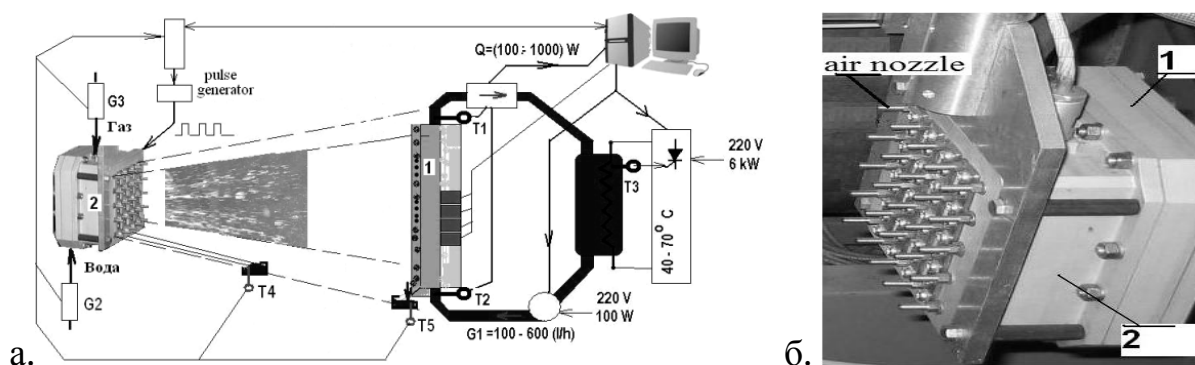


Рис. 1. а – Аэрозольный экспериментальный стенд. 1 – цифровой теплообменник с калориметром; 2 – программируемый источник

многоструйного импульсного спрея. б – Фотография аэрозольного источника. 1 – блок жидкости; 2 – газовый блок

Условиями эксперимента определен режим течения жидкостной фазы в газокapельном потоке: в постоянном потоке газа должны периодически двигаться области капельно-жидкостной фазы заданной длительности и частоты, создавая импульсный режим потока. Для осуществления этой задачи был сконструирован источник аэрозоли, показанный на рис.1б., выполненный в виде двухкамерного блока: для воздуха и воды [1,2]. На плоской части источника расположены 16 жидкостных форсунок в виде матрицы 4×4 . На этой же поверхности для создания спутного воздушного потока установлены 25 газовых сопла с диаметром выходного отверстия 0.35 мм.

Расход газовой составляющей не изменяется во времени для конкретного режима, и определяется давлением на входе воздушного блока. За счет изменения рабочего давления $P_g = (0 \div 6)$ атм. начальная скорость воздушного спутного потока может быть установлена $(0 \div 20)$ м/с.

Жидкостная форсунка представляет собой распылитель из четырех сопел диаметром 125 мкм включаемых одним электромагнитным клапаном. Для управления жидкостными клапанами разработано микропроцессорное устройство, формирующее сигналы длительности, частоты и последовательности открытия каждого клапана. Устройство состоит из контроллера с микропроцессором MSP430F149 и блока исполнительного устройства (ключами). Процессорная плата связана с компьютером по каналу USB, что позволяет оперативно задавать режим работы матрицы жидкостных клапанов. Электронные устройства собраны в конструктиве системы КАМАК.

Структурная схема алгоритма и панель управления программы, при помощи которой задаются параметры включения клапанов, показаны на рис. 2.

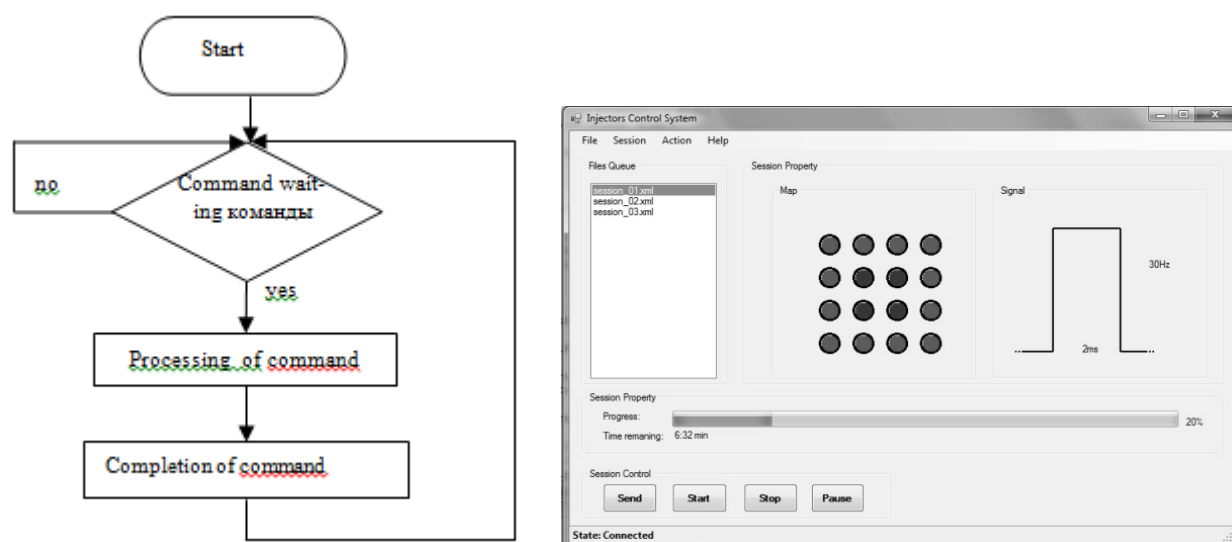


Рис. 2. Структурная схема алгоритма работы микроконтроллера MSP430F149 и панель управления

Программно-аппаратное устройство позволяет генерировать длительность ($T_i = (0.002 \div 0.01)$ с) и частоту открытия клапана ($F_i = (1 \div 50)$ Гц), что позволяет

формировать газокапельный поток с заданной удельной массой жидкой фазы. Расход жидкости и её концентрация на поверхности теплообменника определяется порядком включения клапанов и давлением на входе блока электромагнитных клапанов ($P_L = (0.5 \div 3)$ атм., при этом начальная скорость жидкости в потоке регулируется $(0.5 \div 30)$ м/с). Генерация частотно-временных характеристик аппаратно-программной системы управления жидкостными клапанами проверялась частотомером вычислительным ЧЗ-64. По расчетам и прямым измерениям блок управления обеспечивает точность формирования длительности включения клапана < 0.05 %. Но реальная погрешность определяется временем переходного процесса (открытие-закрытие) электромагнитного клапана (~ 0.0001 сек). Этот переходный процесс зависит от давления в магистрали подачи жидкости, что может вносить нелинейную зависимость расхода от длительности импульса до 5 % при открытии клапана продолжительностью на 2 мс. При проведении измерений была учтена эта погрешность, что позволило расширить диапазон открытия длительности импульса от 0.001 с до 0.01 с.

Измерения жидкостной фазы проводились разработанным в лаборатории прибором для локального измерения концентрации жидкости в газокапельном потоке. Принцип действия измерителя основан на поглощении энергии высокочастотного электромагнитного поля при взаимодействии с водяной компонентной аэрозольного потока. Источником электромагнитных колебаний является излучатель, соединенный с генератором с.в.ч. колебаний.

На рис. 3а показана структурная схема прибор, на рис. 3б конструкция с.в.ч. датчика. К излучателю 4 через схему согласования 3 и высокочастотный усилитель 2 подводится переменный электрический сигнал генератора 1 (частотой 433,92 МГц). Устройство автоматической регулировки уровня (АРУ) 7, 8 поддерживает на постоянном уровне значение амплитуды переменного с.в.ч. сигнала на выходе усилителя. Разностный сигнал с детектора 5 и 6 после сумматора 9, дает информацию об электромагнитной энергии, поступающей на излучатель до и после взаимодействия со средой смеси. Аналоговый сигнал преобразуется в код с помощью АЦП контроллера 10, где информация архивируется, может выводиться на индикацию и передаваться в компьютер для дальнейшей обработки и визуального представления результатов измерения. Калибровка измерителя жидкой фазы выполнялась по двум значениям концентрации влаги: 100% - дистиллированная вода и 0% - сухой воздух.

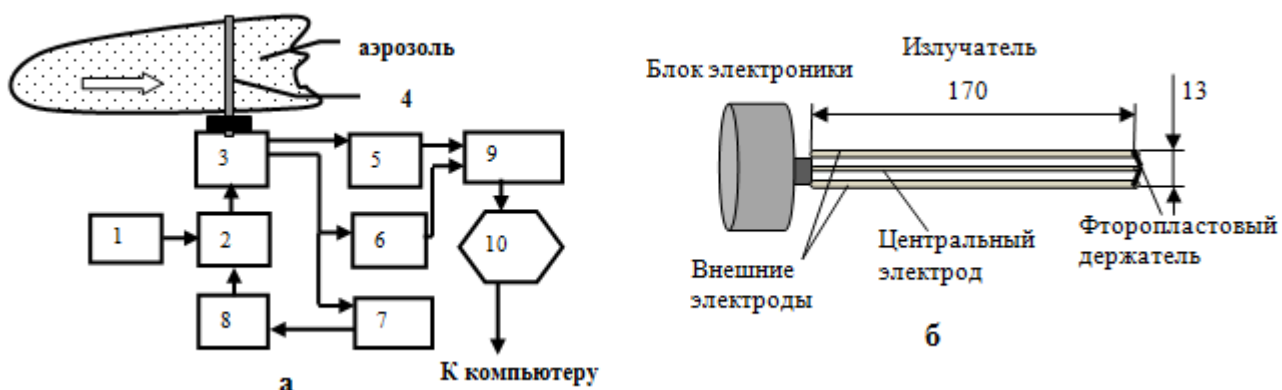


Рис. 3. а – Структурная схема измерителя. б. – Конструкция зонда

Измерение, разработанным прибором, концентрации жидкой фазы по сечению газок капельного потока на расстоянии $L = 50$ мм от поверхности теплообменника [1] показали, что на площади равной поверхности теплообменника отклонение от среднего не превышают 5%.

Скорость воздушной фазы газок капельного потока измерялась термоанемометром “АТТ-1004” – это прибор, зарегистрированный в Государственном реестре средств измерений, с техническими характеристиками: диапазон измерения $V = (0.5 \div 20)$ м/с; разрешение – 0.1 м/с; погрешность - $\pm(0.05 V + 0.2)$, где V – измеренное значение скорости воздушного потока. Измерения поля скоростей были проведены для $P_g = 0.05, 1.5$ и 2 МПа. Картина распределения скоростей существенно не менялась.

При регистрации распределения воздушной и жидкостной фаз использовалось координатное устройство (рис.4а). Перемещение с точностью 20 мкм (погрешность перемещения составляла $1 \cdot 10^{-3}$) осуществлялось по двум координатам шаговыми двигателями под управлением компьютерной программой. Аппаратура управления выполнена в стандарте системы КАМАК. Связь с компьютером осуществляется по интерфейсу RS-232. Программа управления для компьютера написана на языке программирования C++ [5,6]. На рисунке 4б и 4в показана панель управления программы, позволяющая задавать перемещение каретки в ручном и в автоматическом режимах, задавая путь обхода и задержки между очередными перемещениями через интерфейс программы.

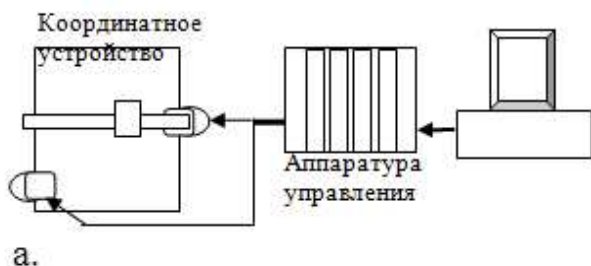


Рис. 6. Координатное устройство:

- а) Структурная схема; б) меню настройки параметров; в) меню управления режимами работы

Визуализация потока осуществлялась высокоскоростной камерой со скоростью регистрации 7000 видеок кадров в секунду. Обработка видеоданных специальной программой «Phantom Control» позволили определить размер капель, составляющий жидкостную составляющую газокapельного потока, скорость движения области капел в потоке. Увидеть перераспределение капел по размеру при движении от источника к поверхности теплообменника.

Эти результаты дополнялись данными полученными от локального датчика пульсаций, которым измерялись распределения концентрации капел в цуге и скорость цуга капел по времени дрейфа от сопла до датчика. В измерениях применялся пьезоэлектрический датчик пульсаций диаметром $D = 10$ мм с чувствительностью $P = 10$ мВ/Па в диапазоне пульсаций $F_{\text{пульс}} = (50-15000)$ Гц. Информационно-измерительная система, в которую включен датчик, позволяет получить погрешность измерения амплитуды пульсаций порядка 1%. В компьютере проходила обработка полученной информации. Оптические наблюдения и измерения датчиком пульсаций импульсного спрея показали, что поток содержит два основных размера капел (крупные, $D \sim (120-150)$ мкм; мелкие, $d \sim (45-50)$ мкм.). Анализ данных показывает, что в процессе движения цуга капел происходит его удлинение примерно в четыре раза (с 0,003 сек. до 0,012 сек).

Регистрация интенсивности охлаждения импульсным спреем поверхности теплообменника выполнялась калориметром, измеряющим интегральный тепловой поток [1, 2]. Контур теплоносителя цифрового калориметра состоит из теплообменника, первичного преобразователя образцового ультразвукового расходомера, электродкотла, циркуляционного насоса, накопительного объема и теплоизолированных подводящих шлангов. В поток контура введены специальные попарно калиброванные платиновые термометры сопротивления (т.с.п.) для измерения перепада температуры теплоносителя между входом и выходом в теплообменнике, термометр жидкости в потоке спрея, термометр жидкости с поверхности пластины в специальном сборнике.

Как показала практика, суммарная погрешность измерения теплового потока отводимого от теплообменника с учетом паразитных тепловых потоков (теплопроводящая арматура и т.п.) находится в пределах $1.5 \div 3$ % (около 20 Дж), что позволяет с достаточной точностью определять параметры теплообмена и их зависимость от режима охлаждающего потока.

Для измерений локальных характеристик теплового потока была создана информационно-измерительная система, первичными датчиками в которой были локальный датчик теплового потока (д.т.п.) [3] и миниатюрного т.с.п. Точность измерения локальных данных системой составляет ± 0.5 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 09-08-00197-а.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Назаров А. Д., Серов А. Ф., Терехов В. И., Шаров К. А. Экспериментальное исследование испарительного охлаждения импульсным спреем [Текст] / А.Д. Назаров, А. Ф. Серов, В. И. Терехов, К. А. Шаров // ИФЖ. – 2009. – Т82., №6. – с.1160-1166.
2. Nazarov A.D., Terekhov V.I, Serov A.F. and Sharov K.A. An Experimental Study of Pulsed-Spray Impingement Evaporative Cooling [CD] / A.D. Nazarov, V.I Terekhov, A.F. Serov and K.A. Sharov // 7th International Symposium on Heat Transfer, (ISHT 08), 26-29 October. 2008: Paper - Beijing, China.
3. Митяков Владимир Юрьевич Возможности градиентных датчиков теплового потока на основе висмута в теплотехническом эксперименте [Текст] / В.Ю. Митяков // Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. - С.-Петербургский государственный политехнический университет – 2005. - С.239.

© А.Д. Назаров, А.Ф. Серов, М.В. Бодров, В.А. Симаков, 2010

ОЦЕНИВАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ НА КА ВОЗМУЩЕНИЙ ПО ДАННЫМ БЕЗЗАПРОСНЫХ ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В работе обсуждаются особенности траекторных измерений для задачи восстановления возмущений, действующих на КА.

A.S. Tolstikov, A.A. Karaush

Siberian Scientific-Research Institute of Metrology (SSRIM) 4 Dimitrova, Novosibirsk, 630004, Russian Federation; Siberian State Academy of Geodesy (SSGA) 10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation; NSTU, Novosibirsk

ESTIMATION AN EFFECTS OF DISTURBANCES ON SATTELITES, USING REQUESTLESS TRAJECTORY MEASURMENTS

Features of trajectory measurments are considered in this work, in application for recovery of disturbances impacting on sattelites.

Эфемеридно-временное обеспечение (ЭВО) ГЛОНАСС представляет собой результаты прогнозирования движения орбитальной группировки навигационных космических аппаратов (КА), прогнозирование параметров вращения Земли (ПВЗ) и прогнозирования положений шкал времени бортовых часов КА.

Чтобы рассчитать прогноз движения КА необходимо располагать:

- Моделью движения КА;
- Моделями действующих на КА возмущений на интервале прогнозирования.

Проведенные авторами исследования показали, что задача восстановления возмущений, действующих на КА, по данным траекторных измерений имеет ряд особенностей.

От множества существующих схем оценивания текущих навигационных параметров, применяемых для восстановления орбит КА, предлагаемые алгоритмы отличаются тем, что рассматривается относительное движение КА вдоль опорной траектории. При этом в применяемой опорной траектории КА максимально учтены действующие на КА возмущения:

- От нецентральности гравитационного поля Земли;
- От гравитационного воздействия на КА Луны и Солнца;
- От некоторого усредненного радиационного давление на КА солнечного излучения.

При выборе опорной траектории движения КА возникает проблема, суть которой в том, что появляется дополнительная составляющая в обобщенной

погрешности измерений $V(t)$. Для минимизации этой составляющей необходимо особым образом выбирать опорную траекторию. Описанию происхождения этой проблемы и посвящена настоящая работа.

1. Уравнение движения КА

Для высокоточного прогнозирования движения КА и для расчета на этой основе соответствующих эфемерид используется описание движения КА в оскулирующих элементах [1]. Движения КА и учет действующих на КА возмущений, а также организация траекторных измерений рассматривается в соответствующих системах координат.

1.1. Системы координат ИСК, ГСК, ОСК [2]

Инерциальная система координат 2000 года (ИСК 2000). Начало ИСК - в центре масс Земли. Основная плоскость – средний экватор на эпоху 0 часов 1 января 2000 года. Ось X_{II} направлена в среднюю точку весеннего равноденствия эпохи 2000 года. Ось Z_{II} направлена в сторону Северного полюса Мира, а ось Y_{II} дополняет систему координат до правой.

