

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ ПО ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ ВЕЩЕСТВ РАН
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РАН
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Н.Э. БАУМАНА
МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ГОУ ВПО «ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*Посвящается светлой памяти
выдающегося ученого-теплофизика
профессора А.А. Гухмана*

ТЕПЛОФИЗИКА В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ И УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ

ШЕСТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКАЯ ШКОЛА

1 – 6 октября 2007 года

Материалы школы

Часть II



Тамбов
◆Издательство ТГТУ◆
2007

УДК 536.2.08.001.76

ББК ◀311

Т34

Редакционная коллегия:

С.В. Мищенко – *ответственный редактор*,
С.В. Пономарев – *зам. ответственного редактора*,
О.С. Дмитриев, П.С. Беляев, В.Н. Чернышов, А.Г. Дивин,
В.М. Панорядов, В.М. Дмитриев, Д.М. Мордасов,
Е.П. Постникова, Н.Н. Мочалин

Т34 Теплофизика в энергосбережении и управлении качеством : материалы Шестой международной теплофизической школы : в 2 ч. Тамбов, 1 – 6 окт. 2007 г. / ТГТУ. – Тамбов, 2007. – Ч. II. – 232 с. – 400 экз. – ISBN 978-5-8265-0615-8.

В сборник включены материалы докладов по следующей тематике: информационно-измерительные системы для научных исследований и проектирования процессов и аппаратов тепло- и массопереноса; метрология, техническое регулирование и управление качеством; современные энергосберегающие тепловые технологии, сушка и термовлажностная обработка материалов; проблемы подготовки специалистов по теплофизике, энергосбережению и управлению качеством.

Предназначен для преподавателей, аспирантов и студентов с целью использования в научной работе и учебной деятельности.

УДК 536.2.08.001.76

ББК ◀311

Спонсоры школы: Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ), ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет».

Материалы, вошедшие в сборник, сохраняют авторскую редакцию.

ISBN 978-5-8265-0615-8

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный
технический университет» (ТГТУ), 2007

Секция 3

**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ
НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И
АППАРАТОВ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА**

*А.Г. Дивин¹, С.В. Пономарев¹,
Г.С. Баронин¹, А.М. Смолин², А.Г. Ткачев¹,
Д.О. Завражин¹, Г.В. Мозгова¹*

1 – ГОУ ВПО «Гамбовский государственный технический университет»,

2 – Институт структурной макрокинетики и проблем
материаловедения РАН

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время во всем мире уделяется большое внимание разработке новых технологий и материалов, позволяющих существенно сократить потери энергии и улучшить эксплуатационные характеристики технологического оборудования. Твердофазная технология относится к энергосберегающим технологиям XXI века и позволяет решить общую фундаментальную задачу по созданию новых композиционных материалов и изделий с улучшенными физико-механическими свойствами и широким классом применения в промышленности. Важнейшими показателями качества разрабатываемых материалов являются теплопроводность, удельная теплоемкость, температуропроводность, а также реологические характеристики их растворов и расплавов. Вместе с этим, на рынке измерительных приборов наблюдается существенный дефицит недорогих и современных средств измерения данных физических величин. Выходом из положения может быть модификация приборов, выпускавшихся ранее серийно. Именно по такому принципу была создана информационно-измерительная система, структурная схема которой представлена на рис. 1.

В состав информационно-измерительной системы входят:

- 1) модифицированный прибор ИТ-4, реализующий стационарный метод и позволяющий определять значение теплопроводности твердых и сыпучих материалов в диапазоне $0,1 \dots 2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ при температурах $20 \dots 100 \text{ }^\circ\text{C}$. Прибор используется как в учебных целях, так и в научных исследованиях;
- 2) измерительные приборы ИТ-с-400 и ИТ-λ-400, предназначенные для определения соответственно удельной теплоемкости и теплопроводности твердых материалов в диапазоне от -100 до $+400 \text{ }^\circ\text{C}$;
- 3) измерительное устройство (ИУ1), позволяющее определять зависимость теплофизических и реологических характеристик неньютоновских жидкостей от скорости сдвига. Метод и измерительное устройство были разработаны в соответствии с проектами РФФИ № 02-02-17587а и № 05-08-01515а;
- 4) измерительное устройство ИУ2, служащее для экспрессного определения комплекса теплофизических характеристик твердых, сыпучих и жидких материалов в диапазоне температур от 0 до $+100 \text{ }^\circ\text{C}$.

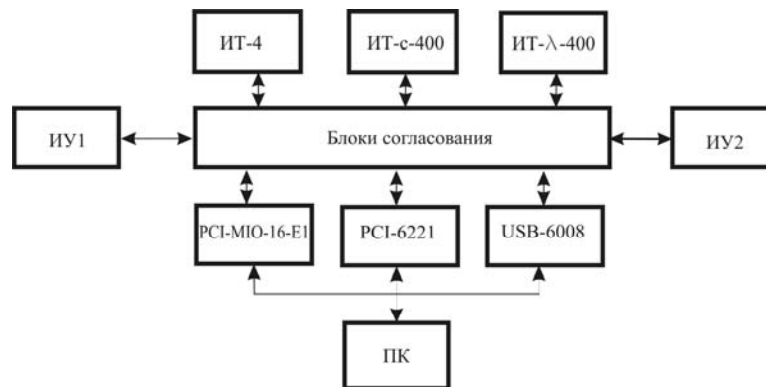


Рис. 1 Структурная схема измерительной системы

Все приборы подключены через блоки согласования и многофункциональные платы сбора данных производства National Instruments к персональному компьютеру. Управление ходом эксперимента и обработка экспериментальных данных осуществляются при помощи программы, созданной в графической среде LabVIEW 8.0.

Автоматизация измерений позволила существенно увеличить функциональные возможности приборов. Так, измерение теплоемкости материалов при помощи измерителя ИТ-с-400 стало возможным проводить при гораздо меньших темпах разогрева образца (до $0,025 \text{ K/c}$), что позволило более точно наблюдать закономерности фазовых переходов модифицированных полимерных материалов. Ниже приведен (см. рис. 2) пример температурной зависимости теплоемкости образца из модифицированного полиэтилена, содержащего одну массовую часть наноуглеродных трубок, полученных в ТГТУ и известных под торговой маркой «Таунит».

В настоящее время, с использованием измерительного устройства ИУ1 проводятся исследования влияния концентрации наночастиц (углеродных нанотрубок и нановолокон) на теплопроводность и реологические характеристики жидких полимерных материалов.

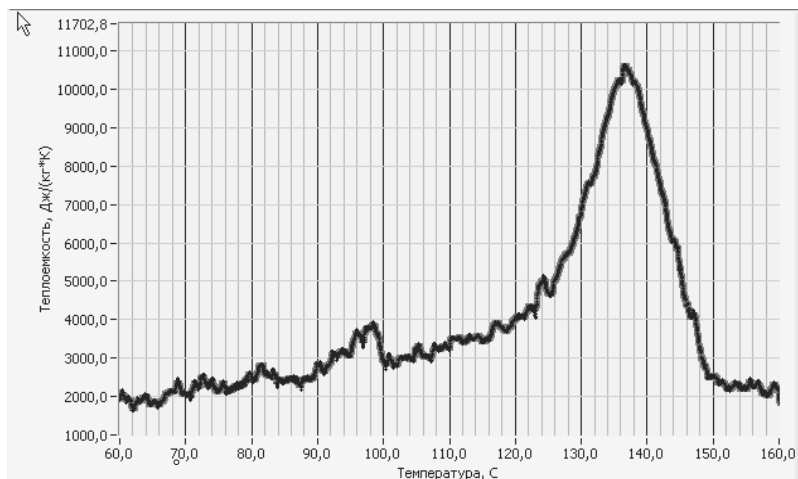


Рис. 2 Зависимость теплоемкости от температуры для модифицированного полиэтилена СВМЭ

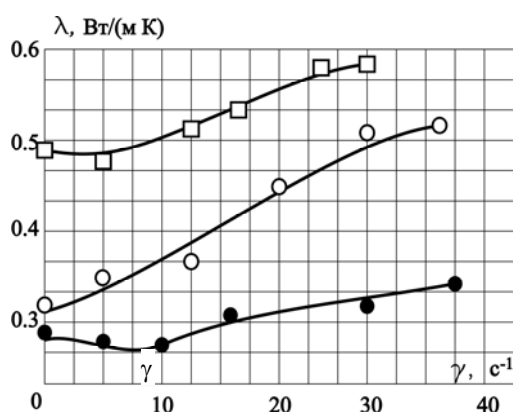


Рис. 3 Результаты экспериментального исследования зависимости теплопроводности от скорости сдвига 10 %-ного водного раствора полиоксиэтилена (□), синтетического каучука (●) и синтетического каучука, содержащего нанотрубки — с концентрацией 0,2 г/мл (○)

На рис. 3 показаны полученные зависимости теплопроводности от скорости сдвига при температуре 30 °С для 10 %-ного водного раствора полиоксиэтилена и синтетического каучука с различной концентрацией наночастиц. Из графика видно, что с увеличением скорости сдвига теплопроводность чистых полимерных материалов в направлении перпендикулярном сдвигу сначала несколько снижается, затем начинает возрастать. Это может быть объяснено влиянием различных механизмов на теплопроводность жидкости, которые при различных скоростях сдвига проявляют себя в разной мере.

Кроме этого установлено, что добавление наночастиц существенно изменяет реологические характеристики и увеличивает неньютоновские свойства жидких полимерных материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 07-08-00489-а) и Минобрнауки РФ в рамках аналитической ведомственной программы «Развитие научного потенциала высшей школы», код РНП.2.2.1.1.5355.

О.А. Лонцаков, Р.Ф. Шарафеев, Ф.М. Гумеров

Казанский государственный технологический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КОНДЕНСАЦИИ БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ ПАРОВ

Теплообмен при конденсации смеси паров является одной из наименее изученных проблем теории теплообмена, хотя с этим явлением на практике сталкиваются гораздо чаще, чем с конденсацией паров чистых жидкостей. Одной из задач при исследовании подобного рода процессов является определение полей температур и концентраций вблизи поверхности раздела фаз, которая может быть решена с помощью оптического зондирования парового пограничного слоя.

Исследование полей температур и концентраций пограничного слоя бинарных смесей паров до настоящего времени практически не производилось. Это отчасти объясняется тем, что традиционные методы зондирования здесь оказываются непригодными ввиду малой толщины этих слоев. Оптическое зондирование, основанное на связи плотности исследуемой среды с коэффициентом преломления, позволяет решать эту задачу.

Представленная установка (рис. 1) предназначена для измерения методом оптического зондирования температурных и концентрационных полей в пограничном слое вблизи поверхности горизонтальной трубки, на которой конденсируется бинарная смесь паров.

Указанный метод позволяет не только визуально наблюдать за температурными и концентрационными полями, но и дает возможность обогащения неразрывной информацией по этим полям в совокупности с одновременно снятыми фотографиями характера стекания конденсата.

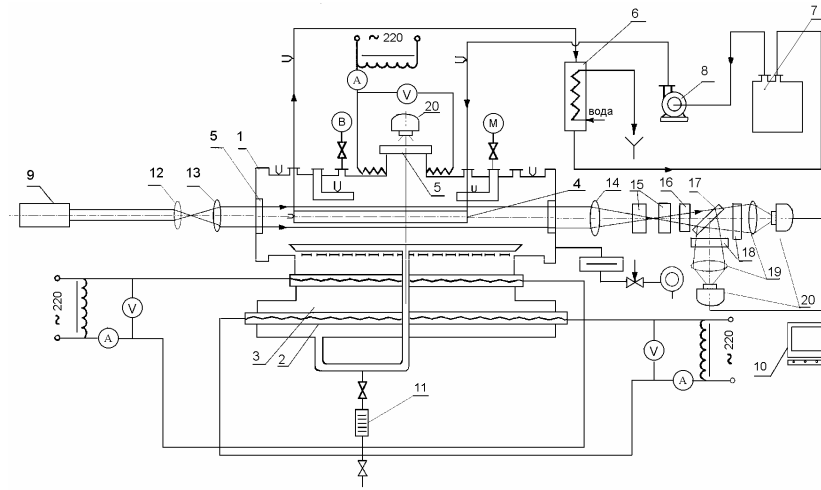


Рис. 1 Схема экспериментальной установки

Схема двухволнового поляризационного интерферометра сдвига (рис. 1) включает в себя источник монохроматического излучения 9, полупрозрачное зеркало 17, микрообъектив 12, коллиматор 13, приемную часть 14, две призмы Волластона 15, поляризатор 16, объективы 19, светофильтры 18, видеокамеры 20, ПЭВМ 10. Количество полос оптимизировалось исходя из удобства и четкости определения границы области возмущения, а также удобства последующей обработки интерферограмм, регистрация которых осуществлялась путем записи стоп-кадров, получаемых с видеокамеры, на жесткий диск компьютера.

Съемка интерференционной картины пограничного слоя, несущей в себе информацию по распределению температур и концентраций, велась с помощью двухволнового поляризационного интерферометра сдвига. Теневой метод, лежащий здесь в основе, реализуется путем установки светоделительного устройства на место визуализирующей диафрагмы. При сопряженном тепло- и массообмене в пограничном слое вид интерференционной картины в нем зависит от распределения температур и концентраций вещества.