Гринвичская система координат (ГСК) связана с вращающейся Землей. Начало ГСК – в центре масс Земли. Ось X_G лежит в пересечении Гринвичского меридиана и экватора эпохи 1900 – 1905 годов, ось Z_G направлена в сторону Северного полюса и проходит через Международное условное начало (МУН) 1900 – 1905 г. Ось Y_G дополняет систему до правой.

Объектоцентрическая система координат (ОСК) связана с КА. Начало ОСК в центре масс КА. Ось X_O направлена по радиусу – вектору орбиты КА. Ось Y_O - направлена по вектору скорости КА, касательному к траектории КА. Ось Z_O направлена по вектору Лапласа (по бинормали).

1.2. Описание движения КА в ОСК

Движение КА в ОСК описывается дифференциальным уравнением общего вида:

$$\dot{\eta} = f(\eta, s, w), \eta(t_0) = \eta_0. \quad (1)$$

Из всех действующих на КА возмущений $s_i, i=1, \dots, 5$, ($i=1$ -возмущений от нецентральности гравитационного поля Земли, $i=2, 3$ - возмущений от гравитационного воздействия Луны и Солнца, $i=4$ - возмущений от радиационного давления (РД) на КА солнечного излучения, $i=5$ - немоделируемых возмущений) считаем, что возмущения $s_1(t), s_2(t), s_3(t)$ могут быть учтены достаточно точно с помощью известных математических моделей. Нескомпенсированные составляющие этих возмущений дополняют вектор $s_5 = w$, который трактуется как случайный процесс с известными в ряде случаев вероятностными характеристиками.

1.3. Линеаризация уравнения движения КА

Чтобы выделить дополнительное движение КА, обусловленное вариациями параметров $\Delta\alpha_i, i=1, \dots, N$ модели РД, введем в рассмотрение опорную траекторию x_δ , удовлетворяющую уравнению

$$\dot{\boldsymbol{\eta}}_{\delta} = \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}_{\delta}, \mathbf{s}_{\delta}, \mathbf{0}), \boldsymbol{\eta}_{\delta}(t_0) = \boldsymbol{\eta}_{0\delta}, \quad (2)$$

в котором $\mathbf{s}_{\delta}(t) = \sum_{i=1}^3 \mathbf{s}_i(t) + \mathbf{s}_{4\delta}(t), \mathbf{s}_{4\delta}(t) = \boldsymbol{\varphi}(\boldsymbol{\alpha}_{\delta}, t)$.

Относительное движение КА $\Delta\boldsymbol{\eta} = \boldsymbol{\eta} - \boldsymbol{\eta}_{\delta}$ вдоль опорной траектории $\boldsymbol{\eta}_{\delta}$ описывается линеаризованным уравнением

$$\Delta\dot{\boldsymbol{\eta}} = \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \boldsymbol{\eta}} \Delta\boldsymbol{\eta} + \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \boldsymbol{\alpha}} \Delta\boldsymbol{\alpha} + \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{w}} \mathbf{w}, \Delta\boldsymbol{\eta}(t_0) = \boldsymbol{\eta}_0 - \boldsymbol{\eta}_{\delta 0} \quad (3)$$

Очевидно, что сама разность $\Delta\boldsymbol{\eta}$ обусловлена отличием начальных условий $\Delta\boldsymbol{\eta}(t_0) = \boldsymbol{\eta}_0 - \boldsymbol{\eta}_{\delta 0}$ в уравнениях (1) и (2), вариациями параметров $\Delta\boldsymbol{\alpha}$, наличием немоделируемых возмущений $\mathbf{w}$ в уравнении (1) и представляются приближенным равенством

$$\Delta\boldsymbol{\eta} = \frac{\partial \boldsymbol{\eta}}{\partial \boldsymbol{\eta}_0} \Delta\boldsymbol{\eta}_0 + \frac{\partial \boldsymbol{\eta}}{\partial \boldsymbol{\alpha}} \Delta\boldsymbol{\alpha} + \frac{\partial \boldsymbol{\eta}}{\partial \mathbf{w}} \mathbf{w} \quad (4)$$

В (4) частные производные $\frac{\partial \boldsymbol{\eta}}{\partial \boldsymbol{\eta}_0}; \frac{\partial \boldsymbol{\eta}}{\partial \boldsymbol{\alpha}}; \frac{\partial \boldsymbol{\eta}}{\partial \mathbf{w}}$ - функции чувствительности

траектории КА к вариациям начальных условий $\Delta\boldsymbol{\eta}(t_0)$ в уравнении (4), вариациям параметров $\Delta\boldsymbol{\alpha}$ и к возмущениям $\mathbf{w}$. Эти функции чувствительности удовлетворяют соответствующим уравнениям чувствительности, полученным непосредственным дифференцированием линеаризованного уравнения относительного движения (3) по перечисленным факторам $\Delta\boldsymbol{\eta}(t_0), \Delta\boldsymbol{\alpha}, \mathbf{w}$ в предположении стационарности этих факторов.

Для оценивания параметров $\Delta\boldsymbol{\alpha}$ согласующей математической модели РД необходимо ввести условие их квазистационарности в виде уравнения

$$\Delta\dot{\boldsymbol{\alpha}} = \boldsymbol{\xi}, \boldsymbol{\alpha}(t_0) = \Delta\boldsymbol{\alpha}_0, \quad (5)$$

где $\boldsymbol{\xi}$ - порождающий случайный процесс гауссовского типа с $M\{\boldsymbol{\xi}\} = 0$ и ограниченной ковариационной матрицей $M\{\boldsymbol{\xi} \cdot \boldsymbol{\xi}^T\}$. Линеаризованное уравнение (3) совместно с уравнением (5) составят описание движения КА в условиях неопределенного РД солнечного излучения. В этом случае оцениванию подлежит расширенный вектор состояния $\Delta\mathbf{x}^T = (\Delta\boldsymbol{\eta}^T, \Delta\boldsymbol{\alpha}^T)$.

2. Уравнения траекторных измерений

Измерение наклонных дальностей $D_i(t)$ до КА производится с сети n беззапросных измерительных станций (БИС) с координатами $\mathbf{u}_{ii}, i = 1, \dots, n$.

Измеренные дальности $D_i(t)$ связаны с геометрическими дальностями $\rho_i(\mathbf{u}_C, \mathbf{u}_{Pi})$ уравнениями измерений

$$D_i(t) = \rho_i(\mathbf{u}_C, \mathbf{u}_{Pi}) + \sum_{k=1}^{12} p_{ki}(t), i=1, \dots, n, \quad (6)$$

где $p_{ki}(t), k=1, \dots, 12, i=1, \dots, n$ – факторы, влияющие на точность измерений; $\rho_i(\mathbf{u}_C, \mathbf{u}_{Pi})$ на каждой радиотрассе.

В уравнении измерений (6) текущие координаты КА $\mathbf{u}_C$ и координаты сети БИС $\mathbf{u}_{Pi}$ должны быть определены в ИСК. Последнее обстоятельство заставляет перевести текущие значения оскулирующих элементов $\boldsymbol{\eta}$ в вектор кинематических параметров движения КА $\mathbf{u}_C^T, \dot{\mathbf{u}}_C^T$, определенных в ИСК. Векторы координат БИС $\mathbf{u}_{Pi}, i=1, \dots, n$, определенные в ГСК, также должны быть приведены в соответствующие координаты ИСК.

Возможность расчета опорной траектории $\boldsymbol{\eta}_\delta(t)$ в соответствии с (2) и соответствующей ей опорной траектории $\mathbf{u}_{C\delta}(t), \dot{\mathbf{u}}_{C\delta}(t)$ в ИСК позволяет рассчитать опорные геометрические дальности в соответствии с равенством

$$\rho_{i\delta}(\mathbf{u}_{C\delta}, \mathbf{u}_{Pi}) = \sqrt{(x_{C\delta} - x_{Pi})^2 + (y_{C\delta} - y_{Pi})^2 + (z_{C\delta} - z_{Pi})^2} \quad (7)$$

и преобразовать уравнение измерений (5), введением в левую и правую части этого уравнения расчетных поправок $\rho_{i\delta}(\mathbf{u}_{C\delta}, \mathbf{u}_{Pi})$, к линейному виду

$$\Delta D_i(t) = D_i(t) - \rho_{i\delta}(\mathbf{u}_{C\delta}, \mathbf{u}_{Pi}) = \mathbf{c}_i^T(t) \cdot \Delta \mathbf{u}_{C\delta} + \sum_{k=1}^{12} p_{ki}(t), \quad (8)$$

где $\Delta \mathbf{u}_{C\delta} = \mathbf{u}_C - \mathbf{u}_{C\delta}$ вектор действительных отклонений текущих координат КА от опорной траектории; $\mathbf{c}_i^T(t) = \frac{\partial \rho_i(t)}{\partial \mathbf{u}_{C\delta}} = \frac{1}{\rho_{i\delta}} \mathbf{R}_i^T(t), \mathbf{R}_i(t) = \mathbf{u}_{C\delta}(t) - \mathbf{u}_{Pi}(t)$ – векторы направляющих косинусов.

Поскольку для целей ЭВО высокоточное прогнозирование движения КА производится для оскулирующих элементов, далее будет рассматриваться оценивание начальных условий $\Delta \boldsymbol{\eta}(t_0)$ для уравнения движения (3).

В ОСК уравнение (8) примет вид

$$\Delta D_i(t) = \frac{\partial \rho_i(t)}{\partial \boldsymbol{\eta}} \cdot \Delta \boldsymbol{\eta} + \sum_{k=1}^{12} p_{ki}(t), \quad (9)$$

где $\frac{\partial \rho_i(t)}{\partial \boldsymbol{\eta}}$ - частные производные от дальностей для опорной траектории

КА в оскулирующих элементах $\boldsymbol{\eta}_\delta$; $\Delta \boldsymbol{\eta} = \boldsymbol{\eta} - \boldsymbol{\eta}_\delta$ - отклонение действительной траектории КА $\boldsymbol{\eta}$ от опорной $\boldsymbol{\eta}_\delta$.

Подстановка $\Delta \boldsymbol{\eta}$ из (4) приводит уравнение измерений (9) к виду

$$\Delta D_i(t) = \frac{\partial \rho_i(t)}{\partial \boldsymbol{\eta}} \cdot \left[\frac{\partial \boldsymbol{\eta}}{\partial \boldsymbol{\eta}_0} \Delta \boldsymbol{\eta}_0 + \frac{\partial \boldsymbol{\eta}}{\partial \boldsymbol{a}} \Delta \boldsymbol{a} + \frac{\partial \boldsymbol{\eta}}{\partial \boldsymbol{w}} \boldsymbol{w} \right] + \sum_{k=1}^{12} p_{ki}(t), \quad (10)$$

где $\Delta \boldsymbol{\eta}_0, \Delta \boldsymbol{a}$ - компоненты вектора состояния КА, подлежащие оцениванию;

$\frac{\partial \rho_i(t)}{\partial \boldsymbol{\eta}} \cdot \frac{\partial \boldsymbol{\eta}}{\partial \boldsymbol{w}} \boldsymbol{w} = p_{11i}(t)$ - немоделируемые возмущения, переходящие в разряд факторов, влияющих на точность траекторных измерений.

При подстановке отклонения действительной траектории КА от опорной в уравнение псевдодальномерных измерений к случайным немоделируемым погрешностям псевдодальномерных измерений добавляются немоделируемые возмущения траектории. Это ведет к увеличению погрешности, имеющей случайную природу. Для уменьшения этой погрешности необходимо специальным образом выбирать опорную траекторию движения КА, так чтобы максимально учесть все действующие на КА возмущения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жданюк, Б.Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений [Текст] / Б.Ф. Жданюк // - М.: «Советское радио». – 1978. – 384с.
2. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии [Текст] / К.М. Антонович // Т 1. – М.: «Картогеоцентр», 2005- 334 с.

© А.С. Толстиков, А.А. Карауш, 2010

ПРОГРАММНЫЙ ИМИТАТОР БЕЗЗАПРОСНЫХ ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СИСТЕМЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЛОНАСС

В работе речь идет о проблемах формирования эфемеридно-временного обеспечения отечественной спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС на основе беззапросных измерительных технологий.

Исследование характеристик точности указанного эфемеридно-временного обеспечения и ряда других проблемных задач метрологического плана предлагается решать на основе программного имитатора измерительной информации ModBis 24, разработанного в ФГУП «СНИИМ» (г. Новосибирск).

A.S. Tolstikov, O.V. Boyarkeeva

Siberian Scientific-Research Institute of Metrology (SSRIM)

4 Dimitrova Ul., Novosibirsk, 630004, Russian Federation, SSGA, 10 Plahotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

THE PROGRAM SIMULATOR OF UNREQUESTLESS TRAJECTORY MEASUREMENTS IN SYSTEM OF METROLOGICAL MAINTENANCE GLONASS

In work it is a question of problems of formation of efemeridno-temporary maintenance of satellite navigating system GLONASS on a basis unrequestless of measuring technologies.

Research of the characteristics of accuracy of the specified efemeridno-temporary maintenance and of some other problem problems of the metrological plan is offered to be solved on the basis of the program simulator of measuring information ModBis 24 developed in «SSRIM» (Novosibirsk).

Уровень метрологического обеспечения всего комплекса ГЛОНАСС и эфемеридно-временного обеспечения, в частности, недостаточен. Следует отметить, что 27 лет назад был запущен первый отечественный спутник ГЛОНАСС. И только сейчас, спустя много лет, в рамках Федеральной целевой программы «Глобальная Навигационная Система» была поставлена ОКР «Метрология». Это говорит о важности создания, развития и совершенствования метрологического обеспечения системы ГЛОНАСС.

Большое количество геодезических задач решается на основе спутниковых навигационных технологий, одной из главных проблем является обеспечение точности позиционирования [1]. Эти вопросы точности определяются, главным образом, уровнем эфемеридно-временного обеспечения (ЭВО) спутниковой навигационной системы (СНС).

В настоящее время ЭВО СНС «ГЛОНАСС» модернизируется в плане повышения точности КВО по сигналам навигационных спутников системы ГЛОНАСС. Высокие точностные характеристики координатно-временных и навигационных определений на основе СНС ГЛОНАСС требуют создания качественных эфемеридно-баллистического и эфемеридно-временного обеспечений и наличия метрологического обеспечения всех сегментов СНС

ГЛОНАСС. Основным источником данных для модернизации ЭВО и ЭБО являются беззапросные траекторные измерения по КА «ГЛОНАСС», КА «GPS». Для реализации данной технологии с 2008 года в НКУ «ГЛОНАСС» происходит переход ЭВО «ГЛОНАСС» на беззапросные технологии траекторных измерений. В качестве основных исходных данных для ЭВО «ГЛОНАСС» при этом применяются результаты траекторных измерений по орбитальным группировкам навигационных спутников «ГЛОНАСС», выполняемых с сети беззапросных измерительных станций (БИС). В силу того, что беззапросные технологии формирования ЭВО ГЛОНАСС находятся в стадии внедрения, многие проблемные вопросы нуждаются в отработке. В частности: необходима разработка алгоритмов, методик выполнения измерений, а также оценка точности для решения ряда задач ЭВО.

Сложность исследований точностных характеристик ЭВО, основанных на беззапросных измерительных технологиях, не позволяет, в общем случае, связать аналитическими зависимостями точностные характеристики с факторами, влияющими на точность, поэтому мы решили использовать метод имитационного моделирования. Поскольку в имитационном эксперименте известны орбитальные параметры, частотно-временные поправки, структура и параметры согласующих моделей, параметры вращения Земли, имеется возможность непосредственного сравнения этих параметров с их оценками, полученными в процессе исследований тех или иных схем формирования ЭВО.

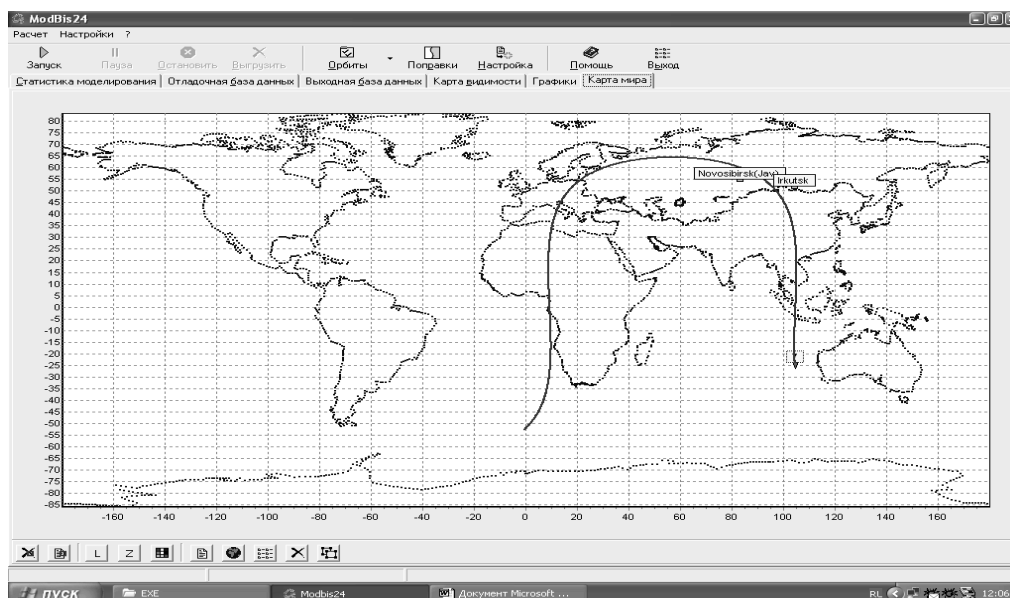


Рис. 1. Главное окно программного имитатора ModBis 24

Для проведения комплекса таких исследований в [2] были определены принципы создания программного имитатора. Непосредственное создание такого имитатора потребовало детальное исследование влияния факторов на точность координатно-временных определений. Такой имитатор в виде пакета программ с пользовательским интерфейсом под общим названием «ModBis 24» разработан в ФГУП «СНИИМ» для ОАО «ИСС им. М.Ф. Решетнева», главное окно которого изображено на рисунке 1. На базе разработанного имитатора

измерительной информации «ModBis 24» может быть решена часть проблем метрологического обеспечения спутниковой навигационной системы (СНС) ГЛОНАСС.

Функционально программный имитатор ModBis 24 обеспечивает решение следующих задач.

- Расчет движения орбитальной группировки КА ГЛОНАСС (до 25 КА) с учетом действующих на КА возмущений,
- Задание сети БИС в геоцентрической системе координат ПЗ-90 (или WGS-84),
- Задание параметров вращения Земли,
- Расчет геометрических дальностей от каждого КА до каждой БИС,
- Имитацию факторов, влияющих на точность измерений,
- Оценивание характеристик погрешностей модельных исследований.

Эти функциональные возможности имитатора ModBis 24 позволяют исследовать влияние совокупности факторов на точность координатно-временных определений.

Измерение геометрических дальностей $\rho(u_{\tilde{N}}, u_{\tilde{I}})$ радиотехническими методами сводится к определению длительности интервала времени, необходимого для прохождения навигационного сигнала от КА с текущими координатами $u_{\tilde{N}}$ до БИС с координатами $u_{\tilde{I}}$. Основу всех координатно-временных определений составляют измеренные геометрические дальности от КА до БИС. Для каждой радиотрассы этот измеренный интервал времени $D(t)$, выраженный в единицах длины и именуемый в дальнейшем «псевдодальностью», связан с геометрической дальностью $\rho(u_{\tilde{N}}, u_{\tilde{I}})$ уравнением измерений

$$D(t) = \rho(u_{\tilde{N}}, u_{\tilde{I}}) + \sum_{k=1}^{12} p_k(t), \quad (1)$$

где $p_k(t), k = 1, \dots, 12$ - факторы, влияющие на точность измерений $\rho(u_{\tilde{N}}, u_{\tilde{I}})$ по каждой радиотрассе выраженные в единицах длины.

В тех задачах КВО, где основным информативным параметром является дальность $\rho(u_C, u_{II})$, мешающие факторы $p_i(t)$ должны компенсироваться поправками соответствующими $p'_i(t)$. Для расчета $p'_i(t)$ применяются те или иные математические модели.

После введения компенсирующих поправок в левую и правую части (1), уравнение измерений примет вид

$$D(t) + \sum_{i=1}^{12} p'_i(t) = \rho(u_C, u_{II}) + V_{об}(t), \quad (2)$$

где $\delta p_i(t) = p_i(t) - p'_i(t)$ погрешности компенсации влияющих факторов образуют обобщенную шумовую составляющую погрешности измерений.

$$V_{об}(t) = \sum_{i=1}^{11} \delta p_i(t) + v(t) \quad (3)$$

Если из результатов траекторных измерений извлекается информация о других процессах (уходы бортовой шкалы $\Delta T_C(t)$, параметры ионосферы, параметры тропосферы), геометрическая дальность $\rho(u_C, u_H)$ вводится в разряд влияющих факторов и подлежит компенсации рассчитанной поправкой $\rho'(u_C, u_H)$.

Влияние факторов $p_i(t)$ на результаты КВО может быть снижено не только путем применения компенсирующих поправок $p'_i(t)$ в уравнении измерений (1), но и за счет использования разностей результатов траекторных измерений.

Для имитации уходов бортовых часов и уходов часов БИС (факторы $p_1(t)$ и $p_2(t)$) в «ModBis 24» применены разработанные авторами процедуры формирования случайного процесса, адекватного этим уходам. Исходными данными для имитации уходов часов в этом случае является ряд дисперсий Аллана, определенных на интервалах времени 1 с., 10 с., 100 с., 10^{-3} с., 10^{-4} с., 10^{-5} с. Эти дисперсии Аллана полностью характеризуют долговременную и кратковременную нестабильности часов, построенных на основе квантовых стандартов частоты. Именно такие часы применяются на бортах КА ГЛОНАСС и в составе БИС.

Задержки навигационного сигнала в ионосферном слое $p_3(t)$ представляются в виде линейной комбинации «функции отображения» (зависящей от угла места, под которых виден КА, и частоты несущей навигационного сигнала) и параметра, значения которого определяются полной электронной концентрацией на трассе.

Для представления тропосферной задержки навигационного сигнала $p_4(t)$ в имитаторе «ModBis 24» применяется математическая модель Х. Хопфилд [1]. Для этой модели в качестве исходных данных используются значения метеопараметров стандартной атмосферы в месте проведения измерений.

Факторы $p_5(t)$, $p_6(t)$, $p_9(t)$, $p_{10}(t)$ в имитационных экспериментах задаются в виде функций времени, значения которых рассчитываются с учетом конструктивных параметров КА, параметров приемных антенных модулей, значений погрешностей задания эфемерид КА ГЛОНАСС, параметров траекторий КА в зонах радиовидимости БИС.

В группу факторов $p_{12}(t)$ входят межлитерные и межчастотные задержки навигационного сигнала в бортовых источниках навигационного сигнала (БИНС) и в измерительных каналах БИС. Эти задержки связаны со специфичным для технологии ГЛОНАСС частотным разделением каналов. Разработка методик калибровки применяемой аппаратуры по этим задержкам и исследования влияний указанных задержек, на точность прецизионных координатно-временных определений являются для настоящего времени одной из актуальных задач метрологии.

Таким образом, программный имитатор измерительной информации позволяет решать следующие задачи:

1. Задавать эталонные орбиты для отладки алгоритмов восстановления орбит.
2. Оценивать влияние различных факторов на точность псевдодальномерных измерений и на точность КВО (для потребителя).
3. Рассчитывать поправки на влияющие факторы.
4. Планировать сеансы измерений при восстановлении орбит.
5. Также программный имитатор ModBis 24 может быть использован в учебном процессе при подготовке студентов и аспирантов по специальностям «Космическая геодезия» и «Небесная механика».

Разработанный программный имитатор измерительной информации станет важным фрагментом системы метрологического обеспечения СНС ГЛОНАСС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Т 1.-М.: Картогеоцентр, 2005.- 334с.
2. Владимиров, В.М. Имитатор измерительной информации для отработки эфемеридно-временного обеспечения космической навигационной системы ГЛОНАСС/В.М. Владимиров, А.К. Гречкосеев, А.С. Толстиков// Измерительная техника. – 2004.- №8. – С.12-14.

© А.С. Толстиков, О.В. Бояркеева, 2010

ЭТАЛОННЫЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН СГГА – УНИКАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ РФ

Дается описание уникального геодезического полигона, предназначенного для метрологических проверок разнообразной геодезической аппаратуры, в том числе спутниковых приемников.

A.P. Karpik, V.A. Seredovich, K.M. Antonovich, L.G. Kulikova
Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)
10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

THE ETALON GEODETIC GROUND OF SSGA AS UNIQUE OBJECT OF THE RF EDUCATION SYSTEM

The description of unique geodetic ground for metrological verification of various geodetic hardware including satellite receivers is given.

Введение

Рособразованием, начиная с 2005 г., в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» осуществляется поддержка уникальных объектов системы образования. Санкт-Петербургской лесотехнической академией осуществляется работа по созданию информационно-поисковой системы «Уникальные объекты высшей школы Рособразования», которая будет доступна широкому кругу пользователей. Ректором академии было принято решение о внесении Полигона геодезического эталонного Сибирской государственной геодезической академии (ПГЭ-СГГА) в эту базу данных.

История создания, основные события

В практике геодезических работ всегда была актуальной проблема метрологической аттестации измерительной аппаратуры. Она связана с тем, что для подтверждения метрологических характеристик аппаратуры необходимо иметь эталоны значительно более высокой точности чем поверяемая аппаратура. В 1976 г. для проверок дальномеров и тахеометров был создан метрологический базис длиной 1104 м из 18 геодезических пунктов с высокой степенью устойчивости. Впоследствии он получил название Базис Издревинский эталонный (БПЭ им. О.П. Сучкова, по имени ученого, создавшего этот базис и разработавшего концепции измерений на нем) [1].

Проблема метрологической аттестации обострилась в начале 1990-х годов, когда на рынке геодезической аппаратуры появились приемники, работающие по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС (Россия) и GPS NAVSTAR (США). Точность спутниковых измерений была в десятки раз выше точности традиционных геодезических

методов, а расстояния, на которых проводились такие измерения, могли достигать десятков и сотен километров. Для метрологических проверок спутниковой аппаратуры Издревинского базиса уже было недостаточно. Для решения возникшей проблемы была создана геодезическая сеть ПГЭ-СГГА. Для ее создания потребовалось не только заложить геодезические пункты, пригодные для наблюдений спутниковой аппаратурой, но также разработать методики измерений, их обработки, методики проверки аппаратуры, провести сами измерения и решить целый ряд других научных и прикладных проблем.

В качестве основы для построения ПГЭ было предложено использовать государственную геодезическую сеть (ГГС) в районе г. Новосибирска. Однако пункты ГГС не всегда удовлетворяли таким функциональным требованиям как доступность в любое время года, открытость радиогоризонта на пункте. Поэтому сеть ПГЭ-СГГА включает как пункты ГГС, так и вновь заложенные пункты.

Другой проблемой явилось определение характера разломов земной коры в районе предполагаемого расположения ПГЭ, так как именно отсутствие разломов в первую очередь гарантировало устойчивость пунктов на длительном интервале времени. Для проектирования сети были привлечены данные геологии. Их изучение показало, что ближайшие окрестности Новосибирска свободны от глубинных разломов земной коры (сказать уверенно не дает невысокая точность опознавания этих образований, они локализируются с точностью порядка 10 км, в лучшем случае). В то же время, имеется локальный разлом вдоль восточного берега Обского водохранилища, ориентированный по линии Искитим - Кемерово, а также разлом, отстоящий к западу от Новосибирска на расстояние около 100 км и ориентированный в северо-восточном направлении. В результате был сделан вывод о том, что наиболее благоприятными как в геологическом отношении, так и в физико-географическом отношении территориями для размещения ПГЭ являются: Коченевское направление (к западу от Новосибирска вдоль автомобильной трассы Новосибирск - Омск) и Ордынское направление (к югу от Новосибирска вдоль автомобильной трассы Новосибирск - Камень-на-Оби) [2].

В итоге появился геодезический полигон, на котором имеется вся доступная в настоящее время геодезическая информация: расстояния, превышения и углы между пунктами, координаты в различных общеземных и референчных системах отсчета, параметры гравитационного поля Земли (ГПЗ), астрономические координаты и азимуты, магнитные азимуты. На территорию ПГЭ получены трансформанты гравитационного потенциала Земли: отклонения отвеса, аномалии высоты в общеземной и референчной системе. На сети полигона выполнено несколько циклов измерений. Сеть полигона постоянно совершенствуется. Это дает возможность проводить не только метрологическую аттестацию традиционной спутниковой аппаратуры, но также вести разнообразные научные исследования. На рис. 1 представлена схема сети ПГЭ-СГГА [3, 4].

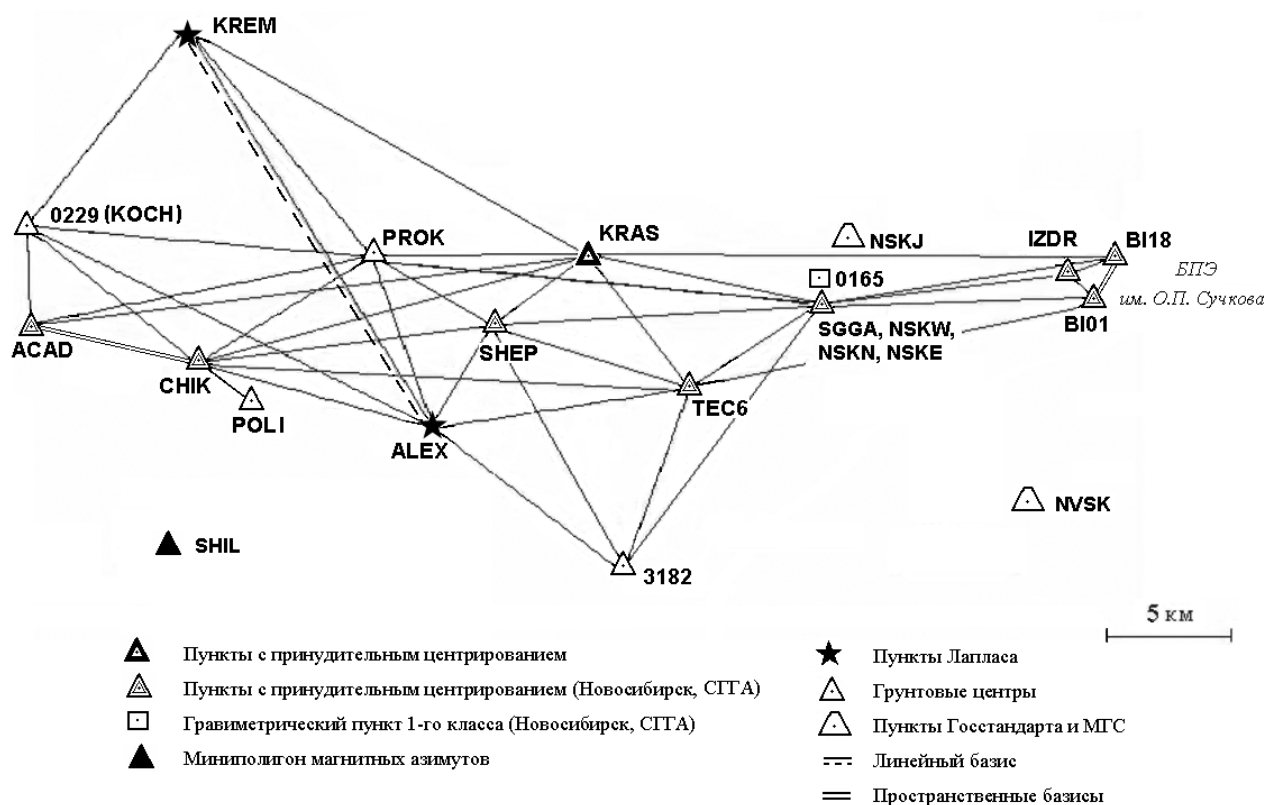


Рис. 1. Схема эталонного пространственного полигона для поверки геодезической аппаратуры

Назначение

Полигон геодезический эталонный ПГЭ-СГГА предназначен для проведения производственных практик у студентов геодезистов и астрономов, на материалах, полученных на ПГЭ, выполнено более 20 дипломных работ, защищено 2 кандидатских диссертации, 1 докторская и готовятся к защите 3 кандидатских работы. В последнее время на полигоне проводятся испытания и поверка средств измерений, которые заключаются в подтверждении паспортной точности и допуска к эксплуатации следующих геодезических приборов: навигационной и геодезической спутниковой приемной аппаратуры, астрономических и гироскопических теодолитов, свето- и радиодальномеров, гравиметров и бусселей [5].

Принцип работы Полигона заключается в сравнении параметров, полученных средствами измерений, с эталонными значениями соответствующих параметров. Метрологические параметры Полигона включают в себя геоцентрические координаты пунктов геодезической сети, приращения координат между этими пунктами, длины линий, горизонтальные углы, высоты, астрономические широты, долготы и азимуты, нормальные высоты и их разности, ускорения силы тяжести и магнитные азимуты.

Уникальность

Уникальностью полигона является его специальная multifunctionality. Полигон является единичным эталоном 2-го разряда,

в 2009 г. прошел испытания на тип средств измерений (бессрочное свидетельство об утверждении типа № RU.E. 27.007. А № 36958), зарегистрирован в государственном реестре средств измерений под № 41903-09 и допущен к применению в Российской Федерации для поверки средств измерений длины и плоского угла (светодальномеров, тахеометров, нивелиров, измерительных лент, буссолей, навигационной и геодезической аппаратуры пользователей глобальных навигационных спутниковых систем) с погрешностью измерения расстояния $\pm (2+0,5 \cdot 10^{-6}L)$ мм, где L – расстояние между пунктами.

Многофункциональность полигона характеризуется тремя отраслями:

- Образовательной - учебные и практические мероприятия по подготовке и переподготовке кадров с целью освоения новых приборов и технологий;
- Научной - экспериментальные исследования новых технологий и методов (спутниковых геодезических измерений, наземных топографических съёмок, цифрового геометрического нивелирования, разработка принципов построения локальных метрологических полигонов, совершенствование конструкции эталонных линейных и пространственных базисов и разработка технологии метрологического контроля их линий с помощью СПА) решения научных и прикладных задач современной четырехмерной (пространственно-временной) геодезии;
- Промышленной - поверки (периодические и первичные при выпуске из производства, первичные при ввозе по импорту, первичные после ремонта) и метрологические испытания в полевых условиях геодезических средств измерений, используемых в различных отраслях промышленности.

В 2006 г. на полигоне СГГА начала функционировать постоянно действующая базовая ГНСС станция. Целью этого проекта является обеспечение непрерывными ГНСС данными всех заинтересованных потребителей с возможностью удалённого доступа к ним через Интернет. Базовая станция была создана при поддержке Новосибирского филиала компании НАВГЕОКОМ. Ядром системы является двухчастотный ГНСС приёмник (с 2006 г. Trimble 5700, с 2008 г. Trimble Net R5), работающий под управлением программного обеспечения Trimble GPSBase. Приёмник круглосуточно записывает в компьютер данные для постобработки в формате RINEX с интервалом в 5 секунд. Продолжительность одного файла данных составляет 2 часа, после чего он архивируется и выкладывается в Интернет на FTP сервер. В среднем размер одного файла составляет 500 Кб. Постоянно действующая базовая станция поддерживает работу в режиме реального времени (RTK) с передачей поправок через GPRS.