Математическая основа метода расшифровки интерферограмм предполагает систему двух уравнений, записанных для длин волн $\lambda_1 = 0,4471$ мкм и $\lambda_2 = 0,6328$ мкм, соответствующих фиолетовому и красному излучениям источника света:

$$\frac{T_x}{T_\infty} = \frac{\epsilon_{n,x}(N_{n,1} - N_{c,1}) + N_{c,1}}{\left(1 + \frac{\lambda_1 S_{x,1}}{L(n_{\infty,1} - 1)}\right)(\epsilon_{n,\infty}(N_{n,1} - N_{c,1}) + N_{c,1})}; \quad (1)$$

$$\frac{T_x}{T_\infty} = \frac{\epsilon_{n,x}(N_{n,2} - N_{c,2}) + N_{c,2}}{\left(1 + \frac{\lambda_2 S_{x,2}}{L(n_{\infty,2} - 1)}\right)(\epsilon_{n,\infty}(N_{n,2} - N_{c,2}) + N_{c,2})}, \quad (2)$$

где T_x – температура смеси паров в возмущенной области; T_∞ – температура смеси паров в невозмущенной области; $\epsilon_{n,x}$ – объемная концентрация в паре первого компонента в возмущенной области; $\epsilon_{n,\infty}$ – объемная концентрация в паре первого компонента в невозмущенной области; N_n, N_c – рефракция паров двух компонентов смеси; S_x – величина смещения волнового фронта; n_∞ – значение показателя преломления смеси паров; L – длина трубки.

Молекулярная рефракция для компонентов смеси определяется по формуле Гладстона–Дая:

$$N = \frac{n_{T_0, P_0} - 1}{\rho} M, \quad (3)$$

где n_{T_0, P_0} – показатель преломления для нормальных условий; M – молекулярная масса компонента смеси; ρ – плотность компонента смеси при нормальных условиях.

Таким образом, для определения искомых величин T_x и $m_{n,x}$ необходимо располагать показателями преломления компонентов смеси для условий опыта и деформацией волновой поверхности S_{x1} и S_{x2} .

Для расшифровки получаемых интерферограмм была разработана компьютерная программа, позволяющая проводить весь процесс в полуавтоматическом режиме, значительно повысив скорость и точность получаемых результатов (рис. 2).

В ходе опытов с бинарной смесью получались две интерферограммы, снятые одновременно при длинах волн λ_1 и λ_2 для

одного и того же опыта, которые разбивались на несколько сечений по периметру опытной трубки. Далее, для каждого из сечений графически строилась локальная деформация волновой поверхности. Отсчет полос начинался с невозмущенной области, вглубь погранслоя к межфазной поверхности (рис. 3).

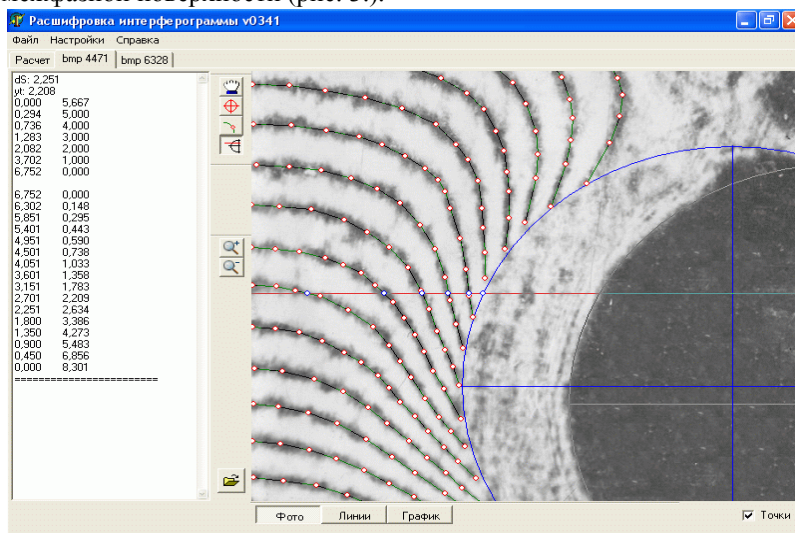


Рис. 2 Рабочее окно программы для расшифровки интерферограмм

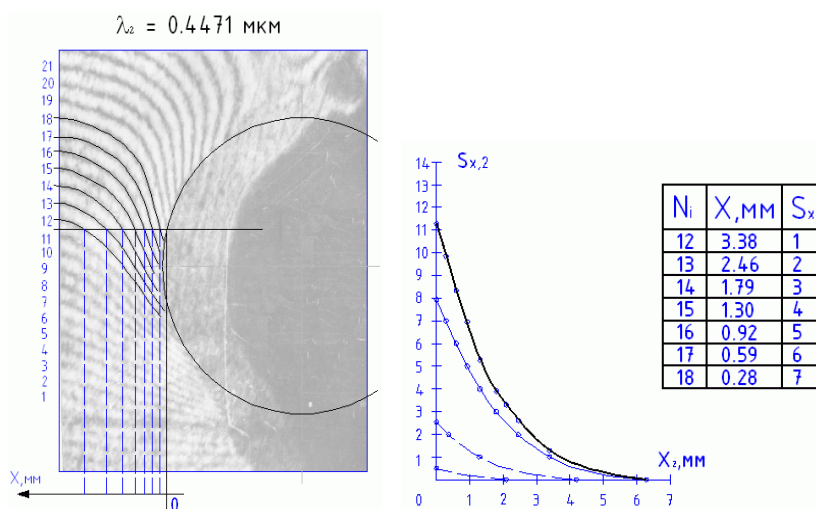


Рис. 3 Определение величины смещения волнового фронта

Решая приведенную систему уравнений (1) и (2) с помощью специально разработанной компьютерной программы, определяли T_x и $m_{n,x}$ в любой точке погранслоя и одновременно получали их графическое представление в координатах $m_{n,x} = f(x)$ и $T_x = f(x)$.

Ю.В. Чудинов, И.Н. Ищук, А.И. Фесенко

Тамбовское высшее военное авиационное инженерное училище
радиоэлектроники (военный институт)

СРЕДСТВО ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

На основе разработанного и изготовленного устройства теплового неразрушающего контроля теплофизических свойств (ТФС) теплоизоляционных материалов [1] предлагается следующая методика прогнозирования изменения ТФС испытуемых материалов:

- 1) аппроксимация зависимости изменения доверительного интервала расчета ТФС в заданном диапазоне контроля на основе экспериментальных данных;
- 2) экстраполяция изменения как среднего значения диагностируемого параметра, так и граничных значений доверительного интервала для заданного количества интервалов прогноза;
- 3) проверка гипотезы о соответствии спрогнозированного значения доверительного интервала экспериментальным данным последовательно для каждого интервала прогноза.

При техническом диагностировании выбран материал пенополиуретан (ППУ).

В качестве критерия, по которому оцениваем надежность применяемых материалов, предлагается использовать значение случайной погрешности измерения теплопроводности, полученной на основе экспериментальных данных [1].

Слайн-интерполированная зависимость изменения доверительного интервала d для теплопроводности на основе экспериментальных данных [1] представлена на рис. 1, а.

Диагностированию подверглись три образца ППУ с различными сроками их эксплуатации: 2, 7 и 12 лет. Коэффициенты теплопроводности для каждого срока эксплуатации имеют значения $0,026 \pm 0,0008$ Вт/(м·К), $0,031 \pm 0,0008$ Вт/(м·К), $0,038 \pm 0,0009$ Вт/(м·К) соответственно.

Экстраполяция была произведена на три интервала времени вперед. Для решения задачи экстраполяции используются существующие статистические методы прогнозирования, в частности, в пакете функций среды MathCAD.

Таким образом, прогнозируемое значение теплопроводности ППУ со сроком эксплуатации 12 лет через 5 лет составит $0,043 \pm 0,0010$ Вт/(м·К), через 10 лет составит $0,046 \pm 0,0012$ Вт/(м·К), через 15 лет составит $0,046 \pm 0,0011$ Вт/(м·К).

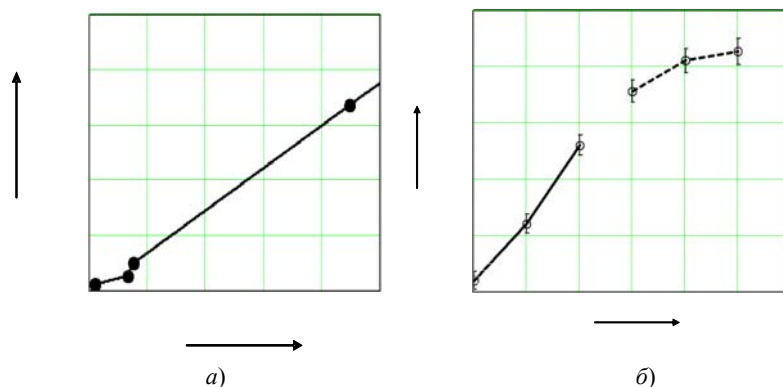


Рис. 1 0.04

На рис. 1, б) представлены экспериментальные значения теплопроводности испытуемых материалов сплошной линией, спрогнозированные – пунктирной, доверительные интервалы показаны T-образными скобками.

Проверка гипотезы о соответствии прогнозируемого значения доверительного интервала экспериментальным данным последовательно для каждого интервала прогноза показала, что первое прогнозируемое значение удовлетворяет заданному критерию: расхождение прогнозируемого значения доверительного интервала с зависимостью (рис. 1, а) составила 4,0 %, что меньше значения случайной погрешности измерений [1]. В других двух случаях погрешность составила 11,4 и 21,6 % соответственно, что больше заданного критерия.

При проведении технического обслуживания тепловой защиты (ТЗ) в момент времени t_{01} ТФС элемента ТЗ равны некоторому неслучайному исходному значению λ_0 . При дальнейшей эксплуатации системы ТЗ ТФС случайно изменяется, что можно представить полюсной случайной функцией времени $\lambda(t)$, все реализации которой проходят через одну неслучайную точку – «полюс» (λ_0, t_{01}). При очередном техническом обслуживании в момент времени t_{02} все элементы ТЗ заменяются на новые, соответственно опять устанавливается начальное значение ТФС параметра λ_0 и случайный процесс износа повторяется вновь.

Рассмотренный процесс износа аппроксимируется известной веерной функцией с нулевым начальным рассеиванием

$$\lambda(t) = \lambda_0 + \vartheta_t, \quad (1)$$

где ϑ – случайная скорость износа; t – время, отсчитываемое от момента проведения t_{0i} последнего технического обслуживания.

Аргумент ϑ модели (1) имеет усеченное нормальное распределение. Значения случайной скорости изменения ТФС ТЗ ограничены нижним ϑ_n и верхним ϑ_b пределами:

$$\vartheta \in [\vartheta_n, \vartheta_b] \text{ при } \vartheta_n, \vartheta_b > 0.$$

Тогда значения

$$\tilde{t}_1 = \frac{\lambda_n - \lambda_0}{\vartheta_b}, \quad \tilde{t}_2 = \frac{\lambda_n - \lambda_0}{\vartheta_n} \quad (2)$$

являются границами времени достижения некоторого значения λ_n , при достижении которого нарушается работоспособность ТЗ.

Оценка времени работоспособности $t_p = \tilde{t}_1 - \tilde{t}_2$ согласно (2) позволяет определить время сохранения работоспособности $t_c = t_p$ как интервал от момента последнего технического обслуживания ТЗ (принято $t_{0i} = 0$) до потери работоспособности. Оценив значение t_p , можно установить оптимальный, с точки зрения надежности, период технического обслуживания, связанный с заменой элементов ТЗ.

При техническом обслуживании (ТО), ориентированном на календарное время, при измерении значения ТФС элементов ТЗ в момент проведения профилактической работы t_{np} проверяем соотношение между t_{np} и t_p . При превышении установленного периода времени t_{np} расчетного значения t_p принимаем $t_{np} = t_p$.

В случае эксплуатации системы ТЗ в аэрокосмических аппаратах по состоянию необходимо производить прогноз изменения качества ТФС элементов ТЗ. Проведение профилактических работ по состоянию производится в момент времени $t_{\text{прс}}$, когда прогнозируемое $\lambda \geq \lambda_{\text{п}}$.

При $t_{\text{прс}} \geq t_{\text{пр}}$ допускается более длительный срок эксплуатации элементов ТЗ до достижения значения $\lambda_{\text{п}}$. Прогнозирование изменения состояния качества ТФС элементов ТЗ, при котором $t_{\text{прс}} < t_{\text{пр}}$, позволяет предотвратить аварийную ситуацию или катастрофу аэрокосмического аппарата.

В соответствии с ГОСТ 27.002–89 для ремонтпригодных объектов используются показатели надежности: коэффициент готовности и коэффициент технического использования. В соответствии с определением, коэффициент технического использования (КТИ) – это отношение математического ожидания суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период. Диагностирование повышает КТИ за счет уменьшения простоев из-за сокращения времени на поиски предельных повреждений; повышения средней наработки технологической системы из-за увеличения средней наработки до отказа элемента ТЗ [2].

Таким образом, использование средств технического диагностирования для контроля тепловой защиты аэрокосмического аппарата позволяет предупредить катастрофическую ситуацию.

Список литературы

1 Чудинов, Ю.В. Исследование нового метода контроля теплофизических свойств твердых материалов / Ю.В. Чудинов, А.И. Фесенко // Теплофизические измерения при контроле и управлении качеством : стендовый доклад Пятой международной теплофизической школы / ТГТУ. – Тамбов, 2004. – С. 277 – 278.

2 Синопальников, В.А. Надежность и диагностика технологических систем : учебник / В.А. Синопальников, С.Н. Григорьев. – М. : Высш. шк., 2005. – 343 с.