К основным мероприятиям необходимые для развития полигона авторы относят:

- Разработку и внедрение нормативных документов на методики поверки уникального объекта (полигона) и средств измерений в условиях функционирования сети активных базовых станций;

– Метрологическую аттестацию комплекта прибора, например, приемник с антенной и программным обеспечением, используемым для обработки результатов наблюдений и работающим со многими ГНСС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович, К.М. Особенности метрологической аттестации геодезических пространственных эталонных базисов и полигонов [текст] / К.М. Антонович, Л.Г. Куликова, В.Д. Лизунов, Ю.В. Сурнин, О.П. Сучков // Законодательная метрология, № 4, 1998. – С. 21 – 23.
2. Антонович К.М. Первые результаты реализации проекта эталонного калибровочного полигона для метрологической аттестации спутниковой аппаратуры [Текст] / К.М. Антонович, Ю.В. Сурнин, В.А. Середович и др. // Сферы применения GPS-технологий. Межд. науч.-техн. конф. Тезисы докладов. Новосибирск: СГГА, 21-23 ноября 1995. - С. 99-100.
3. Антонович, К.М. Пространственный эталонный полигон для метрологической аттестации GPS-аппаратуры (опыт создания) [Текст] / К.М. Антонович, В.А. Ащеулов, Ю.В. Сурнин, В.А. Скрипников // Вестник СГГА, вып. 4, Новосибирск: СГГА, 1999. - С. 8 – 13
4. Антонович, К.М. Эталонный пространственный полигон СГГА: аттестация 2004 [Текст] / К.М. Антонович, Ю.В. Сурнин, А.Н.Клепиков, Е.К. Фролова // Материалы 7-й межд. Конф. «Актуальные проблемы электронного приборостроения» АПЭП-2004, Новосибирск, 21-24 сент. 2004. Том 3. Новосибирск: НГТУ, 2004. – С. 259-262.
5. Середович, В.А. Метрологическому полигону СГГА – 10 лет [Текст] /В.А. Середович, Ю.В. Сурнин, К.М. Антонович, Л.Г. Куликова // ГЕО-Сибирь-2005. Т. 1, Геодезия, картография, маркшейдерия: Сб. материалов научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2005», 25-29 апреля 2005 г. Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2005. – С. 122-126.

© А.П. Картик, В.А. Середович, К.М. Антонович, Л.Г. Куликова, 2010

РАЗРАБОТКА РУКОВОДСТВА ПО КАЧЕСТВУ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Руководство по качеству (РК) содержит: информацию об организации работ по поверке средств измерений в закрепленной области аккредитации в отделе метрологии, стандартизации и сертификации (МСиС).

L.G. Kulikova
SSGA, Novosibirsk

DEVELOPMENT OF THE MANUAL ON THE INSTRUMENTATION VERIFICATION QUALITY

The quality manual includes information on the organization of works on the instrumentation verification in the allocated sphere of accreditation at the department of metrology, standardization and certification.

Управление документацией образовательного процесса является одним из обязательных видов документированных процедур системы менеджмента качества (СМК). Документированная процедура определяется как документ, который содержит процедуру, устанавливающую способ осуществления деятельности или процесса. Руководство по качеству поверки средств измерений описывает СМК в соответствии с установленными целями и политикой академии в области качества. Руководство по качеству поверки средств измерений относится к руководству по качеству в области научных исследований и инновационной деятельности. Разрабатывается РК в установленном порядке и является обязательным документом при аккредитации на право поверки средств измерений. РК распространяется на деятельность отдела метрологии, стандартизации и сертификации (МСиС), осуществляющего поверку СИ и другие виды деятельности. Может использоваться студентами как справочное пособие.

Метрологическая служба СГГА аккредитована на техническую компетентность в области поверок средств измерений и зарегистрирована в Реестре аккредитованных метрологических служб юридических лиц под № 008.

Основными документами, определяющими функции и ответственность специалистов академии, аттестованных в качестве поверителей в установленном порядке и сотрудников отдела МСиС, требования к образованию, техническим знаниям и опыту работы, являются настоящее Руководство и должностные инструкции. В должностных инструкциях устанавливаются: функции по обеспечению качества поверки; ответственность за нарушение обеспечения качества работ; права и порядок действий при выявлении недостатков, снижающих качество. Например, в функции руководителя отдела МСиС входит организация и руководство работами по

выполнению научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ и оказанием услуг по специализации академии. На руководителя отдела МСиС возлагаются функции главного метролога академии по обеспечению единства измерений, внедрение современных методов и средств, автоматизированного контрольно-измерительного оборудования, информационно-измерительных систем и комплексов, организация и проведение поверки и ремонта СИ. По приказу ректора руководитель отдела МСиС исполняет функции директора научно-производственного центра по метрологии, стандартизации, сервисному обслуживанию средств измерений (ЦМСС).

Гарантией повышения квалификации поверителей являются обязательное участие в семинарах, проводимых Новосибирским филиалом Академии (учебной) стандартизации, метрологии и сертификации, систематическое проведение технической учебы, участие в ежегодных международных конгрессах «Гео – Сибирь» проводимых ГОУ ВПО «СГГА».

Многолетний опыт, компетентность поверителей позволяют обеспечить высокое качество поверок СИ в заявленной области аккредитации.

Основными задачами сотрудников академии и отдела МСиС участвующих в организации и проведении поверки средств измерений в утвержденной области аккредитации, являются:

- Обеспечение единства измерений в рамках государственной системы измерений – ГСИ;
- Обеспечение качества поверок СИ в соответствии с политикой в области качества, заявленной руководством академии.

Управленческая деятельность.

Управленческая деятельность отдела МСиС является гарантом успешного его функционирования, осуществляется менеджментом взаимосвязанных видов деятельности. Управленческая деятельность представляет собой непрерывность управления процессами в рамках системы менеджмента качества, а также при их комбинации и взаимодействии.

Управление качеством поверочной деятельности.

Управление качеством поверочной деятельности, которая возложена на руководителя отдела метрологии, стандартизации и сертификации (МСиС) – часть менеджмента качества, направленная на выполнения требований к качеству поверок СИ; осуществляется под руководством проректора по инновационной деятельности.

Взаимосвязь между управлением качеством поверочной деятельности и другими видами деятельности:

- Управленческой деятельностью;
- Плановой деятельностью;
- Бухгалтерской деятельностью;
- Сектора компьютерного обеспечения;
- Отдела кадров;
- Общего отдела;

- Научно-технической библиотеки;
- Остальные взаимодействия.

Управление Руководством по качеству.

Руководство по качеству описывает систему менеджмента качества поверок СИ в отделе МСиС в соответствии с установленной политикой в области качества.

Руководство по качеству поверок СИ разрабатывает руководитель отдела МСиС, который и является ответственным исполнителем.

Согласование Руководства по качеству ответственный исполнитель проводит с проректором по инновационной деятельности.

Руководство по качеству утверждается ректором академии и вводится в действие приказом по академии.

После утверждения Руководства по качеству ответственный исполнитель обеспечивает структурные подразделения копией документа с регистрацией выданных экземпляров в специальном журнале.

Контрольный экземпляр (подлинник) Руководства по качеству хранится в отделе МСиС. Документ хранится постоянно до его отмены или переиздания.

Внесение изменений и дополнений (актуализацию) в Руководство по качеству осуществляет отдел МСиС.

Политика и процедуры анализа заявок на поверку СИ.

Политика и процедуры анализа заявок на поверку СИ осуществляются с целью заключения договоров на оказание услуг по поверке (калибровке) СИ. Процедуры анализа заявок должны гарантировать, что:

- Требования заказчиков (клиентов) адекватно определены и задокументированы;
- Отдел МСиС имеют возможности и ресурсы, позволяющие выполнять требования заказчика;
- В процессе выполнения работ будут применяться методики поверок, удовлетворяющие метрологическим правилам;
- Расхождение между запросом или заявкой на поверку (калибровку) СИ и договором на оказание услуг по поверке СИ устранены до начала работ.

Ответственным за подписание договора на оказание услуг по поверке (калибровке) средств измерений является ректор академии и его 1-й проректор.

Начальник отдела МСиС несёт ответственность за установление возможности выполнения заказа и в сроки, указанные в графиках поверок СИ, являющиеся обязательным приложением к договору.

Процедуре анализа подвергают:

- Письменные заявки на выполнение поверочных работ, которые направляются в адрес академии посредством любых форм связи: почтовой, факсимильной или электронной.

Анализ заявок состоит из процедур:

- Изучение графиков поверок СИ, представленных заказчиком с последующим его утверждением. Оцениваются объемы поверочных работ,

календарный план, наличие конкретных видов поверок в области аккредитации академии. В случае положительного заключения график поверок утверждается;

- Оценка возможностей отделом МСиС выполнить работу по анализируемым заявкам;
- Оценка юридических аспектов заявок, проектов договоров на оказание услуг по поверке СИ;
- Принятие решений о подписании договора.

Заказчик (клиент) должен быть информирован обо всех отклонениях от договора.

Процедуры поверки эталонов и иных средств измерений (обеспечение оборудованием для выполнения поверок СИ.

Целью процедур поверки эталонов и иных средств измерений является метрологическое обеспечение работ, выполняемых отделом МСиС по поверкам и калибровкам СИ. Поверка эталонов подтверждает соответствие технических, в том числе метрологических характеристик эталонов установленным нормам, т. е. соответствие требованиям НД на них. В случае несоответствия характеристик эталонов, иных СИ требуемым нормам оформляется извещение о непригодности.

Поверку эталонов, принадлежащих ГОУ ВПО «СГГА» осуществляют государственные научные метрологические центры в сроки, утвержденные в графиках поверки эталонов, в соответствии с заключаемыми договорами. По результатам поверки оформляются свидетельства о поверке с указанным сроком действия, соответствующим межповерочному интервалу эталона, указаны действительные значения метрологических характеристик эталона, представлена другая информация.

Обслуживание и эксплуатация эталонов, других средств поверки.

Эксплуатация эталонов и других средств поверки выполняется поверителями в строгом соответствии с их эксплуатационной документацией (методик поверки, руководства по эксплуатации, паспорта, формуляра и т.д.).

Обслуживание названного оборудования (эталонов, средств измерений, вспомогательного оборудования) осуществляют поверители. СИ и эталоны, признанные по результатам поверки непригодными или с истекшими сроками поверки, или признанные технически неисправными, изымаются из эксплуатации.

Методы работы с организациями-заказчиками на выполнение поверочных (калибровочных) работ, включая процедуры по разрешению претензий (Поддержание связи с потребителями.

Целью реализуемых методов работы с заказчиками является удовлетворение их потребностей в метрологическом обслуживании СИ, обеспечение качества выполняемых поверок (калибровок) СИ.

Ответственным за качественное оказание услуг на поверку (калибровку) средств измерений и разрешение претензий является проректор по ИД.

Руководитель отдела МСиС несет ответственность за удовлетворение потребностей заказчиков в качественной поверке (калибровке) СИ по конкретным видам измерений, закрепленных за каждым поверителем. Они

ответственны также за разрешение претензий, предъявляемых заказчиками, за установление и поддержание взаимоотношений с заказчиками в соответствии с требованиями системы качества поверок (калибровок) СИ.

Ответственными за соответствие текста договора на оказание услуг по поверке (калибровке) средств измерений требуемым нормам является руководитель отдела МСиС. Поверители несут ответственность в случаях некачественной поверки (калибровки) СИ, за нарушение требований НД на методики поверки СИ.

© Л.Г. Куликова, 2010

УДК.02/08:006

Л.Г. Куликова

СГГА, Новосибирск

НОВЫЕ ПОДХОДЫ ПО АККРЕДИТАЦИИ НА ПРАВО ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

В статье рассматриваются принципиальные вопросы аккредитации на право поверки средств измерений в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений».

L.G. Kulikova

SSGA, Novosibirsk

NEW APPROACHES TO THE ACCREDITATION OF THE INSTRUMENTATION VERIFICATION RIGHT

The article puts forward the principal problems of accreditation of the instrumentation verification right in accordance with the federal law of the Russian Federation “On the provision of the uniformity of measurement”.

Аккредитация в области обеспечения единства измерений осуществляется в целях официального признания компетентности юридического лица выполнять работы и (или) оказывать услуги по обеспечению единства измерений (ст. 19 ФЗ – 102 [1]). Будучи процедурой изначально добровольной, аккредитация приводит к жёсткой обязательности исполнения правил, установленной системы. Одним из новых принципов аккредитации в области обеспечения единства измерений является недопустимости незаконного ограничения прав аккредитуемых юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на выполнение работ и (или) оказание услуг в области обеспечения единства измерений для всех потребителей (заказчиков) и на всей территории Российской Федерации. Сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений распространяется на измерения, к которым установлены обязательные требования при осуществлении геодезической и картографической деятельности (ст. 1 п.3 ФЗ-102). Указанный закон дал

определение единству измерений. *Единство измерений* - состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в Российской Федерации единицах величин, а показатели точности не выходят за установленные границы. Особенно необходимо отметить понятие прослеживаемость. *Прослеживаемость* – свойства эталона единицы величины или средства измерений, заключающееся в документально подтверждённом установлении их связи с государственным первичным эталоном соответствующей единицы величины посредством сличения эталонов единиц величин, *поверки, калибровки средств измерений*. Целью прослеживаемости измерений является обеспечение достоверности и единства измерений.

ГОУ ВПО «СГГА» в 1995 г. была аккредитована на право поверки средств измерений геодезического назначения. Внедрение «Закона об обеспечении единства измерений» и «Закона РФ о техническом регулировании» [2] поставило перед метрологами такие задачи, как: уменьшение экономических затрат, обеспечение международного призывания метрологических процедур (поверки СИ) и, как следствие, уменьшение затрат налогоплательщиков. Реализация указанных задач требует: разделения, области метрологической деятельности на государственную и рыночную (добровольную). Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии дало право юридическим лицам выполнять ряд метрологических работ, в том числе и право поверки средств измерений. С предоставлением права поверки СИ юридическим лицам предполагается и договорная основа оплаты работ, базирующихся на экономической целесообразности и предусматривающую возможность альтернативного выбора заказчиком организации - исполнителя. Мировой опыт показывает, что в данном случае для решения проблемы цен и их нормализации в условиях рыночной экономики необходимо принятие мер, препятствующих монополизму в сфере услуг.

Истекший период показал полезность и эффективность принятого решения об аккредитации ГОУ ВПО «СГГА» на право поверки средств измерений. Работа, проведённая совместно со ФГУП СНИИМ, Институтом ядерной физики СО РАН, ФГУП «ПО НПЗ», ПО «Инжгеодезия», ООО «Заводом инструментально-механическим» за аккредитационный период дала следующие положительные результаты:

- Создан эталонный пространственный базис;
- Создан эталонный пространственный полигон;
- Созданы эталоны и методики поверки для аттестации высокоточных углоизмерительных приборов: теодолитов, тахеометров, гиротеодолитов, астроуниверсалов, нивелиров;
- Создана постоянно действующая ГНСС - станция со спутниковым геодезическим двухчастотным приёмником: Trimble Net R5;
- Построена и реализована локальная поверочная схема для СИ геодезического назначения;
- Выигран грант в Минобразовании по фундаментальным исследованиям в области технических наук «Разработка теоретических основ и методов создания эталонных компараторов для метрологической аттестации

специальных штриховых мер длины», в связи с чем создаётся эталонный 24-метровый компаратор для метрологической аттестации высокоточных геодезических средств измерений с использованием системы лазерной измерительной ML 10 (Gold Standart ML 10 Laser Unit firma Renishaw).

В Сибирской государственной геодезической академии в течение 12 лет ведутся работы по созданию трехмерных моделей объектов. В основу положен метод лазерного сканирования. Для реализации реальных проектов в академии создан региональный центр лазерного сканирования, оснащенный лазерными сканерами различной точности и дальности и соответствующим программным обеспечением. В данном центре работают специалисты, прошедшее обучение в ведущих фирмах мира. За прошедший период центром реализовано несколько десятков проектов по созданию трехмерных моделей объектов разного назначения.

В Западно-Сибирском регионе сосредоточено более сотни предприятий и фирм, использующих геодезические средства измерений. ГОУ ВПО «СГГА» - единственный за Уралом вуз, который готовит специалистов геодезического профиля для всех отраслей народного хозяйства, где ведётся подготовка кадров высшей квалификации.

Всё вышеперечисленное позволило в академии открыть диссертационный Совет по метрологии, новую специальность по подготовке студентов метрологов, открыть кафедру по метрологии, стандартизации и сертификации и филиал кафедры по метрологии и метрологическому обеспечению в СНИИМ, заключить договор с Новосибирским филиалом академии по стандартизации, метрологии и сертификации о совместной подготовке кадров, в том числе поверителей по различным видам измерений. Все работы, проводимые ГОУ ВПО «СГГА» строились на высоком научно-техническом уровне с использованием эталонов, изготовленных по патентам РФ, патентообладателем которых является академия.

Проведение работ по поверке средств измерений позволяет привлекать высококвалифицированный профессорско-преподавательский состав академии, совершенствовать эталонную и нормативную базу в области геодезических измерений, укреплять доверие к качеству выполненных работ, привлекать к выполнению НИР студентов, проводить димломирование специалистов на высоком уровне и выполнять задачи по метрологическому обеспечению в организациях Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (Роскартографии).

Особенно отмечаем, что в последние несколько лет распространяется технология геодезических работ, основанная на применении спутниковых радионавигационных систем (СРНС) ГЛОНАСС (Россия) и GPS или NAVSTAR (США). До недавнего времени это была аппаратура зарубежных фирм: Trimble Navigation (США), Leica (Швейцария). Сейчас список фирм быстро расширяется: Javad, (США), Thales Navigation (США), Leica Geosystems (Швейцария), Topcon (Япония), 8окк1а(Япония), Zeiss(repMaHHfl), Geotronic (Швеция), Serul (Франция), NovAtel (Канада)и другие. После некоторого перерыва появилась аппаратура российских производителей. Ожидается поток

Китайской аппаратуры. Но дело не только в расширении круга производителей и спектра приложений спутниковой аппаратуры. Разрабатываются новые принципы обработки спутниковых сигналов, расширяющие возможности функционирования аппаратуры. В программном обеспечении аппаратуры появляются новые опции, правильное применение которых требует высокой квалификации исполнителей. Погрешности измерения лучшей современной аппаратуры при правильной ее эксплуатации достигают 10^{-7} на линиях до 100 км.

Число спутниковых приемников неуклонно растет. Они применяются не только в организациях Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (Роскартографии), но и в строительных, геолого-разведочных, геофизических организациях, НИИ и учебных заведениях. Они широко применяются в организациях Роскомзема, МЧС, охраны окружающей среды, горнодобывающей промышленности. Навигационной спутниковой аппаратурой обеспечиваются воздушные, речные и морские суда, автотранспорт, диспетчерские службы транспортных средств. В этих условиях остро стоит вопрос об аттестации и поверке спутниковой аппаратуры. В настоящее время академия имеет метрологическую основу — пространственный эталонный полигон для поверки спутниковой аппаратуры. Доставлять же аппаратуру в Москву экономически невыгодно.

Учитывая массовое распространение высокоточных геодезических средств измерений, в том числе спутниковой аппаратуры в Сибирском регионе, а также необходимость обеспечения единства измерений, считаем целесообразным рассмотреть вопрос о продлении срока аттестата аккредитации ГОУ ВПО «СГГА» на право поверки высокоточных геодезических средств измерений.

В пользу такого решения говорит то, что здесь, в Новосибирске, имеются все условия для продолжения деятельности метрологической службы, научные кадры, современная аппаратура и накопленный опыт работ.

Ученые ГОУ ВПО «СГГА» принимали участие в выработке некоторых концепций функционирования российской навигационной системы ГЛОНАСС. Хорошие знания теории позволили ГОУ ВПО «СГГА» одной из первых в регионе начать внедрение спутниковой технологии в практику геодезических работ (1993 г.). В Академии имеется несколько комплектов кодовых и фазовых одно- и двухчастотных приемников. Накоплен большой опыт построения геодезических сетей различной точности. Сотрудники ГОУ ВПО «СГГА» совместно с ведущими специалистами Сибири проводят исследования по технологии построения высокоточных геодезических сетей и метрологического обеспечения, ведут мониторинг спутниковой аппаратуры и технологий. Опубликовано сотни научных статей, монографии докторов и кандидатов наук, учебные пособия. Сотрудниками института метрологии (ФГУП «СНИИМ») и академии разработаны методики поверки средств измерений (Р 50.2.023-02. Нивелиры, Р 50.2.024-02. Теодолиты. Методики поверок, [3,4]), создан эталонный геодезический полигон со сторонами от 5 до 60 км (точность порядка $5 \cdot 10^{-7}$) и эталонный пространственный базис длиной 1104 м и точность порядка $(0,3 \pm 1 \cdot 10^{-6} L)$ мм. Вся прибыль от метрологических работ полностью

переходит в фонд развития и создания новых методов и средств метрологического обеспечения топографо - геодезических работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Российская Федерация. Законы. Об обеспечении единства измерений: федер.закон [от 26.06.2008 №102-ФЗ]. – М.: Стандартинформ, 2008. – 32 с.
2. Российская Федерация. Законы. О техническом регулировании: федер.закон [от 27.12.2002 №184-ФЗ]. – М.: Стандартинформ, 2002.
3. Р50.2 023 – 2002. Рекомендации по метрологии. Государственная система обеспечения единства измерений. Нивелиры. Методика поверки. – Введ. 2002-12-01. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 10 с.
4. Р50.2 024 – 2002. Рекомендации по метрологии. Государственная система обеспечения единства измерений. Теодолиты и другие геодезические угломерные приборы. Методика поверки. – Введ. 2002-12-01. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 12 с.

© Л.Г. Куликова, 2010

УДК 681.325; 619

Б.Э. Шлишевский, А.Н. Соснов, А.А. Марач
СГГА, Новосибирск

СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В МАШИНО-ПРИБОРОСТРОЕНИИ, ИНТЕНСИВНЫЕ РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ

В виде описания графической таблицы показаны достижения скорости резания при обработке металлических заготовок в машино-приборостроении на основе ресурсных технологий включая современные инструментальные материалы и инструменты на их основе.

Основой ресурсных технологий являются современные станки с УЧПУ, и современные инструментальные материалы и инструменты на их основе.

B.E. Shlishevsky, A.N. Sosnov, A.A. Marach
SSGA, Novosibirsk

MODERN TOOL MATERIALS IN MACHINE-BUILDING AND INSTRUMENT-MAKING, INTENSIVE CUTTING MODES

The paper presents the description of a graphical table of the cutting rate achievements as concerns metal blanks working in machine-building and instrument-making on the basis of the resource technologies, including modern tool materials and the tools made of them.

Modern NC machines, tool materials and tools made of them are the basis of the resource technologies.

В виде описания и, графической таблицы показаны достижимые скорости резания при обработке металлических заготовок в машино-приборостроении на основе ресурсных технологий, включая современные инструментальные материалы и инструменты на их основе.

Основой ресурсных технологий в металлообработке являются современные станки с УЧПУ, и современные инструментальные материалы и инструменты на их основе.

В виде графической таблицы и описания основных свойств показаны максимальные скорости резания в машино-приборостроении, достижимые в настоящее время, при обработке конструкционных материалов, из черных и цветных металлов с использованием ресурсных технологий.

Быстрорежущие стали, твердосплавные вольфрамосодержащие и безвольфрамовые твердые сплавы; скоростное и сверхскоростное резание, автоматическим оборудованием с высокой динамикой и УЧПУ.

Для снижения затрат на единицу продукции механообработки целесообразно более широко внедрять интенсивные: силовые (за счет повышения глубины и подачи), скоростные и высоко-скоростные режимы резания.

Это относится как к телам вращения, так и к телам других геометрических форм.

Термин «скоростное резание» появилось в середине прошлого века в связи созданием новых, к тому времени, инструментальных материалов на основе карбидов вольфрама – твердых сплавов, которые изготавливались в виде многогранных пластин, методом порошковой металлургии. Основой этих материалов были карбиды вольфрама WC , в совокупности с небольшими долями карбидов титана TiC и тантала TaC , внедренные в кобальтовую связку. Пластины имели одну режущую кромку, выпускались разных форм: прямоугольные, треугольные, квадратные, круглые и другие и крепились на металлическую державку методом пайки. Инструменты с твердосплавными пластинами позволили увеличить скорости резания при обработке заготовки из стали, чугуна, цветных сплавов, в 3–4 раза, и соответственно увеличить в столько же раз объем снимаемой стружки в единицу времени. К примеру, обработка стали 45 точением при средней величине среза стружки со скоростью 120-140 м/мин., что в 3–4 раза выше, чем точение, так называемыми «Быстрорежущими сталями» класса HSS марок P18; P9; P6 M5 и другими, которые использовались в промышленности при металлообработке.

Термин «Скоростное резание» утвердился в литературе у нас и за рубежом, поскольку быстрорежущие стали все еще широко используются в приборостроительных отраслях промышленности [1] и имеют свою нишу применения машино - приборостроении.

Параллельно, с выше указанными достижениями, велись интенсивные работы по изысканию еще более эффективных инструментальных материалов и конструкций инструментов, которые обеспечили дальнейшее существенное возрастание режимов резания и минутного съема металла (за счет сверхскоростного и силового резания). И тогда появился термин «Сверхскоростное резание», но оба эти понятия относительны и их реализация зависит от многих факторов, в частности от обрабатываемого материала. При точении никелевых сплавов скорость резания 150-200 метров в минуту является значительным достижением, а обработку чугунов СЧ-20 при наличии

качественного инструмента из нитрида кремния (Si_3N_4) можно производить на скоростях 1200 - 1800 метров в минуту. Некоторые алюминиевые сплавы и бронзу можно обрабатывать на еще более высоких скоростях резания до 3000 метров в минуту, а чистый алюминий до 5000 мин⁻¹.

Прогрессивные, высокостойкие инструменты на всех этапах развития промышленного производства являлись одним из доминирующих компонентов роста производительности труда и оказывали решающее воздействие на развитие и совершенствование конструкции станочного оборудования. С увеличением уровня автоматизации в непрерывном производстве роль качества инструмента, его стойкости, режущей способности ещё более возрастает. Инструменты обеспечивают не только снижение затрат машинного времени, но безаварийность работы оборудования, стабильное качество и комфортность обслуживания.

Экономия времени обработки достигается:

1. Путём оптимизации и форсирования режимов резания, в первую очередь, скорости резания, за счёт предельного использования ресурсов инструмента и технических характеристик станка по эффективной мощности, максимальным крутящим моментам на шпинделе, по предельным числам оборотов и подачам, по жёсткости и вибро-устойчивости системы станок – приспособление – инструмент – заготовка /СПИЗ/, определяемым наибольшим съёмом стружки в единицу времени;

2. Сокращением времени всех видов холостых ходов в 5-10 раз, на порядок и более;

3. Снятием припуска с наименьшим числом проходов, увеличением глубины резания и подачи при черновой обработке; уменьшением припусков за счёт использования рациональных заготовок;

4. Сокращением длины обработки, приходящейся на каждый инструмент, при использовании многоинструментных наладок;

5. Особая роль в повышении режимов резания и снижении затрат машинного времени принадлежит новым инструментальным материалам и усовершенствованным по конструкции лезвийным инструментам повышенного качества с механическим креплением многогранных неперетачиваемых пластин /МНП/ из твердосплавных вольфрамовых и безвольфрамовых материалов с многослойным упрочняющим покрытием; пластин из новых марок нитридной, оксидной, карбидной керамики и из сверхтвёрдых материалов на основе кубического нитрида бора.

6. Вольфрамовые и безвольфрамовые сплавы по жесткости и виброустойчивости системы станок – приспособление – инструмент – заготовка (СПИЗ), определяемыми, что может быть определено наибольшим объемом стружки, срезаемым в единицу времени, или допустимым прогибом державки резца.

Вольфрамосодержащие твердосплавные инструменты с МНП при оптимальном выборе, с упрочняющим покрытием и стружко-ломающими канавками при выполнении требований к качеству обработки, имеют время

оптимальной стойкости в 2-4 раза превышающее стойкость напаянных твердосплавных пластин без покрытия. Позволяют увеличить скорости резания при точении и фрезеровании на 80-250% и осуществить сверхскоростные режимы резания.

Промышленностью освоена большая номенклатура МНП не только для точения чернового и чистового растачивания, фрезерования или зенкерования и сверления отверстий диаметром более 6-15 м (рис.2), но для прорезки наружных и внутренних канавок, отрезки заготовки, рассверления, развертывания, зенкерования и резьбонарезания, то есть для операции, где традиционно применяется «быстрорежущий» инструмент и умеренные режимы работы. Здесь скорости резания, при определенных условиях могут возрасти на 200-600%. Сокращается число переходов, например, центровка отверстий, сверление, рассверливание, зенкерование выполняются одним твердосплавным сверлом с СМП оригинальной конструкции, обеспечивающей точность по 6-7 качеству. Отпадает необходимость в операциях развертывания и шлифования.

Следует отметить, что для повышения стойкости режущих пластин и универсального инструмента, как уже упоминалось, применяются износостойкие покрытия МНП различного состава: $\text{TiN-TiC/NC-N-Al}_2\text{O}_3$; TiN-TiC/N-TiN ; TiC-TiN и других составов, которые повышают их срок службы в 2-4 раза и более.

Материалы для изготовления режущих инструментов (исключая процессы шлифования) нами условно разделены на 9 поколений.

На рис. 1 укрупнено показаны допустимые скорости резания, применительно к оптическому приборостроению, при средних величинах подач и глубины срезаемой стружки, применительно к инструментальной стали 45 (как весьма распространенной). При этом использовались известные в литературе формулы приведения к единой соразмерности. Допускаемая погрешность $\pm 10-20\%$. Для крупногабаритных массивных деталей, вписывающихся в куб со стороной свыше 500-600 мм режимы резания инструмента из материалов 4; 6; 7; 8; 9; могут быть выше на 15-30% выше указанных на рис. 1.

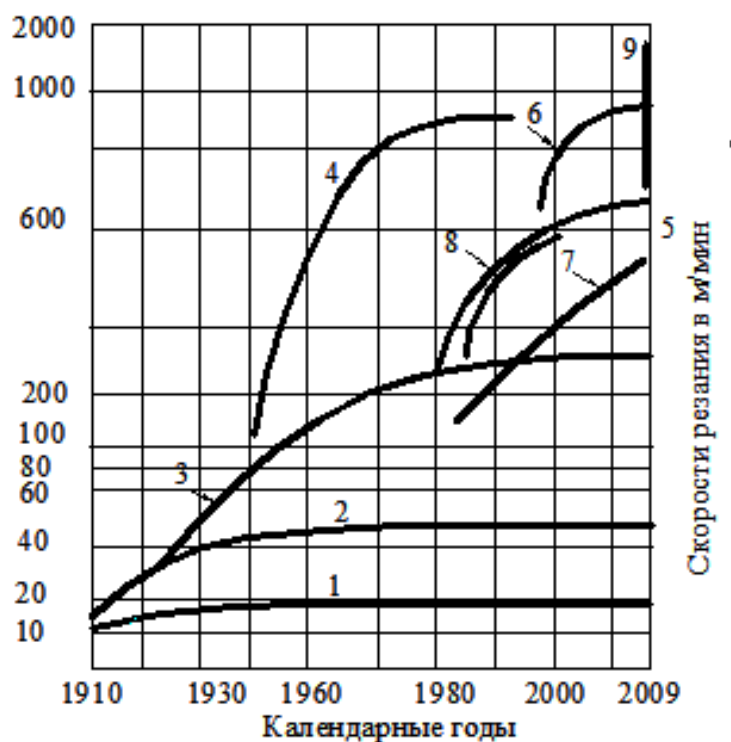


Рис. 1

Прогрессивные, высокостойкие инструменты на всех этапах развития промышленного производства являлись одним из доминирующих компонентов роста производительности труда и оказывали решающее, воздействие на развитие конструкции и другого технологического оборудования и машин. С увеличением уровня автоматизации в непрерывном производстве роль качества инструмента, его стойкости, режущей способности ещё более возрастает. Прогрессивные инструменты обеспечивают не только снижение затрат машинного времени, но безаварийность работы оборудования, стабильное размерное качество поверхности стружкодробление и комфортность обслуживания.

Экономия затрат времени на механическую обработку деталей достигается:

- Снятие припуска с наименьшим числом проходов, увеличением глубины резания или подачи при черновой обработке; уменьшение припусков за счет использования рациональных заготовок; сокращением длины обработки, приходящейся на каждый инструмент при использовании многоинструментальных наладок путем оптимизации оптимизации и форсирования режимов резания, в первую очередь- скорости резания, за счет предельного использования динамических ресурсов, и технических характеристик станка по эффективной мощности приводов, максимальным крутящим моментам на шпинделе, по предельным числам оборотов шпинделя по скорости подачи, при чистовой получистовой обработке по жесткости и виброустойчивости системы станок - приспособление – заготовка СПИЗ и наибольшим объемом стружки, снимаемым в единицу времени, а также

сокращением затрат вспомогательного времени на замену и отладку инструмента.

В повышении режимов резания и снижении машинного времени важная роль принадлежит новым инструментальным материалам и усовершенствованным по конструкции, лезвийным инструментам повышенного качества: с механическим креплением многогранных поворотных не перетачиваемых пластин (МНП) из твердосплавных материалов на основе карбидов, вольфрама, с упрочняющим покрытием из новых марок оксидной карбидной, нитридной керамики, из сверхтвердых материалов на основе кубического нитрида бора и некоторых других материалов, показаны на рис. 1.

Рост допустимой скорости резания применительно к оптическому приборостроению инструментами из различных материалов.

Позиции 1-9 это поколения инструментов по годам их создания для обработки стали 45.

Материалы:

1 – инструментальная сталь; 2 – быстрорежущая сталь; 3 – твердосплавный вольфрамсодержащий сплав - напаянные пластины; 4 – минералокерамика; 5 – алмазы - корбонадо для финишной обработки цветных металлов на основе алюминия и меди, имеют ограниченное применение; 6 – твердосплавные СМП с покрытием; 7 – безвольфрамовые твердые сплавы с покрытием керметы; 8 – сверхтвердые материалы (СТМ) на основе кубического нитрида бора, композиты (01, 02, 05), (эльбор, бельбор, гексанит, томал 10, скорость резания которых составляет до 200 м/мин - закаленные стали до HRCЭ (55-60); конструкционные и инструментальные стали, отбеленный чугуны; 9 – новые минералокерамические инструментальные материалы – (нитрид кремния SiN_4 - веданит; $\text{SiN}_4 + \text{TiC}$ – силинит

Таким образом сложилась благоприятная производственная обстановка, когда наибольшее число механических деталей в оптическом приборостроении, как это видно из рис. 1, можно выполнять на интенсивных скоростных и сверхскоростных режимах резания, и во многих случаях возможно увеличение съема металла за счет таких компонентов как повышение параметров подачи, а в иных случаях глубины резания (при черновой обработке). Это очень важные факторы при их использовании на производстве, поэтому можно их рекомендовать к еще более широкому применению к машино-приборостроению.

Твердосплавные пластинки со стружколомающими канавками, креплением и упрочняющими покрытиями для операции точения, растачивания, фрезерования, сверления, нарезания резьбы, прорезки канавок и отрезки канавок и отрезания заготовок.

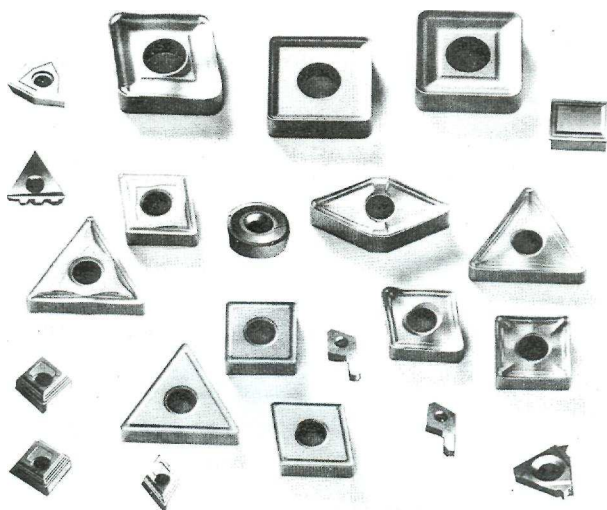


Рис. 2



Рис. 3

Скоростной ($n_{\max} = 1600 \text{ мин}^{-1}$)
токарный станок для приборострое-
ния фронтальной компоновки «Шпи-
нер» (ФРГ)

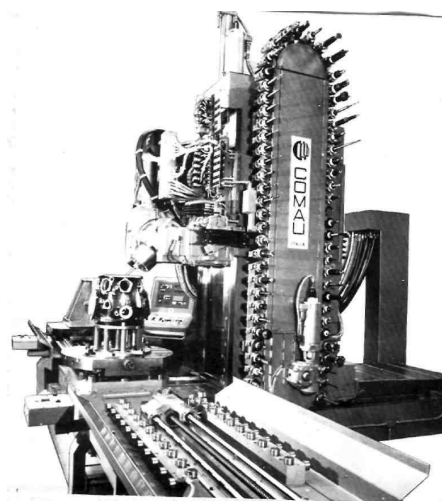


Рис. 4

Вертикально-горизонтальный высоко-
скоростной сверлильно-фрезерно – рас-
точной станок с магазином на 70 инст-
рументов, со снятым ограждением ра-
бочей зоны

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. «Металлообработка - 89». Оборудование, приспособления, технология, инструменты для обрабатывающей промышленности. Описания и доклады (ФРГ, Швейцария) / К. Ханзен. – Мюнхен, 1989. – 280 с.
2. Металлообработка – 84, 86, 89, М. Каталоги и материалы фирм по оснастке и инструменту ВНИИ инструмента фирм Krupp Nidia, Walter, Helter, Feldmule AG (ФРГ), Sandvik Caromant (Швейцария), Peansee (Австрия), Forkapcardt, Rohn Bilz (ФРГ), Yamarahi (Япония), Burocold, Difomatic (Италия), Microbore, Microset Mihrononit, Geldimeicter (ФРГ), Sametpncision (Франция). Всего 122 каталога и описания 80 производителей 1987–1989 гг.
3. Материалы симпозиума, каталоги и описания устройств удаления заусенцев, гранта, линейных наплывов и методом термовзрыва и химреагентами в системе ГАП. – М., 1986–1989 гг.
4. Концепция технологии 100-х годов. Автоматика и робототехника / Штейнхимлер Р., Модернеиндустри (ФРГ) и Ост-Контакт (Швейцария). – 1989. – № 2. – С. 12.