А.О. Дмитриев, С.О. Дмитриев

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ИНТЕГРИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ В ПРОЦЕССЕ ОТВЕРЖДЕНИЯ*

Информационно-измерительные системы (ИИС) на современном этапе все чаще становятся основным инструментом научных работников, исследователей и проектировщиков. Особенно актуальны ИИС при исследовании процессов и материалов, обладающих большим количеством измеряемых параметров и требующих получения и обработки больших объемов информации. Таким процессом является отверждение полимерных композиционных материалов (ПКМ) [1].

Полимерные композиты на основе термореактивных связующих в настоящее время являются одними из наиболее перспективных конструкционных материалов во многих областях современной техники. Это обстоятельство предъявляет повышенные требования к полноте и точности определения параметров математических моделей процесса отверждения ПКМ, а также к повышению эффективности научно-исследовательских работ. Поэтому актуальным является разработка метода для определения теплофизических, кинетических и реологических характеристик ПКМ в процессе отверждения, а также построение интегрированной ИИС как комплекса аппаратных средств, математического, алгоритмического, программного, информационного и организационного обеспечения [2].

Разработанная нами интегрированная ИИС процесса отверждения композитов реализует комплексный подход к автоматизации экспериментальных научных исследований. Система позволяет осуществить идентификацию параметров математических моделей и выбор оптимальных режимных параметров технологического процесса изготовления изделий из ПКМ горячего отверждения.

Аппаратно-техническое обеспечение интегрированной ИИС процесса отверждения ПКМ построено на базе персонального компьютера, позволяющего автоматически проводить все операции, связанные с проведением экспериментов и расчетом свойств ПКМ. Оно включает в себя измерительное устройство, блок предварительного усиления, блок питания и персональный компьютер со встроенными адаптерами аналогового ввода/вывода. Измерительное устройство, блоки усиления и питания являются специальной разработкой интегрированной ИИС. Структура построения интегрированной ИИС представлена на рис. 1.

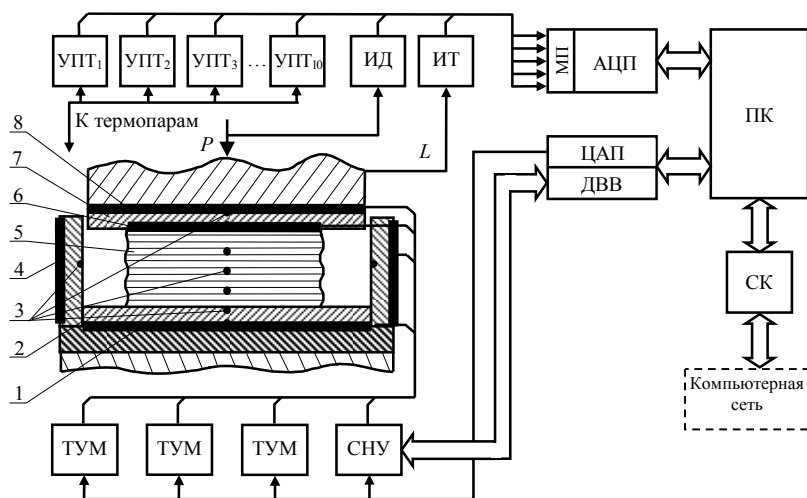


Рис. 1 Структурная схема интегрированной ИИС процесса отверждения ПКМ:

1 – нижний охранный нагреватель; 2 – подложка нижнего нагревателя; 3 – точки заделки термопар; 4 – боковой охранный нагреватель;

5 – исследуемый образец; 6 – основной нагреватель; 7 – подложка верхнего нагревателя; 8 – верхний охранный нагреватель; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ДВВ – дискретный ввод/вывод; ИТ – измеритель толщины; ИД – измеритель давления; МП – мультиплексор; ПК – персональный компьютер; СК – сетевая карта; СЧУ – стабилизатор напряжения управляемый; ТУМ – тиристорный усилитель мощности; УПТ – усилитель постоянного тока; ЦАП – цифроаналоговый преобразователь

Для проведения экспериментов по определению теплофизических характеристик композитов: объемной теплоемкости $C(T, \beta, \gamma)$, теплопроводности $\lambda(T, \beta, \gamma)$ в зависимости от температуры T , степени отверждения β и содержания связующего γ , а также мощности тепловыделений $W(t)$ и полного теплового эффекта Q_{Σ} , кинетических параметров, т.е. энергии активации процесса отверждения $E(\beta)$ и кинетической функции $\phi(\beta)$, а также реологических характеристик связующего, т.е. энергии активации вязкого течения E_{μ} и структурной составляющей вязкости $\tilde{\mu}(\beta)$, используется измерительное устройство ИИС.

Измерительное устройство ИИС построено по принципу калориметра и реометра сжатия, имеющего возможность соз-

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора С.В. Мищенко и д-ра техн. наук, профессора О.С. Дмитриева

дания и измерения давления на образец при его нагреве и отверждении, а также измерения его толщины во времени, что позволило в одном эксперименте совместно с теплофизическими и кинетическими характеристиками определять и реологические характеристики связующего при продольном течении. Для реализации однонаправленного переноса тепла в исследуемом образце, а также поддержания адиабатических условий и специального температурного режима нагрева в измерительном устройстве предусмотрены основной и три охранных адиабатических нагревателя. Для их управления в ИИС разработаны четыре цифровых автоматических ПИД-регулятора. С помощью аппаратного и программного обеспечения ИИС в измерительном устройстве организуется нагрев исследуемого образца и измеряются во времени следующие величины: время, напряжение нагревателя, температура в 2 ... 5 точках по толщине образца, толщина образца и давление на образец. Конструкция измерительного устройства позволяет проводить исследование образцов в диапазоне температур от 20 до 250 °С под давлением до 1 МПа в адиабатических условиях. Исследуемый образец представляет собой пластину размерами 100 × 100 × (5 ... 30) мм, набранную из отдельных слоев препрега с перекрестной укладкой волокон. Система предусматривает два режима нагрева исследуемого образца: с регулированием по плотности теплового потока (граничное условие второго рода) и температуре (граничное условие первого рода).

В процессе эксперимента интегрированная ИИС измеряет тепловой поток q_i , температуру T_{ij} в заданных точках i образца, толщину образца L_j , производит первичную обработку этой информации, осуществляет тестирование и контроль за работой системы. По окончании эксперимента производится расчет исследуемых характеристик. Полученные в процессе эксперимента теплофизические, кинетические и реологические характеристики ПКМ автоматически заносятся в интегрированный банк данных компьютера ИИС. Данные затем используются подсистемой САПР для определения оптимального режима отверждения изделий из ПКМ различной толщины.

Использование математических методов, моделей и алгоритмов позволило создать программное обеспечение и разработать удобный программный интерфейс пользователя [2]. Программное обеспечение ИИС процесса отверждения ПКМ состоит из двух основных частей, системного и прикладного программного обеспечения. Системное программное обеспечение включает в себя операционную систему и систему программирования. Прикладное программное обеспечение представляет собой комплекс программных модулей, выполняющих операции над экспериментальными данными. По типу решаемых задач все прикладное программное обеспечение подразделяется на следующие модули:

- программная оболочка – производит распределение данных от различных модулей в модуль ведения базы данных и обратно;
- модуль управления экспериментом – служит для ввода исходной информации об эксперименте, управления проведением эксперимента, сбора экспериментальной информации и вывода ее в базу данных;
- модули расчета – решают задачи определения теплофизических, кинетических и реологических характеристик на основе информации, полученной модулем управления экспериментом;
- модуль тестирования расчетных модулей – позволяет проводить имитационное моделирование с целью определения погрешностей модулей расчета и определения оптимальных условий проведения экспериментов;
- вспомогательные модули – включают в себя модуль ведения базы данных, модули коррекции экспериментальных данных, модуль просмотра и вывода информации.

С помощью интегрированной ИИС процесса отверждения исследовано большое количество различных ПКМ и рассчитаны оптимальные температурно-временные режимы отверждения изделий из композитов толщиной от 3 до 60 мм.

Список литературы

- 1 Дмитриев, А.О. Метод исследования параметров течения связующего при отверждении композитов / А.О. Дмитриев, С.В. Мищенко, О.С. Дмитриев // Вестник ТГТУ. – Тамбов, 2005. – Т. 11, № 1А. – С. 53–61.
- 2 Программное и алгоритмическое обеспечение интегрированной информационно-измерительной системы исследования и проектирования процесса отверждения полимерных композитов / С.В. Мищенко, О.С. Дмитриев, А.О. Дмитриев, И.С. Касатонов // Материалы Пятой междунар. теплофиз. школы «Теплофизические измерения при контроле и управлении качеством» / ТГТУ. – Тамбов, 2004. – Ч. 2. – С. 20 – 22.

**МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ПОЛИМЕРАХ**

При исследовании полимерных материалов (ПМ) важную роль приобретают методики, в которых значения физических свойств фиксируются в виде кривых в ходе изменения состояний полимерного образца в динамическом термическом режиме при нагреве (реже – при остывании). При исследованиях такого рода в полимере обнаруживаются: во-первых, закономерные изменения ряда свойств; во-вторых, агрегатные и фазовые превращения; в-третьих, ПМ проходит последовательно ряд состояний, характерных для определенного участка, либо для всей температурной области его существования. Состояния эти, как правило, неравновесны; степень неравновесности определяется природой, исходным состоянием и термической историей образца ПМ, значением температуры и скоростью ее изменения.

В политермических методах исследования температура выступает не только как термодинамический параметр состояния, но и как кинетический фактор, влияющий на течение свойственных ПМ релаксационных процессов, фазовых переходов и химических превращений. Влияние кинетических факторов можно выявить, проводя опыты с различными скоростями нагревания образца, при этом одна и та же температура достигается при разной длительности процесса. Следует особо отметить, что реализация постоянной скорости нагрева полимерного тела играет существенную роль при исследованиях релаксационных переходов в полимерных материалах.

В работе представлены описание и примеры реализации метода неразрушающего контроля (НК) температурно-временных характеристик структурных превращений в ПМ по аномалиям на зависимостях скорости изменения температуры в нескольких точках контроля, расположенных в плоскости контакта подложки измерительного зонда (ИЗ) с исследуемым телом (рис. 1). Тепловое воздействие на поверхность изделия осуществляется от круглого плоского нагревателя, встроенного в подложку ИЗ [1]. В ходе эксперимента регистрируется температура поверхности ПМ (термограмма) несколькими термоприемниками (ТП); определяется первая производная по времени от температуры, выражающая скорость (V^*) ее изменения. Постоянная скорость нагрева изделия в локальной области, расположенной вблизи нагревателя, реализуется с помощью информационно-измерительной системы [2].

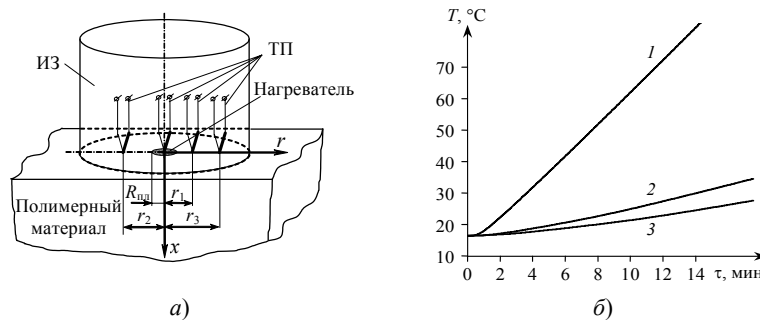


Рис. 1 Измерительная схема метода (а) и термограммы (б)

Для расчета текущих значений скорости V^* изменения температуры термограмма разбивается на интервалы с номерами точек $1 \dots k; 2 \dots k + 1; u - k + 1 \dots u$, где k – количество точек в интервале, целое положительное нечетное число ($k \geq 3$); u – количество точек в термограмме; i – номер интервала. Определение линии регрессии для каждого интервала проводится по методу наименьших квадратов. В качестве расчетного уравнения использовано уравнение линейной зависимости:

$$T_i = p_{1i} \tau + p_{0i}, \quad (1)$$

где

$$p_{1i} = \frac{k \left(\sum_{j=i-(k-1)/2}^{i+(k-1)/2} \tau_j T_j \right) - \left(\sum_{j=i-(k-1)/2}^{i+(k-1)/2} \tau_j \right) \left(\sum_{j=i-(k-1)/2}^{i+(k-1)/2} T_j \right)}{k \left(\sum_{j=i-(k-1)/2}^{i+(k-1)/2} (\tau_j)^2 \right) - \left(\sum_{j=i-(k-1)/2}^{i+(k-1)/2} \tau_j \right)^2} = V^*; \quad (2)$$

$$p_{0i} = \frac{\left(\sum_{j=i-(k-1)/2}^{i+(k-1)/2} T_j \right) \left(\sum_{j=i-(k-1)/2}^{i+(k-1)/2} (\tau_j)^2 \right) - \left(\sum_{j=i-(k-1)/2}^{i+(k-1)/2} \tau_j \right) \left(\sum_{j=i-(k-1)/2}^{i+(k-1)/2} \tau_j T_j \right)}{k \left(\sum_{j=i-(k-1)/2}^{i+(k-1)/2} (\tau_j)^2 \right) - \left(\sum_{j=i-(k-1)/2}^{i+(k-1)/2} \tau_j \right)^2}. \quad (3)$$

По линиям регрессии определяли скорости изменения температуры, которые относили к температуре T_s середины каждого интервала.

Для проверки работоспособности метода проведены исследования на изделии из политетрафторэтилена (ПТФЭ).