5. Высокоскоростная обработка / В.А. Потапов, Г.И. Айзеншток: обзор. – М.: ВНИИТЭМР. Сер. 1. – 1996. – Вып. 9. – С. 60.
6. Шлишевский, Б.Э. Направления развития технологии и оборудования автоматизированной обработки корпусных деталей. Новосибирск: ЦНТИ, 2006. – С. 32.
7. Шлишевский, Б.Э. Многоцелевые станки с ЧПУ для обработки корпусных деталей и пути повышения их эффективности. – М.: ВНИИТЭМР. Серия I. – 2005. – С. 64.
8. Современный инструмент для автоматизированной обработки конструкционных материалов в оптико-электронном приборостроении / Б.Э. Шлишевский, Е.Ю. Кутенкова // Вестник СГГА. – 2005. – № 10. – С. 170–174.

© Б.Э. Шлишевский, А.Н. Соснов, А.А. Марач, 2010

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ АСФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В работе представлены обзор и классификация компьютерно-синтезированных голограмм (СГ) для оптического контроля. Приведены характеристики и особенности лазерной записывающей системы (ЛЗС) работающей в полярной системе координат и используемой для изготовления высокоточных СГ. Представлены практические результаты изготовления СГ с помощью ЛЗС Института автоматизации и электрометрии. В работе обсуждается стратегия лазерной записи для уменьшения погрешности изготовления СГ. Обсуждаются методы измерения и контроля параметров процесса записи СГ в радиальных и угловых координатах, которые позволяют устранить случайные погрешности в микроструктуре изготавливаемых СГ.

A.G. Poleshchuk, R.K. Nasyrov, A.E. Matochkin

Institute of Automation and electrometry SB RAS, Novosibirsk

METHODS OF ASPHERICAL SURFACES TESTING

In this paper, review and classification of CGHs for optical testing are presented. Characteristic features of specialized laser-writing systems (LWS) operated in polar coordinates used in fabrication of highly precise large CGHs are considered. Practical results on CGH fabricating obtained by means of LWS located at the IA&E SB RAS (Novosibirsk, Russia) are presented. The problem of optimizing the writing strategy in order to reduce the errors is discussed. Methods for measuring and recording the writing process parameters during CGH fabrication, which allow one to estimate independently the error distribution for the element microstructure in the radial and angular coordinates, are considered.

Введение. Современные технологии прецизионной трехмерной обработки материалов позволяют создавать компоненты с оптическими поверхностями произвольной формы (осевые и внеосевые асферики, цилиндрические, торические и любые поверхности свободной формы) и неровностью в единицы ангстрем. Асферическая оптика уже является важнейшей составной частью современных оптических систем, используемых в астрофизических исследованиях, мониторинге Земли, в аппаратуре для проведения газодинамических и баллистических экспериментов, космической и военной технике (например: прозрачные носовые обтекатели боеголовок ракет). В оптических системах телескопов такими элементами являются главные и вторичные зеркала, причем для обеспечения дифракционного предела разрешения форма поверхности зеркал должна быть обработана с погрешностью менее 5-10нм. Применение асферики обеспечивает существенное уменьшение массы и габаритов оптических приборов, улучшение качества изображения, светосилы и угла поля зрения [1]. Потребители асферической оптики предъявляют высочайшие требования к точности ее изготовления. Оптика широкого применения изготавливается с точностью обработки поверхности стекла порядка 50-100нм, в то время как оптика

телескопов должна быть выполнена с точностью $\sim 5\text{-}10\text{ нм}$ и выше. В ряде применений, таких как рентгеновская оптика, объективы ДУФ литография точность должна быть $\sim 0.1\text{-}1\text{ нм}$ при размере поверхностей до $0.5\text{-}1\text{ м}$. Качество асферики определяется с одной стороны точностью процесса изготовления, а с другой стороны точностью систем контроля формы этой поверхности. В производстве такой оптики актуален тезис: «если нельзя измерить, то невозможно создать».

В настоящей работе представлены результаты разработки методов и средств бесконтактного измерения формы асферических и нетипичных оптических поверхностей большого размера с нанометрической точностью на основе применения компьютерно-синтезированных голограмм (СГ) в сочетании с лазерными интерферометрами.

Асферические поверхности. Радиальное сечение асферической поверхности описывается уравнением:

$$Z(r) = \frac{r^2}{R \left(1 + \sqrt{1 - (1 + K) \left(\frac{r}{R} \right)^2} \right)} + \sum_{n=2}^m A_{2n} r^{2n},$$

где r – радиальная координата, R – радиус в вершине поверхности, K – коническая константа, A_{2n} – коэффициенты корректирующего полинома, обеспечивающего возможность задания асферических элементов высших порядков. Различные типы асферики задаются следующим образом: $K > 0$ сплюснутый эллипс, $-1 < K < 0$ вытянутый эллипс, $K = 0$ сфера, $K = -1$ парабола, $K < -1$ гипербола. Во многих приложениях используются внеосевые сегменты асферической поверхности. Для компенсации несимметричных волновых aberrаций используются асферические поверхности так называемой свободной формы, такие поверхности описываются полиномом.

Методы контроля асферических поверхностей. В настоящее время известно много методов контроля асферических поверхностей. Некоторые из них приведены в табл. 1.

Контроль асферики с наибольшей точностью и простотой обеспечивают компенсационные методы на основе применения СГ. Голограмма преобразует исходный волновой фронт интерферометра в волновой фронт, сопряженный с формой асферической поверхности. Если форма асферики точно соответствует расчетной, то при отражении от нее и вторичном проходе через СГ волновой фронт совпадает с исходным. Малейшее отклонение в форме поверхности приведет к изменению формы волнового фронта. Эти отклонения регистрируются интерферометром в виде интерферограммы. Чувствительность этого метода определяется выражением: $E = (dN/T)(\lambda/2)$, где E – минимально регистрируемое отклонение формы поверхности, dN – регистрируемое смещение полосы при отношении сигнал/шум ≥ 1 , T – период полос, λ – длина волны (обычно $\lambda = 633\text{ нм}$). Если регистрируется смещение 0.001λ , то чувствительность составит $E \sim 0.3\text{ нм}$. Таким образом, реализуется принцип «оптического компаратора», позволяющий регистрировать и измерять

малейшие отклонения формы поверхности от заданной. Точность оптического компаратора определяется в основном следующими факторами: точностью расчета и изготовления СГ; особенностью дифракционной структуры СГ, точностью юстировки оптической измерительной системы, точностью интерферометра и анализа интерферограмм.

Таблица 1. Методы контроля асферических поверхностей

Методы измерения		Точность	Достоинства	Недостатки
Сканирующие методы	Профилограф [2]	0.5-2нм	Универсальность	Заданная траектория, большое время измерения, контакт.
	Пентапризма [3]	20-50нм	Универсальность	Заданная траектория, большое время измерения.
Экранные методы	Датчик Шека - Гартмана [4]	20-50нм	Простота, большой диапазон	Ограниченное пространственное разрешение и точность
Интерференционные методы	Интерферометр сдвига (боковой, радиальный, угловой и т.п.) [5]	10-100нм	Простота, большой диапазон	Ограниченная точность и чувствительность, трудность расшифровки
	Точечный дифракционный интерферометр [6]	30нм	Простота, точность, отсутствие эталона	Нестандартное оборудование, ограниченный диапазон.
	Синтезированная длина волны (двухволновый) [7]	10-100нм	Большой диапазон, мат. поверхность	Нестандартное оборудование, ограниченная точность
	Интерферометр с сшивкой апертур	10-30нм	Универсальность	Ограниченная точность, большое время измерений, сложное программное обеспечение
	Интерферометр со сканированием вдоль оси (VeriFire Aspere [8])	60-200нм	Универсальность	Контроль осевых линз, большие время измерения и стоимость, ограниченная точность.
	Прямой метод измерения [9] до 2000 полос	60-300нм	Простота, обычный интерферометр	Отступление от сферы < 1000 λ , дополнительные погрешности.
	Компенсационный с линзовым корректором	до 1-5нм	Традиционная технология	Трудность в сборке и юстировке.
	Компенсационный с СГ – корректором [11, 16]	до 1-5нм	Простая юстировка, высокая точность	Требуется изготовление СГ, возможны оптические шумы
	Компенсационный с пространственным модулятором [10]	20-50нм	Универсальность	Отступление от сферы < 500 λ , ограниченная точность, сложность сертификации.

Расчет оптического корректора. Фазовая функция СГ определяется из геометрической модели хода лучей с нормальным падением на контролируемую поверхность. Фазовая функция СГ – это оптическая *разность хода* лучей (OPD) между $O'C'S'$ and OCS , как показано на рис. 1. СГ и асферическая поверхность могут быть как осесимметричными, так и внеосевыми.

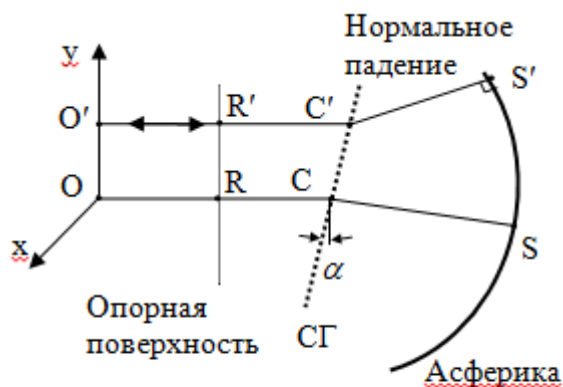


Рис. 1. Модель расчета фазовой функции СГ

Внеосевая СГ наклоняется на угол α к оптической оси. Выбирая опорную точку в центре, получим функцию $\phi_1(x,y) = O'(x,y) C'S' - O(x_0,y_0)CS$. OPD опорного пучка определяется разностью $O'R'$ and OR как $\phi_2(x,y) = O'(x,y)R' - O(x_0,y_0)R$. Если эталонная поверхность – плоскость, то $\phi_2(x,y) = \text{const}$. OPD СГ определяется как $\phi(x,y) = \phi_1(x,y) - \phi_2(x,y)$.

Точность изготовления СГ. Искажения прошедшего волнового фронта СГ определяются в основном погрешностями дифракционной структуры и искажениями, вносимыми подложкой [11]. Локальная ошибка дифракционной структуры СГ δ приводит к появлению ошибки волнового фронта $\Delta W_T = -m\lambda(\delta/T)$ [12], где T - локальный период структуры, m – порядок дифракции и λ - длина волны. Очевидно, при расчете СГ надо стремиться к увеличению периода. Если СГ бинарная, фазовая, то на точность влияют неоднородности глубины h травления: $\Delta W_T = 0.5\Delta h$. Для наиболее точных измерений нужно стремиться использовать СГ с амплитудным пропусканием («хром на стекле»). Сертификация СГ [13] является одним из условий обеспечения нанометровой точности измерений. Подложка является одним из основных источников погрешностей в измерительной системе, так как ошибки волнового фронта из-за оптических неоднородностей подложки и изготовления дифракционной структуры СГ складываются. Это особенно существенно, когда размеры СГ велики. Применение комбинированных СГ [14, 15], которые могут формировать несколько независимых волновых фронтов, позволили исключить вносимые подложкой искажения.

Особенности дифракционной структуры СГ. Так как СГ является дифракционной структурой, то наличие дифракционных порядков (ДП) приводит к падению дифракционной эффективности (ДЭ) и появлению множества ДП, распространяющихся как на отражение, так и на проход. В осевых СГ ДП всегда перекрываются, и это часто приводит к появлению яркого пятна в центре интерферограммы. Этого недостатка лишена схема с внеосевой СГ и изломом оптической оси [16], однако точность изготовления структуры внеосевой СГ меньше, чем осевой. Увеличение ДЭ позволяет существенно уменьшить влияние паразитных ДП. Расчет структуры СГ необходимо проводить таким образом, чтобы паразитные ДП не попадали в интерферометр.

Точность юстировки. Корректоры на основе СГ более чувствительны к юстировке, чем классические оптические элементы. Анализ показал, что для получения нанометровой точности измерения взаимное положение интерферометра, СГ и исследуемой поверхности должно быть выдержано с точностью в доли микрона вдоль оптической оси и по наклону в единицы угловых секунд. Необходимая точность обеспечивается дополнительными дифракционными структурами, которые располагаются на одной подложке с основным ДОЭ и формируют вспомогательные пучки света (рис. 2а).

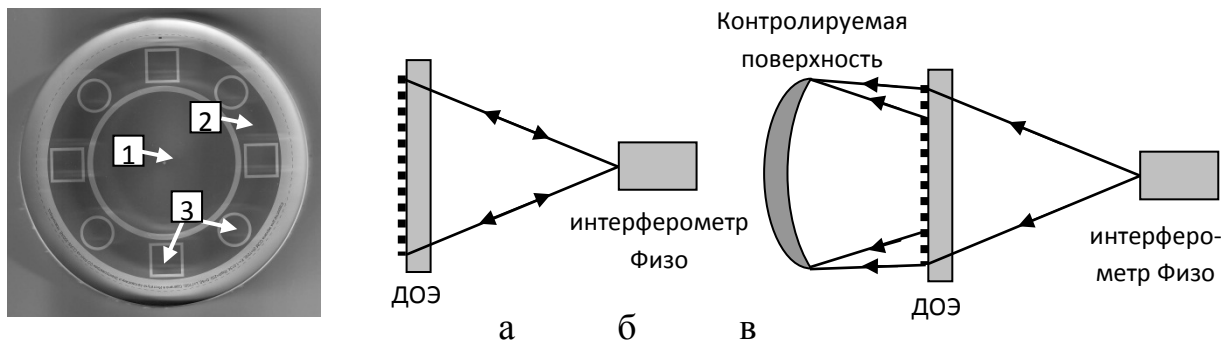


Рис. 2. (а) – Вид ДОО со вспомогательными юстировочными дифракционными структурами:

1 – основная дифракционная структура, 2 – отражающая дифракционная сфера, 3 – фокусирующие ДОО. (б) – Схема юстировки ДОО по отражающей дифракционной сфере. (в) – Схема юстировки контролируемой поверхности по фокусирующим ДОО

На одной подложке вокруг основной дифракционной структуры изготавливается отражающая дифракционная сфера (Рис. 2б), кривизна сферического волнового фронта совпадает с кривизной волнового фронта эталонного объектива, который формирует сферическую волну. ДОО выставляется так, чтобы в области интерферограммы, соответствующей отражающей дифракционной сфере, возникло поле равномерной интенсивности.

Фокусирующие ДОО (Рис. 2в) формируют световые пятна (или кресты) в заданных областях, например, по периметру контролируемой поверхности. Этот метод значительно сокращает время выставления контролируемой поверхности. Дальнейшая точная настройка ведется по интерференционной картине в области основной интерферограммы.

Заключение. Развитие технологии дифракционной оптики позволяет успешно решать многие задачи прецизионного нанометрического контроля широкого класса асферических поверхностей в условиях оптического производства. Дальнейшие наши исследования будут сосредоточены на методах повышения точности измерения за счет устранения специфических погрешностей СГ и влияния внешних дестабилизирующих факторов.

Данная работа была выполнена в рамках комплексного интеграционного проекта № 54 СО РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. R. Hentschel, B. Braunecker; H. J. Tiziani. Advanced optics using aspherical elements // SPIE Press Book. 2008. Vol. PM173 p. 434.
2. www.mahr.com
3. P.C.V. Mallik, C. Zhao, J.H. Burge. Measurement of a 2-meter flat using a pentaprism scanning system // Optical Engineering. 2007. Vol. 46 pp. 023602-1 - 023602-9.

4. Ho-Soon Yang, Jae-Bong Song, In-Won Lee, Yun-Woo Le. Testing of steep convex aspheric surface with a Hartmann sensor by using a CGH. *Optics Express*, vol. 14, N 8, 2006, pp. 3247-3254.
5. P. Hariharan. Lateral and radial shearing interferometers: a comparison//*Applied Optics*. 1988. Vol. 27, N 17, pp. 3594-3596.
6. Н.Б. Вознесенский, Е.В. Гаврилов, А.П. Жевлаков, В.К. Кирилловский, П.В. Орлов. Интерференционный контроль асферических компонентов объектива для нанолитографии//*ЖТФ*, 2007, том 77, вып.2, стр. 126-130.
7. K. Creath, J. C. Wyant. Direct phase measurement of aspherical surface contours//*SPIE* 1985. Vol. 645, pp.101-106.
8. <http://zygo.com/?/met/interferometers/verifire/>
9. http://www.engsynthesis.com/p/products/fizeau/intellium_asphere.php.
10. H Wang, Z Wang, H Zhao, A Tian. Research on encode technology for aspherical surface measurement based on real time hologram// *Proc. SPIE*. 2007. Vol. 6279, pp. 62797J.
11. Ping Zhou, Jim Burge. Fabrication error analysis and experimental demonstration for computer-generated hologram // *Applied Optics*, 2007. Vol. 46. N 5, pp. 657-663.
12. А.Г. Полещук, В.П. Коронкевич, В.П. Корольков, А.А. Харисов, В.В. Черкашин. Синтез дифракционных оптических элементов в полярной системе координат: погрешности изготовления и измерения // *Автометрия*. 1997. N 6. С. 42.
13. R.K. Nasyrov, A.G. Poleshchuk, V.P. Korolkov, K. Pruss, S. Reichelt. "Certification of diffractive optical elements for aspherical optics testing," *Optoelectr., Instrum. and Data Process*. 2005. Vol. 41, No. 1, pp. 100-108.
14. J.-M. Asfour, A.G. Poleshchuk, Asphere testing with a Fizeau interferometer based on a combined computer-generated hologram// *JOSA A*, 2006. Vol. 23, N 1, pp.172-178.
15. A.G. Poleshchuk, R.K. Nasyrov, and J.-M. Asfour. Combined computer-generated hologram for testing steep aspheric surfaces // *Optics Express*, 2009. Vol. 17, Issue 7, pp. 5420-5425.
16. S.M. Arnold, L.C. Maxey, J.E. Rogers, R.C. Yoder. Figure metrology of deep aspherics using a conventional interferometer with CGH null // *Proc. SPIE*. 1996. Vol. 2536, pp.106-116.

© А.Г. Полещук, Р.К. Насыров, А.Е. Маточкин, 2010

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ИНИЦИИРОВАННЫЕ ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В СЛОИСТЫХ НАНОСТРУКТУРАХ. ЧАСТЬ 1

Исследуются теоретические модели и методы расчета температурного поля и термомеханических процессов в слоистых структурах на подложках, подвергаемых воздействию лазерного импульса в форме временной ступеньки. Изучено пространственно-временное распределение температур в тонкоплёночной четырёхслойной наноструктуре, получены значения индуцированных лазерным облучением перемещений внешней границы структуры.

V.V. Chesnokov, D.V. Chesnokov, V.A. Raychert
SSGA, Novosibirsk, phys003@ngs.ru

TERMOMECHANICAL PROCESS IN MULTI-LAYER NANOSTRUCTURES INITIATED BY LASER IRRADIATION. PART 1

Theoretical models and methods to calculate the thermal fields and thermomechanical in the multilayer structures on substrates exposed to laser step shaped pulse. The spatial-temporal distribution of temperatures in a four layer thin-film nanostructure is studied, and values for displacements of outer boundary of the structure which are induced by laser irradiation are obtained.

В настоящей работе ставилась задача исследования динамики изменений температурного поля, индуцированного в слоистых наноструктурах на поверхности подложки импульсом лазерного излучения с резким передним фронтом, то есть, с длительностью фронта, меньшей времени прохождения тепловой волны в слое структур, и вызванных облучением физических процессов в слоях структуры. Проведены оценки значений физических параметров среды в зоне лазерного облучения и условий достижения критического состояния вещества, а также интенсивности происходящих в момент облучения в структуре термомеханических процессов, как в виде термоупругих проявлений, так и при фазовых превращениях вещества плёнок. Тепловое расширение слоёв приводит к перемещению внешней границы структуры. В качестве примера анализировались процессы в структуре с толщинами слоёв 10-100 нм.

Известен ряд исследований температурных нестационарных полей в однослойных покрытиях на подложках. Так, в работе [1] приведен анализ прохождения тепловой волны, вызванной лазерным непрерывным облучением, в тонкой пластине с учетом многократных отражений волны от поверхностей пластины, а также в металлической плёнке на металлической подложке. В [2] рассмотрено распределение тепловой энергии между плёнкой и подложкой при импульсном лазерном облучении, в [3] представлены формулы расчета теплового поля в структуре типа «плёнка на подложке» при разных формах лазерного импульса. В работе [4] найдено выражение для максимальной во

время импульса температуры поверхности плёнки на подложке, оценена интенсивность механических импульсов, вызванных термическим расширением поверхностных слоёв на подложке и распространяющихся в подложку. В работе [5] представлена импульсная теория теплопроводности в твердых телах, в том числе имеющих слоистую структуру. Обзор исследований фотоиндуцированных термоупругих напряжений в полубесконечной мишени представлен в [1].

В настоящей работе для определения изменений температурного поля и его пространственного распределения, происходящих при лазерном облучении тонкоплёночной структуры, используется Фурье – разложение температурного импульса [5], а также метод электрических аналогий. Определяются также сопутствующие нагреванию механические напряжения и деформации.

Вначале рассмотрим термокинетические процессы в многослойной структуре (рис. 1), происходящие во время поглощения импульса излучения внешней поверхностью структуры.

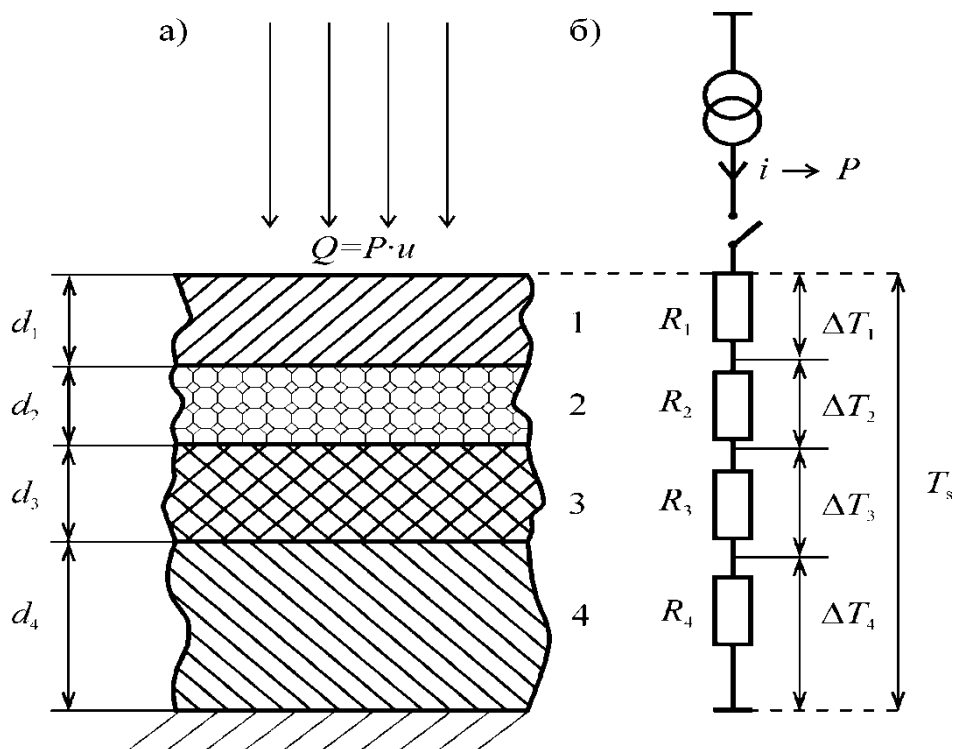


Рис. 1. Структура слоёв (а) и соответствующая ей аналоговая электрическая схема (б) для установившегося режима облучения

Воздействие излучения представим в виде временной ступеньки: $P(u) = 0$ при $u \leq 0$; $P(u) = P_0$ при $u > 0$; здесь u - время действия потока излучения на структуру, P_0 - плотность мощности излучения, падающего на поверхность первого слоя.

Поверхностная плотность поглощенной первым слоем энергии излучения равна:

$$Q_s = P_0 u (1 - R_{omp}) = P_s u, \quad (6)$$

где R_{omp} - коэффициент отражения излучения; $P_s = P_0 (1 - R_{omp})$.

При дальнейшем рассмотрении не учитываются температурные изменения теплофизических характеристик материалов; температура выходной поверхности последнего слоя принимается не зависящей от времени и равной начальному, до облучения, значению; объёмная теплоёмкость γ , температуропроводность h , теплопроводность k и толщины d слоёв имеют значки соответственно номеру слоя.

При бесконечном продолжении облучения процесс прохождения тепла через многослойную структуру станет установившимся; при этом поток тепла во всех её слоях равен потоку поглощенной части падающего излучения. Расчет можно вести, прибегнув к электрической аналогии, в которой тепловой поток P_s соответствует электрическому току i . Эквивалентная электрическая схема генератора тока, моделирующая распространение теплового потока в структуре слоев, показана на рис. 1б.

На схеме рис. 1,б R_1, R_2, R_3, R_4 - электрические сопротивления, эквивалентные тепловым сопротивлениям слоёв; $\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3, \Delta T_4$ - разности температур поверхностей слоёв, эквивалентные разностям электрических потенциалов.

Так как тепловой поток имеет одно и то же значение во всей слоях структуры, справедливо выражение:

$$T_{\infty s} = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \Delta T_4 = P_s \left(\frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \frac{d_3}{k_3} + \frac{d_4}{k_4} \right). \quad (7)$$

Здесь дроби в скобке – тепловые сопротивления слоёв, $T_{\infty s}$ - приращение температуры внешней поверхности структуры в установившемся режиме.

Физическая картина тепловых явлений в тонкоплёночной структуре в ходе переходных процессов установления стационарного температурного поля характеризуется следующим.

Температура любой точки структуры, охваченной волной, с течением времени нарастает. Тепловой поток, возникший в первом слое, перемещается в слоистой структуре в виде тепловой волны в глубину структуры. Различия в теплопроводности и теплоёмкости материалов слоёв приводят к изменениям скорости распространения тепла в слоях, а также к зависимости пространственно-временного распределения температуры в слое от тепловых процессов в последующих слоях. Возникновение при продолжении нагревания в одном из слоёв фазового перехода с поглощением тепла можно представить как возникновение в этом слое отрицательного теплового импульса, тепловая картина воздействия которого на окружающие слои накладывается на тепловую картину, обусловленную нагреванием структуры внешним облучением. Возможность существования слоя с фазовым переходом в метастабильном состоянии приводит к возможности возникновения отрицательного импульса, как в ходе переходных процессов, так и на этапе достижения установившегося теплового состояния структуры.

Получить точное аналитическое выражение для теплового поля в многослойной структуре и его временной эволюции в переходном режиме затруднительно, поэтому при дальнейшем анализе принят ряд приближений. Для упрощения представим плёночную структуру системой элементов с сосредоточенными параметрами и по аналогии с электрическими цепями используем понятие постоянной времени

$$\tau = RC = \frac{d}{k} \cdot \gamma d = \frac{d^2}{h}, \quad (8)$$

где τ - постоянная времени нагревания слоя, h - температуропроводность слоя. Величина τ приближенно характеризует также время распространения фронта тепловой волны через слой.

Закон Фурье распространения тепла в работе [5] представлен в виде одномерного уравнения теплопроводности:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = h \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}. \quad (9)$$

В этой же работе найдено, что распределение температуры в однородном слое среды при указанных выше условиях тепловыделения имеет форму пространственного импульса, который по методу Фурье может быть выражен в виде ряда:

$$T(t, x) = \frac{2P_s}{\gamma d} \int_{u_1}^t \sum_{m=0}^{\infty} \cos \frac{(2m+1)\pi}{2} \frac{x}{d} \cos \frac{(2m+1)\pi}{2} \frac{l}{d} \times \\ \times \exp \left[-\frac{(2m+1)^2 \pi^2}{4d^2} h(t-u) \right] du, \quad (10)$$

где u - время, в течение которого происходит тепловыделение в слое с координатой l однородной стенки; u_1 - момент начала тепловыделения; t - время наблюдения за изменениями температуры (независимая от времени тепловыделения величина); m - номер члена ряда. Для случая, когда $u_1=0$, тепловыделение происходит на входной поверхности стенки ($l=0$), начало отсчёта времени наблюдения совпадает с началом тепловыделения ($t=u$), из

Ошибка! Источник ссылки не найден. можно получить:

$$T(t, x) = \frac{2P_s}{\gamma d} \sum_{m=0}^{\infty} \cos \frac{(2m+1)\pi}{2} \frac{x}{d} \int_0^t \exp \left[-\frac{(2m+1)^2 \pi^2}{4d^2} h(t-u) \right] du. \quad (11)$$

После интегрирования **Ошибка! Источник ссылки не найден.** получим:

$$T(t, x) = \\ = \frac{8P_s d}{\gamma h} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\cos \left[\frac{(2m+1)\pi}{2} \frac{x}{d} \right]}{(2m+1)^2 \pi^2} \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{(2m+1)^2 \pi^2}{4d^2} ht \right] \right\}. \quad (12)$$

Экспоненциальный член с увеличением m быстро уменьшается, и в фигурной скобке при условии $\frac{ht}{d^2} \geq 0,005$ можно пренебречь почти всеми членами, за исключением членов с $m=0$, $m=1$, $m=2$ и $m=3$ (с погрешностью в расчётах температуры $\approx 5\%$), что позволяет сумму ряда представить в виде:

$$\sum_{m=0}^{\infty} = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\cos\left[\frac{(2m+1)\pi x}{2d}\right]}{(2m+1)^2 \pi^2} - \sum_{m=0}^3 \frac{\cos\left[\frac{(2m+1)\pi x}{2d}\right]}{(2m+1)^2 \pi^2} \exp\left[-\frac{(2m+1)^2 \pi^2}{4d^2} ht\right]. \quad (13)$$

Первая сумма в правой части **Ошибка! Источник ссылки не найден.** при условии $0 \leq \frac{x}{d} \leq 2$ равна [5]:

$$\sum_{m=0}^{\infty} \frac{\cos\left[\frac{(2m+1)\pi x}{2d}\right]}{(2m+1)^2 \pi^2} = \left(1 - \frac{x}{d}\right) / 8. \quad (14)$$

Окончательно получаем, с учётом **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, пространственно-временное распределение приращения температуры в слое, если температура выходной поверхности слоя поддерживается постоянной:

$$T(t, x) = \frac{P_s \tau}{\gamma d} \times \left\{ \left(1 - \frac{x}{d}\right) - \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=0}^3 \frac{\cos\left[\frac{(2m+1)\pi x}{2d}\right]}{(2m+1)^2} \exp\left[-\frac{(2m+1)^2 \pi^2 t}{4\tau_0}\right] \right\} \quad (15)$$

При условии $t / \tau_0 \geq 0,005$ в уравнении **Ошибка! Источник ссылки не найден.** учитываются только четыре первых члена ряда, при условии $t / \tau_0 \geq 0,2$ достаточно учитывать два члена.

Приравнявая $t = \infty$, $x = 0$, получим:

$$T_{\infty S} = \frac{P_s \tau}{\gamma d}. \quad (16)$$

Из последнего выражения следует, что в уравнении **Ошибка! Источник ссылки не найден.** множитель перед фигурными скобками имеет смысл приращения температуры $T_{\infty S}$ входной поверхности слоя при бесконечном времени нагревания. Учитывая **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, можно получить:

$$T_{\infty S} = \sum_{i=1}^N \Delta T_i, \quad (17)$$

где N - номер граничащего с подложкой слоя в многослойной структуре.

Заменим реальную многослойную структуру многослойной же аналоговой стенкой с координатной осью y , имеющей такую же температуру входной поверхности и такой же постоянный поток тепла через входную поверхность, как многослойная структура, но, в отличие от последней, определим всем слоям (секциям) стенки значение температуропроводности h_1 первого слоя структуры. При этом толщины D_i секций необходимо иметь такими, чтобы постоянные времени секций остались, как у соответствующих слоёв структуры, то есть, чтобы выполнялось условие: $D_i = d\sqrt{h_1/h_i}$, а коэффициенты теплопроводности секций K_i такими, чтобы их тепловое сопротивление также осталось равным тепловому сопротивлению соответствующих слоёв: $d_i/k_i = D_i/K_i$, где $K_i = k_i\sqrt{h_1/h_i}$. В установившемся режиме температуры и слоёв, и секций определяются уравнением **Ошибка! Источник ссылки не найден.** Координаты y_i секций аналоговой стенки отсчитываются от входной поверхности аналоговой стенки, совпадающей с входной поверхностью первого слоя структуры; для этой поверхности $y_i = 0$.

Чтобы получить уравнение пространственно-временного распределения температуры в аналоговой стенке, произведём в **Ошибка! Источник ссылки не найден.** следующие замены

$$x/d \rightarrow y_i/D, \quad \tau_0 = \frac{d^2}{h} \rightarrow \tau_D = \left(\sum_{i=1}^N \sqrt{\tau_i} \right)^2. \quad (18)$$

Здесь $D = \sum_{i=1}^N D_i$ - толщина аналоговой стенки, τ_D - её постоянная времени.