ПТФЭ претерпевает полиморфные превращения (переходы) при температурах, далеких от области плавления. При температуре ниже 19,6 °С элементарная ячейка ПТФЭ имеет триклиническую структуру.

В интервале от 19,6 до 30 °С существует гексагональная элементарная ячейка, выше 30 °С стабильной становится псевдогексагональная решетка. Теплоты переходов составляют соответственно: $4,0 \pm 0,5$ кДж/кг и $1,2 \pm 0,3$ кДж/кг.

На рис. 1, б представлены термограммы, полученные на изделии из ПТФЭ в области нагревателя (1), на расстояниях $r_1 = 7$ мм (2) и $r_2 = 9$ мм (3) от центра нагревателя при следующих условиях: начальная температура $T_n = 16,5$ °С; радиус нагревателя $R_{пл} = 4$ мм; временной шаг измерения температуры $\Delta t = 0,25$ с; скорость нагрева локальной области ПМ, расположенной под нагревателем, $V^* \approx 5$ К/мин. На термограммах (рис. 1, б) твердофазные переходы в ПТФЭ явно не проявились.

Зависимости $V^* = f(\tau)$, построенные по термограммам, представлены на рис. 2. На кривых 2 и 3 (рис. 2) после шестой и восьмой минут нагрева проявляются «структурочувствительные» свойства в области, в которой возможны твердофазные превращения ПТФЭ, сопровождающиеся тепловыми эффектами. Однако, по данным, представленным на рис. 2, трудно определить значение температуры (интервал температур), при которой происходит структурное превращение. Построение зависимостей $V^* = f(T_s)$ позволяет выявить это более точно по явным ступенькам на графиках.

На рис. 3 представлены зависимости $V^* = f(T_s)$, полученные на расстояниях $r_2 = 7$ мм (а) и $r_3 = 9$ мм (б) от центра нагревателя. Скорости нагрева ПТФЭ в области нагревателя: 1) $V^* \approx 9$ К/мин; 2) $V^* \approx 5,9$ К/мин; 3) $V^* \approx 5$ К/мин; 4) $V^* \approx 2,3$ К/мин. Структурный переход в ПТФЭ на всех кривых (1 – 4) проявился ступеньками приблизительно при одной и той же температуре (около 20 °С), что позволило идентифицировать его как твердофазный, а не релаксационный. В отличие от фазовых переходов, которые происходят при постоянных температурах, температура релаксационного перехода смещается в сторону более высоких значений с ростом скорости нагрева.

Таким образом, когда в ПМ в исследуемом диапазоне температур существуют структурные переходы, сопровождающиеся тепловыми эффектами, на зависимостях $V^* = f(\tau)$ и $V^* = f(T_s)$, полученных по предлагаемому методу, наблюдаются аномальные изменения скорости нагрева.

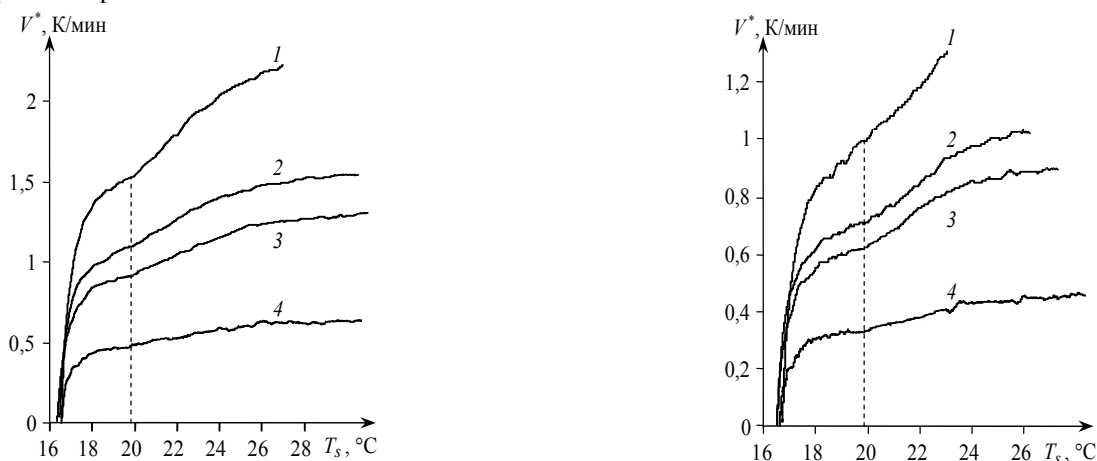


Рис. 3 Зависимости $V^* = f(T_s)$, полученные по термограммам, снятым на расстояниях $r_1 = 7$ мм (а) и $r_2 = 9$ мм (б) от центра нагревателя, при скоростях нагрева ПТФЭ в области нагревателя: 1 – $V^* \approx 9$ К/мин; 2 – $V^* \approx 5,9$ К/мин; 3 – $V^* \approx 5$ К/мин; 4 – $V^* \approx 2,3$ К/мин.

Список литературы

- 1 Пат. 2167412 РФ, G 01 N 25/18. Способ комплексного определения теплофизических свойств материалов / Жуков Н.П., Майникова Н.Ф., Муромцев Ю.Л., Рогов И.В. – № 99103718 ; заявл. 22.02.1999 ; опубл. 20.05.2001, Бюл № 14.
- 2 Майникова, Н.Ф. Измерительная система неразрушающего контроля структурных превращений в полимерных материалах / Н.Ф. Майникова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2006. – № 9. – С.45 – 48.

А.С. Чех, И.В. Рогов, Н.П. Жуков

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛА ОТ ЛИНЕЙНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ РЕАЛЬНОМУ ТЕПЛОВОМУ ПРОЦЕССУ

Измерительная схема метода неразрушающего контроля теплофизических свойств (НК ТФС) представлена на рис. 1. Тепловое воздействие на исследуемое тело с равномерным начальным температурным распределением осуществляется с помощью измерительного зонда, снабженного линейным импульсным нагревателем. В эксперименте фиксируется температура на заданном расстоянии r от нагревателя [1].

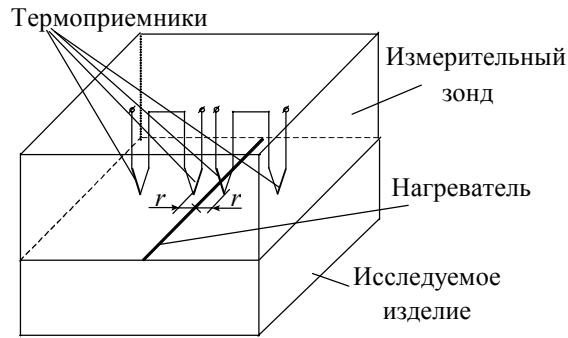


Рис. 1 Измерительная схема метода

Уравнение, описывающее изменение избыточной температуры в точке контроля, расположенной на расстоянии r от импульсного линейного нагревателя, для рабочего (II) участка термограммы имеет вид [1]:

$$T(r, \tau) \approx \frac{q}{2\pi\lambda} \left(\ln[\tau] + \ln[a] - \ln\left[\frac{r^2}{4}\right] - \gamma \right),$$

где T – избыточная температура; q – мощность, выделяющаяся на единицу длины нагревателя; r – расстояние от нагревателя до точки контроля; τ – время; λ – теплопроводность; a – температуропроводность; $\gamma \approx 0,5772$ – число Эйлера.

Адекватность математической модели распространения тепла от импульсного линейного нагревателя в полупространстве реальному тепловому процессу определяли с использованием численного моделирования температурных полей [2] методом конечных элементов (пакет программ ELCUT).

Определяли величину максимальной относительной погрешности значений температуры (δ_T), обусловленную различием значений, полученных в точке контроля поверхности исследуемого изделия численным моделированием и по математической модели. В качестве примера на рис. 2 представлены термограммы с выделенными рабочими участками для изделий из политетрафторэтилена (ПТФЭ) и фарфора, построенные по предлагаемой модели (кривые 1) и численным моделированием (кривые 2). Там же представлены зависимости $\delta_T = f(\tau)$ (кривые 3).

Термограммы для изделия из ПТФЭ (рис. 2, а) построены при следующих условиях: мощность на единицу длины нагревателя $q_0 = 20$ Вт/м; длительность импульса $\tau_0 = 2,95$ с; скважность импульсов $\Delta\tau = 3$ с; $\lambda = 0,25$ Вт/(м·К); $a = 1,08 \cdot 10^{-7}$ м²/с; $r = 0,0015$ м. Термограммы для изделия из фарфора (рис. 2, б) построены при условиях: $q_0 = 20$ Вт/м; $\tau_0 = 0,98$ с; $\Delta\tau = 1$ с; $\lambda = 1,04$ Вт/(м·К); $a = 3,98 \cdot 10^{-7}$ м²/с; $r = 0,001$ м.

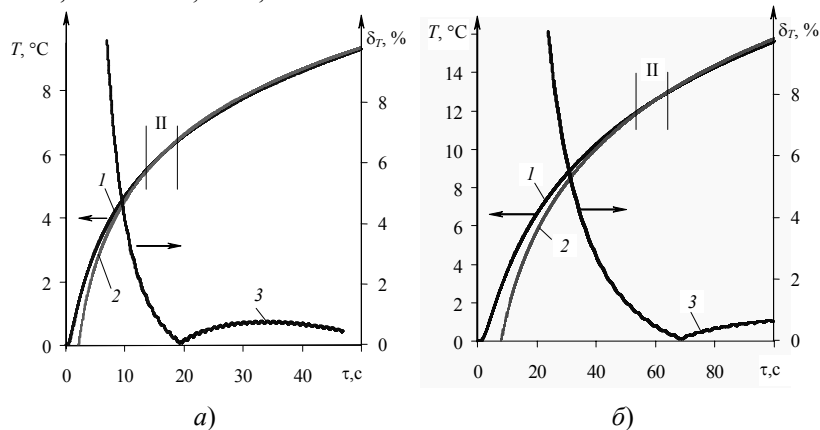


Рис. 2 Термограммы с выделенными рабочими участками (II).

Исследуемый материал: а – ПТФЭ; б – фарфор.

1 – расчеты выполнены численным моделированием;

2 – расчеты выполнены с использованием математической модели;

3 – зависимость $\delta_T = f(\tau)$

Относительная погрешность определения температуры δ_T , обусловленная различием разработанной математической модели распространения тепла и данных численного моделирования, не превысила 2 % на рабочем участке термограммы.

Представленные результаты позволяют рекомендовать применение математической модели, полученной для рабочего участка термограммы, в методе НК ТФС.

С целью определения оптимального расстояния r (расположения ближней точки контроля от нагревателя) была проведена серия экспериментов на образцах с различными значениями ТФС при реализации различных конструктивных и режимных параметров опытов.

В качестве примера на рис. 3 представлены зависимости максимальных относительных погрешностей δ_T значений температуры поверхности изделия, полученные по модели цилиндрического полупространства (для II участка термограммы) и численным моделированием, от расстояния r для ПТФЭ и фарфора [3].

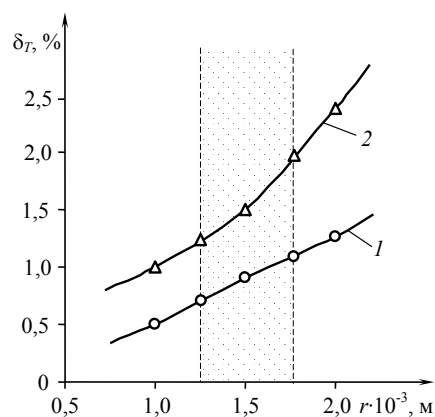


Рис. 3 Зависимости $\delta_T = f(r)$ на II участке термограмм для изделий:
1 – ПТФЭ; 2 – фарфор

На рис. 3 зависимости $\delta_T = f(r)$ для изделий из ПТФЭ были построены при следующих условиях: $q_0 = 20$ Вт/м; $\tau_0 = 2,95$ с; $\Delta\tau = 3$ с; $\lambda = 0,27$ Вт/(м · К); $a = 1,08 \cdot 10^{-7}$ м²/с. Условия построения зависимости $\delta_T = f(r)$ для изделий из фарфора: $q_0 = 20$ Вт/м; $\tau_0 = 0,98$ с; $\Delta\tau = 1$ с; $\lambda = 1,04$ Вт/(м · К); $a = 3,98 \cdot 10^{-7}$ м²/с.

Из данных рис. 3 следует, что рекомендуемое значение r находится в интервале $(1,25 \dots 1,75) \cdot 10^{-3}$ м (заштрихованная область). В данной области максимальное значение δ_T не превышает 2 %.

Список литературы

1 Пат. 2161301 РФ, G 01 N 25/18. Способ неразрушающего определения теплофизических свойств материалов / Жуков Н.П., Муромцев Ю.Л., Майникова Н.Ф., Рогов И.В., Балашов А.А. – № 99104568 ; заявл. 03.03.1999 ; опубл. 27.12.2000, Бюл № 36.

2 ELCUT: Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 5.1. Руководство пользователя. – СПб. : Производственный кооператив ТОР, 2003. – 249 с.

3 Жуков, Н.П. Многомодельные методы и средства неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов и изделий : монография / Н.П. Жуков, Н.Ф. Майникова. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 288 с.

А.В. Завьялов

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ВУЛКАНИЗАЦИИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ*

Традиционно резинотехнические изделия (РТИ) изготавливаются методом горячего прессования. По этой технологии изготавливают резинокордные изделия шинной промышленности, асбестофрикционные, металлорезиновые изделия и многое другое [1]. Изделия могут представлять собой как пластину, так и иметь конструкцию весьма сложной формы с металлическими или волокнистыми элементами.

Технология изготовления РТИ методом горячего прессования состоит из следующих операций. Вулканизируемую смесь укладывают в подогреваемую пресс-форму – матрицу, прижимают ее пуансоном и нагревают под определенным давлением. Основными процессами при изготовлении резинотехнических изделий методом горячего прессования являются теплоперенос и вулканизация смеси. Используемая при формовании оснастка должна полностью повторять форму будущего изделия, если формование его осуществляется в замкнутой пресс-форме. Причем качество получаемого изделия определяется не только технологическим температурно-временным режимом, но равномерностью температурного поля в изделии в процессе вулканизации. Поэтому к конструкции технологической оснастки, расположению в ней нагревателей и их мощности предъявляются особые требования.

В настоящее время при проектировании пресс-форм вулканизационных прессов инженеры пользуются приближенными тепловыми расчетами, которые не позволяют учитывать процессы химической кинетики вулканизируемого изделия. Это приводит к существенной неоднородности химических превращений по всему объему изделия и снижению качественных показателей. Поэтому актуальной является задача компьютерного моделирования температурных полей в технологической оснастке при вулканизации резинотехнических изделий совместно с этапом ее проектирования.

Для эффективного моделирования температурного поля пресс-формы и вулканизируемого изделия необходимо рассчитывать трехмерные модели сложной конструкции. Однако это не всегда целесообразно, так как конструкцию любой сложности можно привести к некоторой более простой форме и рассматривать, например, как цилиндры или диски различного диаметра, сложенные вместе, с различными свойствами, причем один из них химически реагирующий. Это приводит к необходимости решать систему двухмерных нелинейных дифференциальных уравнений теплопроводности с внутренними источниками тепла и дифференциального уравнения химической кинетики.

В основу решения системы уравнений теплопереноса и кинетики был положен итерационный поочередный метод решения уравнений системы. Нелинейное уравнение теплопроводности решали итерационным методом, и на каждой итерации был использован метод прогонки [2]. Необходимые для решения уравнения теплофизические свойства задавались экспериментально измеренными зависимостями от температуры, представляющими собой дискретные значения теплофизических характеристик на произвольной неравномерной температурной сетке.

Уравнение химической кинетики является обыкновенным дифференциальным уравнением, которое содержит дискретно заданные функции, что также требует их численного решения. Для решения дифференциальных уравнений кинетики был использован метод Рунге-Кутты четвертого порядка точности.

Полученные результаты и информационные модели температурных полей затем используются для коррекции конструкции технологической оснастки вулканизационных прессов.

Список литературы

1. Брагинский, В.А. Прессование / В.А. Брагинский. – Л. : Химия, 1979. – 171 с.
2. Калиткин, Н.Н. Численные методы / Н.Н. Калиткин. – М. : Наука, 1978. – 512 с.

И.Л. Коробова, И.А. Дьяков

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДСИСТЕМЫ СИНТЕЗА ТЕКСТА ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В современных системах автоматизированного проектирования технологических объектов подсистема синтеза текста имеет большое значение. Она может использоваться при создании диалоговых процедур общения между системой и человеком-специалистом для создания обоснованного технического задания; формирования системы объяснений в процессе принятия решений; формирования проектной документации и т.д.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора О.С. Дмитриева

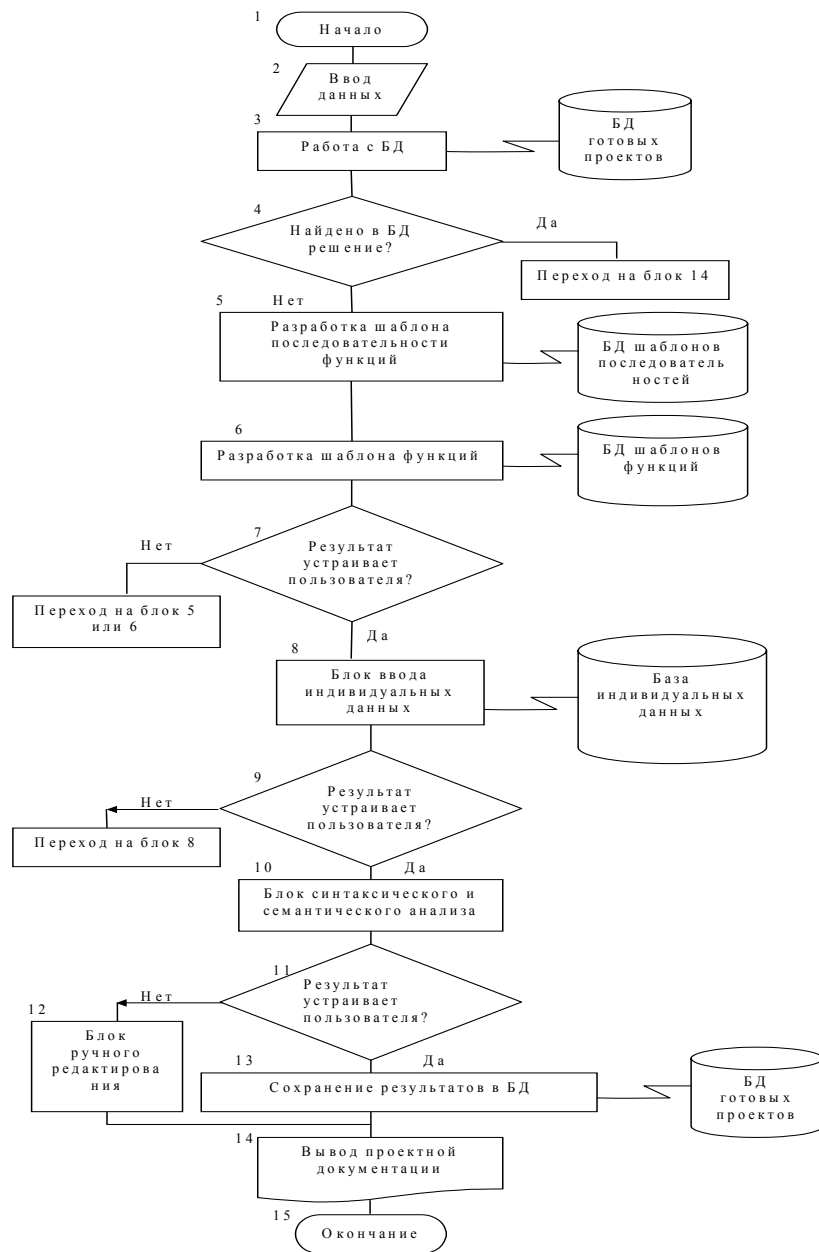


Рис. 1 Схема работы подсистемы синтеза текста



Рис. 2 Схема организации данных:

1 – Подсистема «Разработчик интерфейса»; 2 – Подсистема разработки шаблонов; 3 – Подсистема ввода и редактирования индивидуальных данных; ПП₁, ПП₂, ПП₃ – программы соответствующих подсистем

Работа подсистемы (рис. 1) осуществляется в диалоговом режиме.

Организация данных и их взаимодействие в подсистеме представлены централизованным фондом данных (рис. 2). База знаний фонда состоит из совокупности текстовых файлов данных. Подсистема «Интерфейс» осуществляет доступ подсистемы к базе знаний. Недостатком организации данных является сложность проектирования подсистемы «Интерфейс» подсистемой «Разработчик интерфейса». Достоинствами такой организации являются упрощение доступа к данным базы знаний с помощью подсистемы «Интерфейс»; отсутствие необходимости установки дополнительного специализированного программного обеспечения; компактность базы знаний.

При формировании базы знаний были использованы: база данных функций и примеров (списки функций и соответствующих примеров); база данных матриц (матрицы сюжетов, а также связей между примерами различных функций); база индивидуальных особенностей текста; база данных готовых проектов (состоит из базы проектов, базы данных шаблонов последовательности функций, шаблонов функций и базы индивидуальных данных).

Рассмотрим структуру элементов базы данных готовых проектов (рис. 3), связанных иерархической зависимостью.

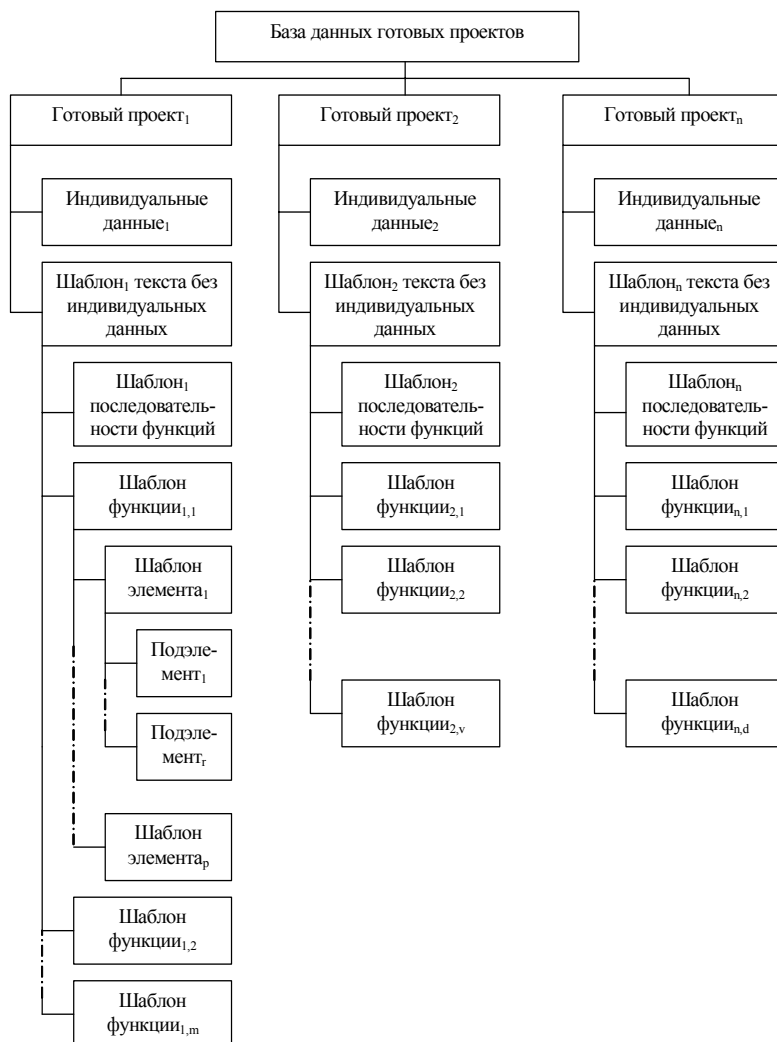


Рис. 3 Структура элементов базы данных готовых проектов

- Подэлемент данных состоит из полей: приоритет, название подэлемента, падеж, значение подэлемента.
- Элемент данных включает поля: приоритет, название элемента, возможность редактирования; состоит из совокупности подэлементов.
- Функция включает поля: название функции, название примера функции; состоит из совокупности элементов.
- Последовательность функций – список порядка следования функций в тексте.
- Шаблон текста без индивидуальных данных – шаблон последовательности функций с заполненными шаблонами функций, элементов функций и частично подэлементов; не содержит индивидуальные данные.
- Индивидуальные данные – включают поля: род, число, время (если есть), имя существительное (или имя прилагательное, глагол, другое), номенклатура, характерные особенности.
- Шаблон готового проекта – шаблон последовательности функций с заполненными шаблонами функций, элементов функций и подэлементов; содержит индивидуальные данные; должен пройти синтаксический и семантический анализ.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Измерительная система (ИС) реализует алгоритмы управления режимами эксперимента, неразрушающего определения теплофизических свойств (ТФС), неразрушающего контроля температурных характеристик структурных переходов в полимерных материалах (ПМ) [1, 2]. Алгоритм обработки данных эксперимента предусматривает определение вида структурного перехода (фазовый или релаксационный), а также определение закона движения границы фазового перехода (ФП) в полимерном объекте исследования.

Работоспособность ИС, оперативность и достоверность получаемой с ее помощью информации подтверждены при исследованиях твердофазных полиморфных и релаксационных переходов в политетрафторэтилене, коксонаполненном политетрафторэтилене, полиметилметакрилате, полистироле, полиэтилене и в полиамидах – поликапроамиде и капролоне.

ИС (рис. 1) состоит из персонального компьютера (ПК), встраиваемой в компьютер измерительно-управляющей платы PCI-1202H, сменных измерительных зондов (ИЗ), регулируемого блока питания (БП). Зонд обеспечивает создание теплового воздействия на исследуемое изделие, фиксирование температуры в заданных точках контроля термoeлектрическими преобразователями (ТП). При измерениях ИЗ устанавливают контактной стороной на поверхность исследуемого изделия. Тепловое воздействие осуществляется с помощью нагревателя (Н), выполненного в виде диска и встроенного в подложку ИЗ. Мощность и длительность теплового воздействия БП задаются программно через интерфейс (И), контроллер К1, цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).

Алгоритм контроля за ходом эксперимента и обработка экспериментальных данных осуществляются согласно схеме, представленной на рис. 2. Основные операции выделены укрупненными блоками: А, В, С, D, E, F, G, L.

Блок А. Осуществляется активная стадия проведения эксперимента, которая включает: термостатирование, тепловое воздействие на исследуемое изделие, фиксирование температурных откликов, отключение нагревателя при оптимальной температуре, фиксирование температурных откликов на стадии остывания, контроль времени окончания измерения.