После замен получим:

$$T(t, x_i) = T_{\infty S} \times \left\{ \left(1 - \frac{y_i}{D} \right) - \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\cos \left[\frac{(2m+1)\pi y_i}{2D} \right]}{(2m+1)^2} \exp \left[-\frac{(2m+1)^2 \pi^2 t}{4\tau_D} \right] \right\} \quad (19)$$

где $T_{\infty S}$ - приращение температуры входной поверхности аналоговой стенки в установившемся режиме нагревания, равное приращению температуры входной поверхности многослойной структуры в таком же режиме

$$T_{\infty S} = \sum_{i=1}^N \Delta T_{\infty i}. \quad (20)$$

В установившемся ($t = \infty$) режиме уравнение

Ошибка! Источник ссылки не найден. сводится к следующему:

$$\frac{T(\infty, y_i)}{T_{\infty S}} = 1 - \frac{y_i}{D}. \quad (21)$$

Основываясь на уравнении **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, приращения температур слоёв в установившемся режиме можно также представить в виде:

$$\frac{T(\infty, y_i)}{T_{\infty S}} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta T_i}{T_{\infty S}}. \quad (22)$$

Из уравнений **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и **Ошибка! Источник ссылки не найден.** можно найти:

$$\frac{y_i}{D} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N \Delta T_i}{\Delta T_{\infty S}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N \frac{d_i}{k_i}}{\sum_{i=1}^N \frac{d_i}{k_i}}. \quad (23)$$

Полученные выше при анализе результаты можно представить в виде топологических и хронологических термограмм. На рис. 2 и 3 термограммы показаны в виде зависимостей $\frac{T_s}{P_s}(t)$ и $\frac{T_s}{P_s}(x)$, где x - координата, отсчитываемая от поверхности вглубь структуры. Расчёты проведены для случая неизменности теплофизических характеристик используемых материалов во всём диапазоне температур в соответствии с уравнением **Ошибка! Источник ссылки не найден.** с учетом **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Таблица 1. Параметры слоёв исследуемой структуры

Слой	$y, \text{нм}$	$d_i, \text{нм}$	$h \cdot 10^6 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$	$\rho \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ / $\rho_{\text{кр}}$	$k, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	$c \cdot 10^{-3} \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	$\tau, \text{нс}$	$\frac{\frac{dl}{kl} \cdot 10^9}{\frac{\text{К} \cdot \text{м}^2}{\text{Вт}}}$
о	50	50	45,6	10,65	158	0,264	0,055	0,316
H ₂ O 250°C	171,2	10	0,16	0,78/0,2	0,5	4,87	0,625	20,000
SiO ₂	187,5	10	0,78	2,2	1,84	1,07	0,128	5,435
Cu	700	1000	100	8,8	365	0,4	10	2,741
Аналоговая стенка							$\tau_0 = 20,66$	$D = 28,49$

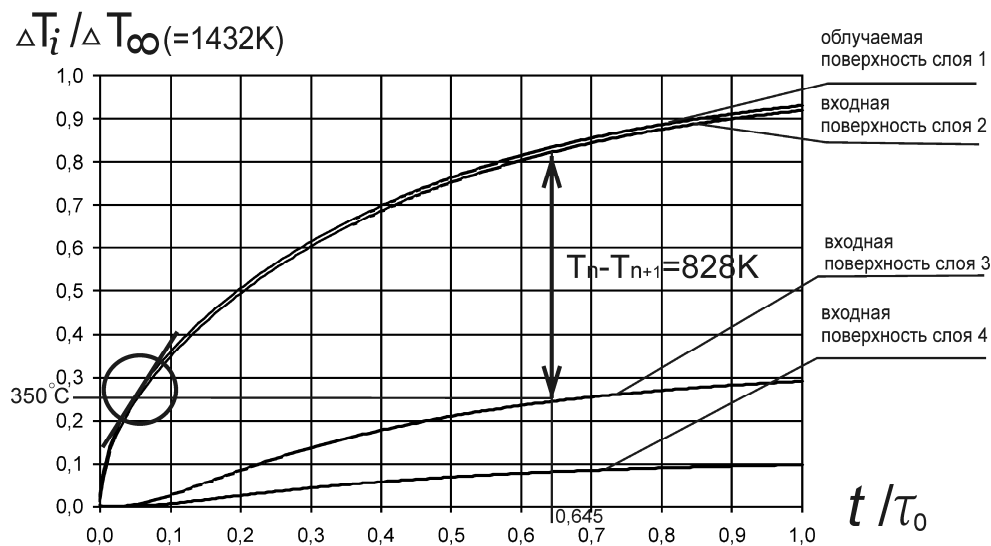


Рис. 2. Хронологическая термограмма поверхности и внутренних слоёв многослойной структуры

Расчеты проведены для структуры молибден – вода – плавленый кварц – медь; толщины слоев и теплофизические параметры их материалов, использованные при расчётах, приведены в табл. 1. Плотность поглощенной мощности излучения $P_s = 0,6 \cdot 10^{11} \text{ Вт/м}^2$. Кружком обведена область графика, структура которого в увеличенном виде показана на рис. 2 [6].

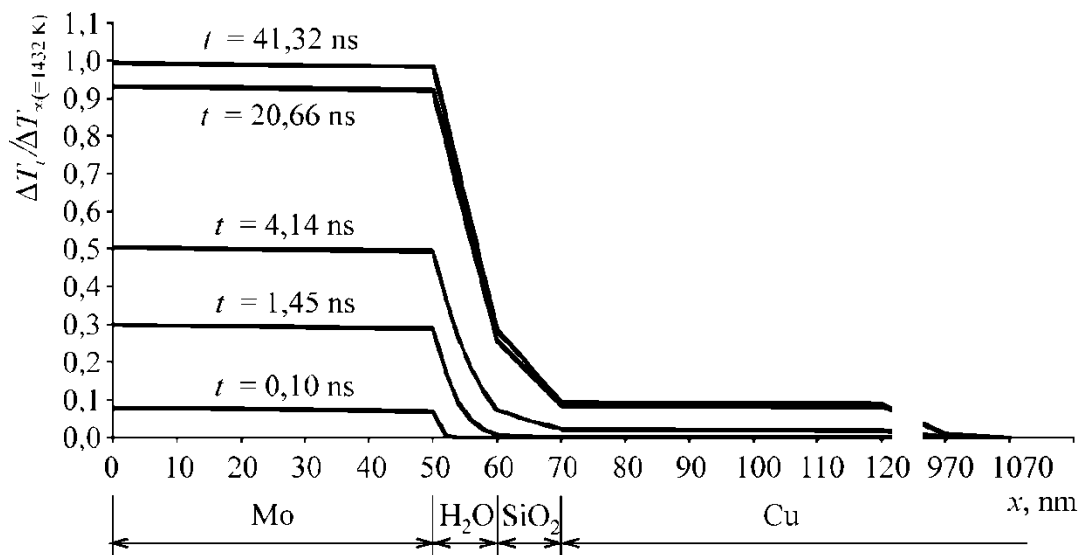


Рис. 3. Схемы топологических термограмм многослойной структуры в моменты времени $t = 0,103 \text{ нс}$, $t = 1,447 \text{ нс}$, $t = 4,137 \text{ нс}$, $t = 20,66 \text{ нс}$, $t = 41,32 \text{ нс}$ (параметры структуры как на рис. 2; черточки совпадают с границами слоёв структуры)

Во второй части этой статьи, опубликованной в настоящем сборнике, рассмотрены вопросы расчета пространственно-временного распределения температуры с учетом возможных изменений фазовых состояний отдельных слоев структуры, термомеханические проявления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Взаимодействие лазерного излучения с металлами / А.М. Прохоров, В.И. Конов, И. Урсу, И.Н. Михэилеску. - М.: Наука. - 1988. – 543 с.
2. Вейко В.П. Лазерная обработка пленочных элементов. – Л.: Машиностроение. – 1986. – 247 с.
3. Дьюли У. Лазерная технология и анализ материалов. – М.: Мир - 1986. - 504 с.
4. Чесноков В.В., Резникова Е.Ф., Чесноков Д.В. Лазерные наносекундные микротехнологии / Под общ. ред. Д.В. Чеснокова.– Новосибирск: СГГА.- 2003. – 300 с.
5. Камья Ф.М. Импульсная теория теплопроводности. Пер. с франц. под ред. А.В. Лыкова. М.: «Энергия». - 1972. – 272 с.
6. Чесноков В.В., Чесноков Д.В., Райхерт В.А. Термомеханические процессы, инициированные импульсным лазерным излучением в слоистых наноструктурах. Часть 2 // Сб. матер. VI Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2010».- Новосибирск, СГГА.- 2010.

© В.В. Чесноков, Д.В. Чесноков, В.А. Райхерт, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Комиссарова Н.В., Чащин О.Н. Математическое моделирование характеристик теплопроводящей среды	3
Михайлова Д.С. Методика исследования спектров поглощения адсорбированных на прозрачных подложках слоев. Исследование спектра поглощения адсорбированного йода.....	8
Гиенко А.А. Распределенное программирование для аппаратно-программных комплексов. Компонент сбора данных	10
Гиенко А.А. Визуализация объемных изображений методом пространственной селекции ракурсов. 3D монитор.....	14
Шергунова Н.А., Бритвин А.В., Поллер Б.В. Оценка влияния подстилающей поверхности на конфигурацию сети оптического мониторинга.....	18
Абденов А.Ж., Воробьев П.М., Рубанович М.Г. Оценка значений индуктивности на основе дифференциальной модели в пространстве состояний и результатов натурных экспериментов	24
Никулин Д.М. Термостабильность перестраиваемых светофильтров на основе резонатора Фабри – Перо.....	28
Трушенко Д.Е. О характеристиках полимерного планарно-волоконного люминесцентного преобразователя ультрафиолетовых сигналов	33
Батомункуев Ю.Ц., Вениаминов А.В., Попов А.П. Послеэкспозиционное изменение характеристик объемной решетки в полимерной голограммной среде с фенантренхином	37
Наливайко В.И. Молекулярная модель фототрансформации структуры халькогенидных слоев	44
Поллер А.Б. О построении светотеплового люминофорного преобразователя солнечной энергии	52
Поллер Б.В., Клементьев В.М., Бритвин А.В., Трушенко Д.Е. Об аномалиях затухания некоторых оптических и терагерцовых лазерных излучений в политетрафторэтилене при изменении температуры.....	57
Поллер Б.В., Клементьев В.М., Бритвин А.В., Коломников Ю.Д., Коняев С.И., Трашкеев С.И., Трушенко Д.Е. О создании терагерцовых фотонно-кристаллических полимерных волноводов	60
Кошелев А.В. О сверхсветовых скоростях волн в современной физике	64
Козулин И.А., Кузнецов В.В. Структура газожидкостного течения в прямоугольных мини- и микроканалах.....	71
Шамирзаев А.С., Козлов С.П., Кузнецов В.В. Теплообмен при кипении хладонов в микроканальных системах охлаждения.....	77
Заржецкая Н.В., Носков М.Ф. Компьютерные системы тестирования по дисциплине «Основы электротехники и электроники»	82
Сырнева А.С. Краевой эффект в фильтрах терагерцового диапазона, использующих нарушенное полное внутреннее отражение	86
Ащеулов В.А., Куликова Л.Г., Абрамова Л.М. Разработка стандарта организации академии по делопроизводству	91

Антонович К.М., Куликова Л.Г. Изменения в методике поверки геодезической аппаратуры пользователей космических навигационных систем	94
Шувалов Г.В., Матвейчук В.Ф., Евграфов В.И. Развитие работ в области нанотехнологий и их метрологическое обеспечение в Сибирском Федеральном округе.....	98
Горбылев А.А., Гривастов Д.А. Исследование алгоритмов управления процессами реализации реперных точек температурной шкалы.....	102
Коллер А.А. Вопросы внедрения новой нормативной базы в области испытаний средств измерений массы	108
Пальчун Ю.А., Блинов И.Ю., Рыжков И.А., Каверин А.М. Некоторые вопросы аттестации образцовых мер СВЧ в коаксиальных трактах .	113
Пальчун Ю.А., Якимова И.В., Пыжов П.И. Вопросы метрологического обеспечения качества выпускаемой продукции в стандартах серии ИСО 9000	115
Пальчун Ю.А., Владимирова С.В., Колпаков А.В. Использование интерполирующих и экстраполирующих функций для определения межповерочного интервала коаксиальных мер.....	116
Курбатова Н.А., Черепанов В.Я. Радиационный метод поверки датчиков теплового потока на основе адиабатического излучателя	120
Зонова А.Д., Черепанов В.Я. Исследование неразрушающего метода измерений тепловой мощности отопительных приборов.....	126
Пряшин Д.О., Троценко Д.П., Черепанов В.Я. Кондуктивный компаратор для поверки датчиков теплового потока	132
Бродников А.Ф., Черепанов В.Я. Создание новых средств воспроизведения и передачи температурной шкалы на основе миниатюрных реперных точек.....	137
Могильницкий Б.С., Толстиков А.С. Спектрально-временной анализ сред с помощью импульсной интерферометрии	141
Могильницкий Б.С. Измерение некоторых параметров сверхкоротких лазерных импульсов.....	145
Плетнев П.М., Симонова Г.В., Степанова С.А. Разработка оптического метода контроля качества функциональной керамики.....	149
Шувалов Г.В. Разработка мобильной судовой лаборатории для анализа нефтепродуктов	153
Шувалов Г.В. Опыт практического применения анализаторов СИМ-6 для определения серы в нефтепродуктах	157
Бодров М.В., Мамонов В.Н. Метод определения эффективной вязкости неньютоновских нефтей в потоке.....	161
Назаров А.Д., Серов А.Ф., Бодров М.В., Симаков В.А. Метрологическое оснащение исследовательского стенда теплопереноса при импульсном воздействии импактной водо-капельной струи.....	167
Толстиков А.С., Карауш А.А. Оценивание действующих на ка возмущений по данным беззапросных траекторных измерений.....	173
Толстиков А.С., Бояркеева О.В. Программный имитатор беззапросных	

траекторных измерений в системе метрологического обеспечения ГЛОНАСС	178
Карпик А.П., Середович В.А., Антонович К.М., Куликова Л.Г. Эталонный геодезический полигон сгга – уникальный объект системы образования РФ	183
Куликова Л.Г. Разработка руководства по качеству поверки средств измерений.....	188
Куликова Л.Г. Новые подходы по аккредитации на право поверки средств измерений.....	192
Шлишевский Б.Э., Соснов А.Н., Марач А.А. Современные инструментальные материалы в машино-приборостроении, интенсивные режимы резания	196
Полещук А.Г., Насыров Р.К., Маточкин А.Е. Методы контроля асферических поверхностей	204
Чесноков В.В., Чесноков Д.В., Райхерт В.А. Термомеханические процессы, инициированные импульсным лазерным излучением в слоистых наноструктурах. Часть 1	210

CONTENTS

Komissarova N.V., Chashin O.N. Mathematical modeling thermal–transfer medium characteristics.....	3
Mikhaylova D.S. Principle of absorption spectrum measurement of the layers adsorbed on transparent substrates research of a spectrum of absorption of the adsorbed iodine	8
Gienko A.A. The allocated programming for hardware-software complexes. A component of data collection	10
Gienko A.A. Visualization of the volumetric images by a method of spatial separation of camera angles. 3D monitor	14
Shergunova N.A., Britvin A.V., Poller B.V. The estimation of influence of a spreading surface on a congiguration of a network of optical monitoring. 18	
Abdenov A.J., Vorobiev P.M., Rubanovich M.G. Evaluation of inductance values based on differential models in space condition and results of board experiments	24
Nikulin D.M. Thermal stability tunable colour filters on the basis of the Fabry-Perot resonator	28
Trushenko D.E. On the characteristics of the polymer planar-fiber luminescence converter ultrafiolet signals.....	33
Batomunkuev Ju.Ts., Veniaminov A.V., Popov A.P. Postexposure change of characteristics of the volume holographic grating in polymeric medium with phenanthrenequinone	37
Nalivaiko V.I. Structure fototransformation molecular model of chalcogenide layers	44
Poller A.B. About construction of the light-heat luminescent converter of solar energy	52
Poller B.V., Klement'ev V.M., Britvin A.V., Trushenko D.E. An anomaly attenuation of some optical and terahertz laser radiation in politetraftoretilene temperature changes.....	57
Poller B.V., Klement'ev V.M., Britvin A.V., Kolomnikov Y.D., Konyaev S.I., Trashkeev S.I., Trushenko D.E. Establishment terahertz photonic-crystal waveguides polymer.....	60
Koshelev A.V. Superluminal veloscities wave in modern physics	64
Kozulin I.A., Kuznetsov V.V. Structure of gas-liquid flow in rectangular mini-and microchanel	71
Shamirzaev A.S., Kozlov S.P., Kuznetsov V.V. Flow boiling heat transfer in microchannel heat sink.....	77
Zarzhetskaja N.V., Noskov M.F. Computer of testing on discipline “Bases electrical engineers and electronics”	82
Syrneva A.S. Regional effect in of terahertz radiation filters using the effect of broken total internal reflection.....	86
Ashcheulov V.A., Kulikova L.G., Abramova L.M. Development of the of the academy organization standard of record keeping.....	91
Antonovich K.M., Kulikova L.G. The changes in geodetic hardware verification	

procedure for users of space navigation system	94
Shuvalov G.V., Matveychuk V.F., Evgrafov V.I. Development of the work in the field of nanotechnology and their metrological provision in Siberian Federal county	98
Gorbylev A.A., Grivastov D.A. Research of algorithms of management of processes of realization constant of points of a temperature scale	102
Koller A.A. Questions of introduction of new standard base in the field of pattern evaluation of weighing instrument	108
Palchun Yu.A., Blinov I.Yu., Ryzhkov I.A., Kaverin A.M. The questions certifications microwave reference standard in coaxial circuits	113
Palchun Yu.A., Yakimova I.V., Pigov P.I. The questions on measurement assurance quality of products in standards ISO 9000	115
Palchun Yu.A., Vladimirova C.V., Kolpakov A.V. Use the interpolations and extrapolations functions for definition calibration interval for coaxial load	116
Kurbatova N.A., Cherepanov V.Ya. Radiating method verification of a heat flux sensors on a basis adiabatically emitter	120
Zonova A.D., Cherepanov V.Ya. Research of a non-destructoin method of heated devices heat power measurements	126
Priashin D.O., Trotsenko D.P., Cherepanov V.Ya. The conduction comparator for calibration of heat flux sensors	132
Brodnikov A.F., Cherepanov V.Ya. Creation of new means of reproduction and transfer or temperature scale on the basis of tiny constant of points	137
Mogilnitsky B.S., Tolstikov A.S. Spectral-temporal ayalisis of medium with a pulsed interferometry	141
Mogilnitsky B.S. Measurement of certain parameters ultrashort laser pulses..	145
Pletnev P.M., Simonova G.V., Stepanova S.A. Development of an optical method of the checking quality of functional ceramics	149
Shuvalov G.V. Development of the mobile ship laboratory for analysis nefteproduktov	153
Shuvalov G.V. Experience of the practical application analyzer SIM-6 for determination of the sulphur in nefteproduktah.....	157
Bodrov M.V., Mamonov V.N. The method for determination of efficient viscosity of non-newtonian oils in the flow	161
Nazarov A.D., Serov A.F., Bodrov M.V., Simakov V.A. Metrological equipment of setup for heat transfer investigation at the pulse effect of an impact water-droplet jet	167
Tolstikov A.S., Karaush A.A. Estimation an effects of disturbances on sattelites, using requestless trajectory measurments	173
Tolstikov A.S., Boyarkeeva O.V. The program simulator of unrequestless trajectory measurements in system of metrological maintenance GLONASS	178
Karpik A.P., Seredovich V.A., Antonovich K.M., Kulikova L.G. The etalon geodetic ground of SSGA as unique object of the rf education system....	183
Kulikova L.G. Development of the manual on the instrumentation verification	

quality	188
Kulikova L.G. New approaches to the accreditation of the instrumentation verification right.....	192
Shlishevsky B.E., Sosnov A.N., Marach A.A. Modern tool materials in machine- building and instrument-making, intensive cutting modes	196
Poleshchuk A.G., Nasyrov R.K., Matochkin A.E. Methods of aspherical surfaces testing	204
Chesnokov V.V., Chesnokov D.V., Raychert V.A. Termomechanical process in multi-layer nanostructures initiated by laser irradiation. Part 1.....	210