Блок В. Обработка экспериментальных данных НК ТФС [1, 2]. Выделяются рабочие участки термограмм на основе статистического критерия Дарбина-Ватсона. По методу наименьших квадратов оцениваются параметры моделей, описывающих рабочие участки термограмм. Рассчитываются значения ТФС (тепловой активности ε , теплопроводности λ , теплоемкости c , температуропроводности a) по каждому каналу [1, 2]. Определяются погрешности оценки параметров моделей. Рассчитываются оценки погрешностей определения ТФС. Осуществляется самоконтроль результатов.

Блок С. Обработка данных при НК структурных переходов по модели плоского полупространства [1]. По аномальным изменениям ряда параметров математической модели от времени и температуры (без предварительной калибровки ИС) определяются температурно-временные характеристики структурного превращения в ПМ.

Блок D. Обработка данных при НК структурных переходов в ПМ по модели плоского полупространства [1] с учетом калибровочных экспериментов на образцовых мерах ТФС. Температурно-временные характеристики структурного превращения определяют по аномальным изменениям значений тепловой активности с ростом температуры.

Блок E. Обработка данных при НК структурных переходов в ПМ по модели сферического полупространства [2] без предварительной калибровки ИС. По аномальным изменениям ряда параметров математической модели от времени и температуры определяются температурно-временные характеристики структурного превращения в ПМ.

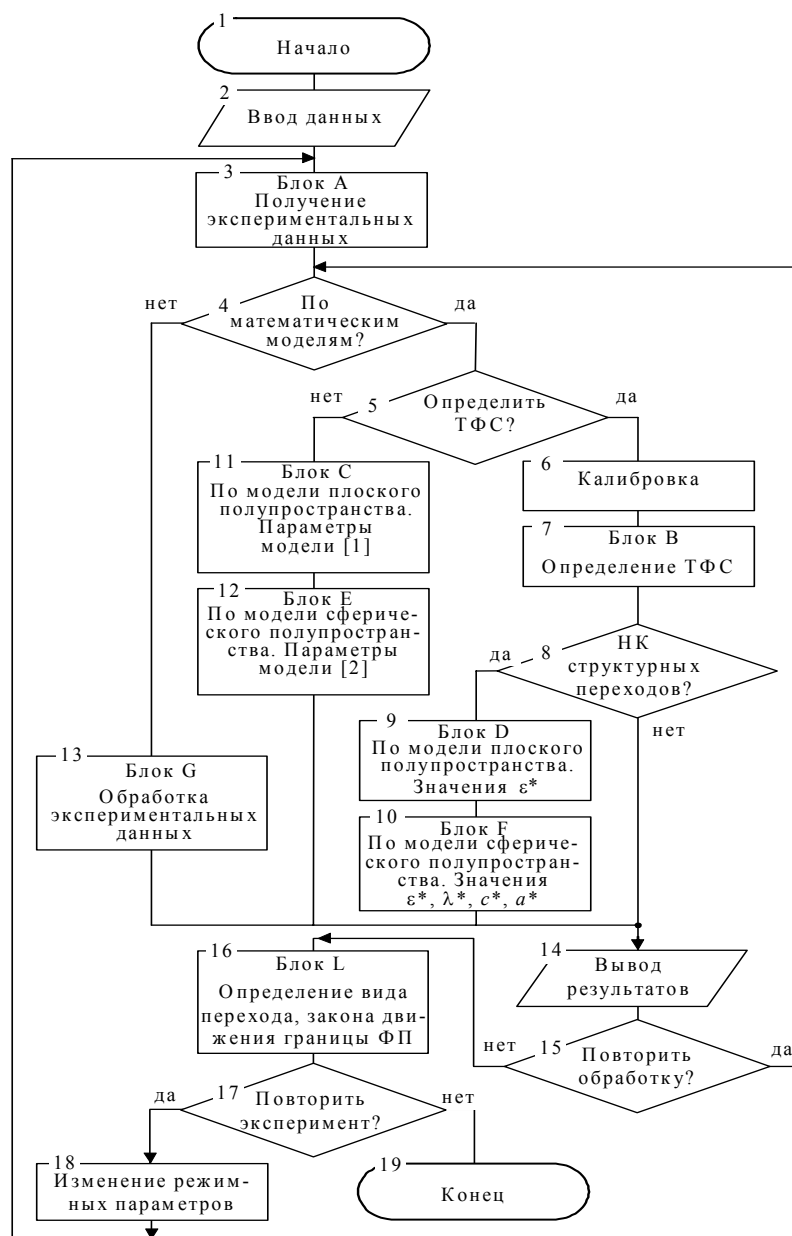


Рис. 2 Алгоритм контроля за ходом эксперимента и обработка экспериментальных данных

Блок F. Обработка данных при НК структурных переходов по модели сферического полупространства [2] с учетом калибровочных экспериментов на образцовых мерах ТФС. Температурно-временные характеристики структурного превращения определяют по аномальным изменениям значений тепловой активности (ϵ^*), теплоемкости (c^*), теплопроводности (λ^*), температуропроводности (a^*) с ростом температуры.

Блок G. Обработка данных при НК структурных переходов. Строятся термограммы, графики зависимостей первой производной по времени от основной величины – температуры в нескольких точках контроля исследуемого ПМ в динамических режимах нагрева и остывания. Анализ построенных зависимостей.

Блок L. Определение вида перехода (фазовый или релаксационный). Определение закона движения границы ФП.

Результаты экспериментальной проверки работы ИС, реализующей методы НК ТФС и определения температурно-временных характеристик структурных превращений в ПМ, представлены в работах [1 – 3].

На разработанное программное обеспечение ИС, реализующее методы неразрушающего теплофизического контроля ПМ, получены свидетельства об официальной регистрации программ [4 – 8].

Список литературы

- 1 Балашов, А.А. Информационно-измерительная система неразрушающего контроля температурных характеристик структурных переходов в полимерных материалах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.11.16 / А.А. Балашов. – Тамбов, 2005. – 16 с.
- 2 Чех, А.С. Метод и автоматизированная система неразрушающего контроля температурно-временных характеристик структурных превращений в полимерных материалах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.11.13 / А.С. Чех. – Тамбов, 2004. – 16 с.
- 3 Жуков, Н.П. Многомодельные методы и средства неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов и изделий : монография / Н.П. Жуков, Н.Ф. Майникова. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 288 с.

- 4 Свидетельство об официальной регистрации программы № 2003610580. Определение тепловой активности / Н.П. Жуков и др.
- 5 Свидетельство об официальной регистрации программы № 2003610931. Определение ТФС / Н.П. Жуков и др.
- 6 Свидетельство об официальной регистрации программы № 2003610932. Регистрация аномалий тепловой активности материалов / Н.П. Жуков, Н.Ф. Майникова, А.С. Чех, А.А. Балашов.
- 7 Свидетельство об официальной регистрации программы № 2003611204. Регистрация аномалий ТФС / Н.П. Жуков и др.
- 8 Свидетельство об официальной регистрации программы № 2006612383. Построение термограмм в методе НК / Н.П. Жуков, Н.Ф. Майникова, И.В. Рогов С.С. Никулин.

З.М. Селиванова, Ияд Ахмад Ибрахим

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПАРТНЕРСТВА ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Эффективное стратегическое партнерство (СП) достигается путем объединения интеллектуального потенциала, материальных, финансовых и корпоративных ресурсов партнеров. При разработке информационной модели необходимо структурировать имеющуюся и поступающую информацию по обеспечению деятельности стратегических партнеров. Для обеспечения стратегического партнерства при разработке и эксплуатации информационно-измерительных систем контроля следует создать информационное поле СП и соответствующую базу знаний (БЗ).

Для повышения эффективности работы партнеров следует постоянно совершенствовать и пополнять информационное поле базы знаний стратегического партнерства достоверной и новейшей информацией по разработке информационно-измерительных систем контроля из внутренней и внешней среды общения в настоящее время и на перспективное сотрудничество с учетом временной направленности стратегии. Только при таком подходе, ориентированном на повышение эффективности функционирования предприятий-партнеров, возможен оптимальный вариант стратегического партнерства. При разработке информационно-измерительных систем контроля теплофизических свойств материалов (ТФСМ) партнерами могут быть предприятия-изготовители различных строительных, теплоизоляционных, полимерных и других материалов и организация-разработчик, например, Тамбовский государственный технический университет, в котором могут быть разработаны и изготовлены информационно-измерительные системы для контроля свойств материалов.

В информационной модели отражены сведения эксперта и партнера, который должен получить сведения об оптимальном стратегическом партнере. База знаний содержит сведения о возможных стратегических партнерах, условиях сотрудничества, целях СП, видах и стратегиях СП, возможных проблемных ситуациях и критериях оценки эффективности СП для рассматриваемых предметных областей, стратегий СП. Кроме того, в БЗ формируется информация, необходимая для реализации измерительных процедур по определению ТФСМ, метрологического анализа результатов измерения, моделей исследуемых объектов, измерительных ситуаций и др. Пользователь может сообщить информацию из области экспертизы в конкретной ситуации. Эксперт сообщает дополнительные известные ему сведения о партнерах и условиях сотрудничества.

В процессе поиска решений по выбору оптимального партнера информация из БЗ поступает в компьютер и осуществляется взаимный обмен информацией для принятия решений. Информация из БЗ о стратегических партнерах поступает также в блок принятия решений, который выдает рекомендации о выборе оптимального варианта стратегического партнерства с использованием информационной ситуации, сформированной экспертом, сведениями из базы знаний и полученными от партнера-пользователя.

На основе созданного информационного поля формируются требования к объекту моделирования и составляется информационная модель стратегического партнерства. Модель СП формально представлена следующим кортежем множеств:

$$M_{СП} = \langle V_{Ц}, V_{ИО}, V_{УС}, V_{СП}, V_{ПС}, V_{ОЭ}, V_{ВСП}, V_{ССП}, V_{Э} \rangle,$$

где $V_{Ц}$ – множество целей стратегического партнерства; $V_{ИО}$ – множество информационного обеспечения при создании стратегического партнерства; $V_{УС}$ – множество условий сотрудничества при формировании СП; $V_{СП}$ – множество сведений о стратегических партнерах; $V_{ПС}$ – множество проблемных ситуаций при СП; $V_{ОЭ}$ – множество критериев оценки эффективности СП; $V_{ВСП}$ – множество видов стратегического партнерства; $V_{ССП}$ – множество стратегий функционирования при СП; $V_{Э}$ – множество сведений эксперта.

Предложенная информационная модель стратегического партнерства наиболее полно отражает информационную ситуацию при выборе оптимального варианта стратегического партнерства в условиях неопределенности для достижения цели СП – улучшения технических характеристик и уменьшения стоимости информационно-измерительных систем контроля свойств материалов.

ЗАДАЧА ВЫБОРА МЕТОДА КОНТРОЛЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Эффективность функционирования интеллектуальных информационно-измерительных систем (ИИИС) контроля свойств материалов (СМ) во многом определяется используемым методом получения и обработки измерительной информации.

В зависимости от характеристик исследуемых материалов (ИМ), условий, при которых производятся измерения, требований, предъявляемых к точности и быстродействию проводимых измерений, накладываемых ограничений и ряда других факторов в каждой конкретной ситуации целесообразно использовать тот или иной метод. Значения многих факторов, влияющих на выбор метода, достоверно не известны. Поэтому выбор наиболее рационального метода контроля представляет собой сложную задачу, решаемую в условиях неопределенности.

В достаточно общем виде задача выбора метода контроля формулируется следующим образом.

Задаются:

– множество сведений о свойствах (признаках) исследуемого материала (теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость, плотность и др.)

$$V_{\tilde{n}\tilde{a}} = \{V_s^{\tilde{n}\tilde{a}}, s = 1, \dots, k_{\tilde{n}\tilde{a}}\}; \quad (1)$$

– множество требований к геометрическим размерам ИМ

$$V_{\tilde{o}\tilde{o}} = \{V_i^{\tilde{o}\tilde{o}}, V_{i\tilde{a}\tilde{e}}^{\tilde{o}\tilde{o}}, V_{\tilde{o}}^{\tilde{o}\tilde{o}}\}, \quad (2)$$

где $V_i^{\tilde{o}\tilde{o}}$ – нормальные размеры ИМ; $V_{i\tilde{a}\tilde{e}}^{\tilde{o}\tilde{o}}$ – малые размеры ИМ; $V_{\tilde{o}}^{\tilde{o}\tilde{o}}$ – форма ИМ;

– множество сведений о дестабилизирующих факторах (ДФ)

$$V_{\tilde{A}\tilde{O}} = \{V_i^{\tilde{A}\tilde{O}}, V_{\tilde{n}\tilde{o}}^{\tilde{A}\tilde{O}}, V_{\tilde{a}}^{\tilde{A}\tilde{O}}\}, \quad (3)$$

где $V_i^{\tilde{A}\tilde{O}}$ – низкий уровень ДФ; $V_{\tilde{n}\tilde{o}}^{\tilde{A}\tilde{O}}$ – средний уровень ДФ; $V_{\tilde{a}}^{\tilde{A}\tilde{O}}$ – высокий уровень ДФ;

– множество уровней определенности (достоверности) информации об ИМ

$$V_{i\tilde{r}\tilde{o}} = \{V_{\tilde{a}\tilde{o}}^i, V_{i\tilde{a}\tilde{r}\tilde{o}}^i, V_{i\tilde{a}\tilde{e}}^i\}, \quad (4)$$

где $V_{\tilde{a}\tilde{o}}^i$ – детерминированная информация; $V_{i\tilde{a}\tilde{r}\tilde{o}}^i$ – неопределенная информация; $V_{i\tilde{a}\tilde{e}}^i$ – нечеткая информация;

– множество методов, которые могут быть, использованы ИИИС (импульсные методы с линейным и плоским нагревателями, метод с плоским нагревателем и постоянным нагревом)

$$V_i = \{V_i^i, i = 1, \dots, k_i\}, \quad (5)$$

где V_i^i – i -й метод контроля.

На основе конкретизации данных (1) – (4) требуется определить метод контроля $V_i^i \in V_i$, соответствующий этим данным.

Следует заметить, что множества $V_{\tilde{n}\tilde{a}}$, $V_{\tilde{o}\tilde{o}}$, $V_{i\tilde{r}\tilde{o}}$ являются компонентами модели $M_{\tilde{E}\tilde{I}}$, $V_{\tilde{A}\tilde{O}}$ – модели $M_{\tilde{A}\tilde{O}}$, V_i – модели M_i .

Данная общая задача включает ряд частных задач: разработка структуры множества измерительных ситуаций H , построение модели «измерительная ситуация – метод контроля» (ИС – МК), идентификация измерительной ситуации и выбор метода контроля. Первые две задачи решаются в процессе разработки базы знаний (БЗ) ИИИС, две вторые непосредственно перед проведением измерений.

Множество H формируется с использованием декартова произведения множеств (1) – (4), т.е.

$$H = V_{\tilde{n}\tilde{a}} \times V_{\tilde{o}\tilde{o}} \times V_{\tilde{A}\tilde{O}} \times V_{i\tilde{r}\tilde{o}} = \{h_{i,j,n,m}, i = \overline{1, k}; j \in \{\tilde{i}, \tilde{i}, \tilde{o}\}, \quad (6)$$

$$n \in \{\tilde{i}, \tilde{n}\tilde{o}, \tilde{a}\}, m \in \{\tilde{a}\tilde{a}\tilde{o}, \tilde{i}\tilde{a}\tilde{r}\tilde{o}, \tilde{i}\tilde{a}\tilde{e}\}\}.$$

По существу элементами $h_{i,j,n,m}$ множества H являются измерительные ситуации, задаваемые кортежами длины четыре

$$h_{i,j,n,m} = \langle V_i^{\tilde{n}\tilde{a}} \times V_j^{\tilde{o}\tilde{o}} \times V_n^{\tilde{A}\tilde{O}} \times V_m^{i\tilde{r}\tilde{o}} \rangle.$$

Следует заметить, что в процессе эксплуатации ИИИС множество (6) может корректироваться как вследствие изменения номенклатуры множеств (1) – (5), так и состава этих множеств.

Построение модели ИС – МК предполагает выделение в множестве \mathbf{H} подмножеств $H_i, i = \overline{1, k}$ таких, что для них выполняются условия:

– пересечение любой пары подмножеств $H_i \subset \mathbf{H}, H_j \subset \mathbf{H}$ есть пустое множество, т.е.

$$H_i \cap H_j = \emptyset, i, j = \overline{1, k}, i \neq j; \quad (7)$$

– любая измерительная ситуация $h_{i, j, n, m}$ является элементом одного из подмножеств $H_i, i = \overline{1, k}$, т.е.

$$\bigcap_{i=1}^k H_i = \mathbf{H}; \quad (8)$$

– для каждого подмножества H_i целесообразно использовать один конкретный метод контроля V_i^1 .

Условия (7), (8) означают, что решается задача разбиения множества \mathbf{H} на k непересекающихся подмножеств.

Важная особенность этой частной задачи заключается в следующем. В реальных ситуациях может оказаться, что для какого-нибудь из множеств (1) – (4) невозможно будет выделить один единственный элемент. Например, в множестве $V_{\Delta\dot{O}}$ часть дестабилизирующих факторов относится к категории $V_{i, \Delta\dot{O}}^{\Delta\dot{O}}$, а другая – к $V_{\dot{n}\dot{o}}^{\Delta\dot{O}}$. В этом случае $V_{\Delta\dot{O}}$ дополняется еще одним элементом $V_{i, \dot{n}\dot{o}}^{\Delta\dot{O}}$.

В результате такого разделения множества \mathbf{H} разрабатывается модель ИС – МК в форме системы процедурных правил:

$$\begin{aligned} \text{ЕСЛИ } h_{i, j, n, m} \in H_1, \text{ ТО использовать метод контроля } V_1^1, & \dots \dots \dots \\ \text{ЕСЛИ } h_{i, j, n, m} \in H_k, \text{ ТО использовать метод контроля } V_k^1. & \dots \dots \dots \end{aligned} \quad (9)$$

При решении задачи разбиения и формирования системы правил (9) могут использоваться различные критерии – погрешность измерения, быстродействие, комплексные показатели. Поэтому в БЗ содержится информация для различных вариантов решения задачи разбиения. Наличие этой информации позволяет оперативно определять целесообразный метод контроля в процессе эксплуатации ИИИС.

Наряду с общей задачей выбора метода контроля при проектировании ИИИС контроля СМ решаются следующие задачи:

- формирование группы (набора) методов для БЗ ИИИС без учета имеющихся в составе системы измерительных зондов (ИЗ) (задача ФМ1);
- формирование группы методов для БЗ ИИИС с учетом содержащихся в системе измерительных зондов (задача ФМ2). Задача ФМ1 формулируется следующим образом.

На основе известной информации об исследуемых материалах (1), (2), условиях измерений (3), имеющихся в распоряжении проектировщика методов (5), допустимых значений погрешности измерения $\Delta Y_{\dot{a}i1}$ и быстродействия $\Delta T_{\dot{a}i1}$ требуется сформировать подмножество $V_i^1 \subseteq V_i$, которое обеспечит выполнение ограничений на показатели точности и быстродействия свойств материалов, т.е.

$$\Delta Y(V_i^1/V_{\dot{n}\dot{a}}, V_{\dot{o}\dot{o}}, V_{\Delta\dot{O}}) \leq \Delta Y_{\dot{a}i1}; \quad (10)$$

$$\Delta T(V_i^1/V_{\dot{n}\dot{a}}, V_{\dot{o}\dot{o}}, V_{\Delta\dot{O}}) \leq \Delta T_{\dot{a}i1}, \quad (11)$$

где $\Delta Y(V_i^1/V_{\dot{n}\dot{a}}, V_{\dot{o}\dot{o}}, V_{\Delta\dot{O}})$, $\Delta T(V_i^1/V_{\dot{n}\dot{a}}, V_{\dot{o}\dot{o}}, V_{\Delta\dot{O}})$ – соответственно погрешность и быстродействие, которые обеспечиваются группой методов V_i^1 при возможных $V_{\dot{n}\dot{a}}, V_{\dot{o}\dot{o}}$ и $V_{\Delta\dot{O}}$.

Задача ФМ2 отличается от задачи ФМ1 тем, что накладывается дополнительное ограничение на число используемых ИИС измерительных зондов $N_{\dot{E}\dot{C}}$. В этом случае в неравенствах (10), (11) погрешность и быстродействие записываются в виде

$$\Delta Y(V_i^1/V_{\dot{n}\dot{a}}, V_{\dot{o}\dot{o}}, V_{\Delta\dot{O}}, N_{\dot{E}\dot{C}}), \Delta T(V_i^1/V_{\dot{n}\dot{a}}, V_{\dot{o}\dot{o}}, V_{\Delta\dot{O}}, N_{\dot{E}\dot{C}}).$$

Следует заметить, что в рассмотренных задачах выбора метода и формирования группы методов под элементом $V_i^1 \in V_i$ понимается метод определения свойств материалов в широком смысле. Составляющими этого метода являются, во-первых, некоторый физический способ, заключающийся в тепловом воздействии на исследуемый материал и получении данных о свойствах на основе известных фундаментальных законов, во-вторых, метод обработки измерительной информации с целью повышения точности и достоверности определяемых параметров, что позволяет повысить эффективность функционирования ИИИС контроля свойств материалов.

Секция 4

**МЕТРОЛОГИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ
КАЧЕСТВОМ**

А.В. Авдеев, Д.С. Начинов, А.А. Авдеева

ОАО Научно исследовательский институт сельскохозяйственного машиностроения имени В.П. Горячкина (ОАО ВИСХОМ) (г. Москва)

**ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ТЕРМОРЕЖИМОВ СУШКИ ЗЕРНА ВЫСОКОЙ ВЛАЖНОСТИ
В ПЛОТНОМ НЕПОДВИЖНОМ И ГРАВИТАЦИОННО ПЕРЕМЕЩАЕМОМ СЛОЯХ**

Известно, что эффективная работа зерносушилок должна протекать при оптимальных термотехнологических режимах и приемах сушки, т.е. при таких параметрах, которые обеспечивают наибольшую производительность сушилки при минимальных затратах тепла и полном сохранении качества высушиваемого зерна. В работах специалистов ВИСХОМа [1 – 3] было показано, что характер протекания процесса сушки значительно изменяется при переходе от единичного зерна к элементарному слою (в одно зерно) и тем более толстому зерновому слою. При этом ряд исследователей [4 – 9] отмечают существенную роль внешнего теплообмена при сушке в слое, в результате чего повышение скорости агента сушки увеличивает скорость сушки. Применение на практике аналитических уравнений, описывающих такой процесс, затруднено из-за сложности математических выкладок и необходимости определения экспериментальным путем большого количества коэффициентов, учитывающих влияние различных факторов на процесс. Поэтому некоторые специалисты предлагают упрощенные методы расчета с использованием графических зависимостей или номограмм [2, 10, 11 и др.].

Так, в основе методики графоаналитического расчета, приведенной в работе [2], использованы исследования температурных режимов сушки зерна исходной влажностью до 20 %. Повышение функциональных возможностей этой методики было осуществлено за счет опытов сушки зерна пшеницы исходной влажностью более 22 %. При этом в методику было внесено ограничение по температуре максимального нагрева зерна. Оно вызвано тем, что при интенсификации процесса сушки за счет температуры теплоносителя возникает необратимое снижение качественных показателей и увеличение биологических потерь зерна от его пересушки и перегрева. Данная методика разработана для определения терморезимов сушки пшеницы в конвективных шахтных с коробами зерносушилках, в которых обезвоживание зерна можно осуществлять в плотном неподвижном и вертикальном гравитационно перемещаемом слоях.

В разработанной методике принято, что производительность шахтной сушилки с коробами обратно пропорциональна времени и прямо пропорциональна величине скорости сушки N_o , которую можно представить зависимостью:

$$N_o = \frac{100L(J_1 - J_0)}{q_T}, \text{ \%}/\text{ч}, \quad (1)$$

где q_T – удельный расход тепла при 100 %-ном насыщении агента сушки влагой, ккал/кг; L – массовый удельный расход теплоносителя на 1 кг сухой массы воздуха, кг/кг·ч; J_0 и J_1 – теплосодержание теплоносителя до и после прохождения зерновой массы, ккал/кг.

$$L = \frac{3600\gamma v F}{G_{\text{сух}}}, \text{ кг}/\text{кг} \cdot \text{ч}, \quad (2)$$

где F – площадь подвода теплоносителя в зерновую массу, м²; $G_{\text{сух}}$ – сухая масса материала, кг; γv – массовая скорость теплоносителя в пересчете на массу сухого воздуха, кг/м²·с.

Зависимость (1) отражает условия работы зерносушилки при 100 %-ном насыщении отработанного агента сушки. Практическая реализация данного состояния теплоносителя возможна при использовании охлаждающей зоны в качестве сушильной, а охлаждение зерна после сушки осуществлять в вентилируемых емкостях или зернохранилищах. Такой прием сушки зерна нашел распространение во Франции и США под названием «Драйэрейшин». Испытания зерносушилки СБВС-5 на Кировской МИС показали, что при осуществлении процесса сушки зерна по этой технологии энергетические затраты снижаются почти на 20 % по отношению к общепринятой. В этой связи целесообразно в шахтных зерносушилках с коробами использовать максимальную производительность, которую можно получить при работе всей шахты в режиме сушки, т.е. при переводе зоны охлаждения в зону сушки. Такой подход к процессу сушки положительно подтвержден государственными испытаниями сушилки С-20 на Кировской МИС.

В работе [2] рассмотрены возможные расходы тепла в теоретической сушилке (100 %-ное насыщение теплоносителя) в зависимости от параметров процесса сушки (рис. 1). Из графических зависимостей видно, что в диапазоне температур агента сушки t 70 ... 150 °С величина q_T изменяется в пределах от 740 до 810 ккал на 1 кг испаренной влаги, т.е. менее чем на 10 %. Отсюда можно заключить, что производительность сушилки в основном зависит от величины q_T , входящей в знаменатель выражения (1), и пропорциональна интенсивности теплоснабжения слоя Q :

$$Q = L(J_1 - J_0), \text{ ккал}/\text{кг} \cdot \text{ч}, \quad (3)$$

увеличению, которое может быть достигнуто путем повышения удельной подачи или температуры теплоносителя. В работах [2, 5 и др.] показано, что оптимальная величина удельной подачи теплоносителя в шахтных зерносушилках с коробами должна составлять $L = 8...10$ кг/кг·ч. Однако практика эксплуатации отечественных зерносушилок показала, что в них такая подача находится в пределах 4...6 кг/кг·ч. Увеличение подачи ограничивает вынос зерна из коробов. Результаты известных иссле-

дований свидетельствуют также о том, что повышение экспозиции и температуры теплоносителя может привести к увеличению температуры нагрева зерна выше предельно допустимой, что существенно влияет на снижение качества зерна (всхожесть и энергию прорастания).

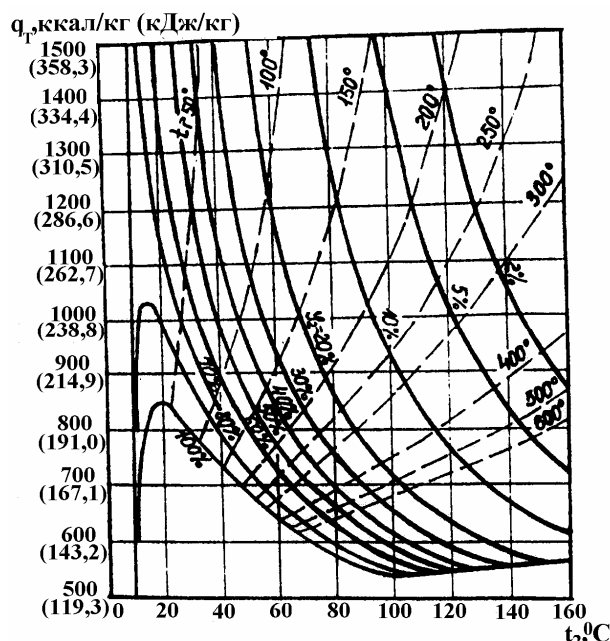


Рис. 1 Зависимость удельного расхода тепла в теоретической сушилке от параметров процесса сушки (по Фрегеру Ю.Л. [2]):

q_T – удельный расход тепла; t_1 – температура теплоносителя; t_2 – температура отработанного теплоносителя; φ_2 – влагонасыщение отработанного теплоносителя

С учетом отмеченного зависимости (1) – (3) были положены в основу разработки номограммы для определения эффективных режимов работы шахтных с коробами сушилок. При этом зависимости удельного расхода тепла $q_T = f(t_1)$ и времени сушки $\tau = f(t_1)$ от температуры теплоносителя (агента сушки), при влагонасыщении с 25 до 15 %, получены с помощью графических зависимостей (по Фрегеру Ю.Л.) удельного расхода тепла и экспозиции от параметров процесса сушки. Ограничения предельно допустимых температур нагрева зерна от времени сушки $\theta_{\text{доп}} = f(\tau)$ при его влажности 15, 25 и 35 % строились по известной формуле С.Д. Птицына:

$$\theta_{\text{доп}} = \frac{2350}{0,37(100 - W_{\text{н}}) + W_{\text{н}}} + 20 - 10 \lg \tau, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4)$$

где $W_{\text{н}}$ – начальная влажность зерна, %; τ – экспозиция (время) сушки, мин.

Все вышеизложенное позволило разработать номограмму (рис. 2) определения терморезимов сушки зерна повышенной влажности для слоев зерна, подвергающегося сушке – вертикально перемещаемого и плотного неподвижного, применительно к шахтным сушилкам. Вертикальный перемещаемый слой в этих сушилках образуется при непрерывной поточной их работе, а плотный неподвижный – при малой партии высушиваемого зерна. Для определения терморезимов задаются (например, точка Б) предельно допустимой температурой нагрева сухого зерна $\theta_{\text{доп}}^{15}$, проекция значения которой на кривую $\theta_{\text{доп}}^{15}$ позволяет нам получить точку А. Пересечение вертикали из точки А с кривой $\theta_{\text{доп}}^{25}$ дает значение предельно допустимого нагрева зерна (55 °С) с влажностью 25 %. Пересечение той же вертикали с зависимостью $\tau = f(t_1)$ позволяет определить время сушки τ и температуру теплоносителя t_1 , проекция значения которой на кривую $q_T = f(t_1)$ дает возможность определить удельный расход тепла q_T .

По номограмме определены следующие значения термо-режимов сушки зерна с исходной влажностью 25 %: для вертикально перемещаемого слоя зерна продовольственного назначения (точка Б) температура теплоносителя должна составлять 90 °С, экспозиция сушки 52,5 мин и удельный расход тепла 1375 ккал/кг при допустимой температуре нагрева зерна 46 °С; для вертикально перемещаемого слоя зерна семенного назначения (точка В) эти показатели соответственно 68 °С, 105 мин, 1520 ккал/кг и 42 °С; при сушке зерна в плотном неподвижном слое (точка Г) соответственно 58 °С, 155 мин, 1580 ккал/кг и 41 °С.

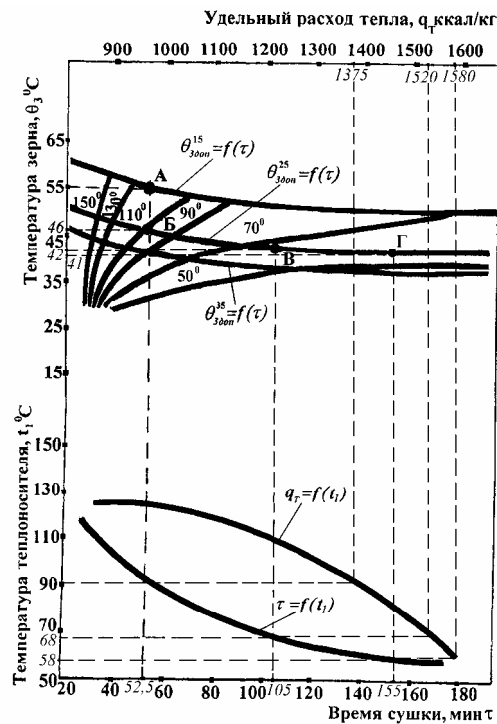


Рис. 2 Номограмма определения эффективного режима сушки зерна в плотном неподвижном и вертикально перемещаемом слоях

Ограничения предельно допустимых температур нагрева зерна:

$\theta_{\text{Здоп}}^{15}$ – при влажности зерна 15 %; $\theta_{\text{Здоп}}^{25}$ – при влажности зерна 25 %; $\theta_{\text{Здоп}}^{35}$ – при влажности зерна 35 %. точка А – предельно допустимая

температура нагрева зерна при влажности 15 %. Исходные точки для определения терморежимов: точка Б – для продовольственного зерна в

вертикально перемещаемом слое ($W_n = 25\%$); точка В – для семенного зерна в вертикально перемещаемом слое ($W_n = 25\%$); точка Г – при сушке зерна в плотном неподвижном слое ($W_n = 25\%$)

Таким образом, разработанная методика графоаналитического определения терморежимов сушки зерна пшеницы высокой влажности в плотном неподвижном и вертикальном гравитационно перемещаемом слоях позволяет в зависимости от исходной влажности поступающего на сушку зерна, его назначения и качества установить время (экспозицию) сушки, температуры теплоносителя и предельного нагрева зерна в шахтных с коробами зерносушилках, оценивая при этом энергозатраты на процесс сушки.

Список литературы

- 1 Ровный, Г.А. Расчет процесса сушки при вентилировании / Г.А. Ровный // Механизация и электрификация соц. сельского хозяйства. – 1965. – №2.
- 2 Фрегер, Ю.Л. Исследование процесса конвективной сушки зерна в виброожиженном слое : дис. ... канд. техн. наук / Ю.Л. Фрегер. – М. : ВИСХОМ, 1966.
- 3 Федоров, И.М. О рациональных конструкциях зерносушилок для сельского хозяйства / И.М. Федоров, Я.М. Брук // Сельхозмашины. – 1951. – № 8.
- 4 Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков – М. : Энергия, 1968.
- 5 Окунь, Г.С. Исследования процесса конвективной сушки семенного зерна : дис. ... канд. техн. наук / Г.С. Окунь. ВИМ, 1966.
- 6 Птицын, С.Д. Зерносушилки / С.Д. Птицын. – М. : Машгиз, 1962.
- 7 Птицын, С.Д. Определение основных параметров режима сушки семенного зерна / С.Д. Птицын, А.Б. Серафимович // Механизация и электрификация соц. сельского хозяйства. – 1958. – № 3.
- 8 Callaghan, S.K.O. Developmen of a Contra-Flow Grain Drier // Agr. Eng. Res. – 1957. – V. 3. – № 3.
- 9 Nendereson, S. Grain Drying Theory / S. Nendereson, S. Pabis // Agr. Eng. Res. – 1962. – V. 7. – № 2.
- 10 Гержой, А.П. Зерносушение и зерносушилки / А.П. Гержой, В.Ф. Самочетов. – М. : Хлебоиздат, 1958.
- 11 Эрк, Ф.Н. Исследование режимов сушки семенного зерна с высокой влажностью : дис. ... канд. техн. наук / Ф.Н. Эрк. – Ленинград – Пушкин : ЛСХИ, 1963.

ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ РЕШЕНИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА УЛУЧШЕНИЕ

В деятельности крупных российских компаний часто встречается практика, когда реализуемые проекты развития выполняются на 80 % и не доводятся до своего логического завершения из-за непринятия руководством компании ключевых решений по внедрению выработанных решений. Вся работа команды по улучшению процесса, анализа данных и творческого мышления, вложенного в разработку нацеленного на будущее решения, не преобразуется в реальное улучшение деятельности. Несмотря на то, что столько усилий и внимания было затрачено на проверку полноты нацеленного на будущее решения и правильности проектируемых затрат и сбережений, если решение будет плохо реализовано, то весь процесс может закончиться неудачей. В действительности, именно на этой фазе чаще всего происходят провалы проектов по улучшению бизнес-процессов. Создается впечатление, что энтузиазм и увлечение творческой частью административных мероприятий по улучшению бизнес-процессов пропадают во время наиболее приземленной части – внедрения. Очень часто интересы руководства переключаются на новый проект, и из-за этого не соблюдаются правильные приоритеты для приведения процесса к завершению.

Во многих случаях перед формальным началом функционирования нового процесса проводится фаза пробного запуска. В течение этой фазы работают одновременно и новая, и существующая системы (частично).

Фаза состоит из восьми мероприятий, а именно:

- формирование команды по внедрению нацеленного на будущее решения;
- разработка плана внедрения;
- внедрение плана на первые 90 дней;
- внедрение долгосрочных улучшений;
- проведение измерений и отчет о результатах;
- проведение периодических обзоров;
- сравнение результатов и целей;
- поощрение членов команды.

Рассмотрим эти мероприятия подробнее.

Очень часто на первом этапе от специалистов требуется:

- определить проект процесса;
- предоставить требуемое программное обеспечение и оборудование для информационных технологий;
- провести подготовку;
- завершить детальное документирование.

В результате команда по внедрению нацеленного на будущее решения набирает дополнительный вспомогательный персонал. Команда по внедрению нацеленного на будущее решения (далее называемая командой внедрения) несет ответственность за три задачи, а именно:

- внедрение нацеленного на будущее решения;
- внедрение плана по управлению организационными изменениями;
- измерение влияния будущих изменений.

Однако в большинстве случаев члены команды являются отличными агентами технических изменений, но они редко осознают свою роль как агентов изменений в процессе по управлению организационными изменениями.

Поэтому первым мероприятием, которое должна провести команда внедрения, является обучение ее членов процессу улучшения, только что завершено командой по улучшению процесса, так, чтобы у команды внедрения было полное понимание утвержденного нацеленного на будущее решения. Следующим этапом их подготовки является обучение управлению организационными изменениями, в котором особенно подчеркивается их роль как агентов изменений, связанных с людьми. Каждый член команды внедрения должен научиться содействовать изменениям в организации.

На втором этапе команда внедрения должна сосредоточить свои усилия на разработке детального плана на последующие 90 дней. Затем готовится менее подробный план на оставшуюся часть проекта. Важно умело соединить внедрение и детальные планы по управлению организационными изменениями, совмещая как технические мероприятия, так и мероприятия по управлению организационными изменениями. Особенно тщательно следует проверить объединение и согласованность мероприятий, причисленных к различным функциям. В большинстве проектов каждая функция стремится работать как автономная единица. Однако при внедрении нацеленного на будущее решения такой подход неприемлем.

Теперь на третьем этапе команда внедрения должна сосредоточиться на внедрении плана на первые 90 дней. Это, вероятно, самая важная часть проекта внедрения, так как она задает темп для всего остального процесса внедрения. Обычно улучшения, вносимые в течение первых 90 дней, представляют собой быстрые переделки и наименее сложные решения по улучшению. Главные технологические изменения очень редко внедряются в течение первых 90 дней, потому что они требуют обширного планирования, составления графика выполнения и моделирования. С другой стороны, мероприятия по управлению организационными изменениями в первые 90 дней имеют решающее значение не только для успешного внедрения начальных улучшений, запланированных на 90 дней, но и для внедрения всего нацеленного на будущее решения. Необходимо много усилий и внимания для того, чтобы с самого начала создать функциональную систему открытых коммуникаций.

Помимо уровня напряжения, это еще и период, когда темп улучшений обычно достигает максимума. По мере внедрения каждого изменения и измерения его влияния необходимо обновлять план проекта и базу данных. С особой тщательностью следует подходить к обновлению блок-схем и имитационных моделей.

Четвертый этап – долгосрочный план внедрения, который представляет собой техническую часть нацеленного на бу-

дущее решения. Именно здесь в процесс вводится новое оборудование и программное обеспечение. Новое применение информационной технологии, других компьютерных приложений и автоматизированных методов требует очень тщательной оценки и моделирования перед тем, как его можно будет адаптировать для обеспечения совместимости с существующими видами деятельности и культурой организации.

По мере внедрения нацеленного на будущее решения, долгосрочный план внедрения будет детализироваться и включаться в очередной 90-дневный план. Этот процесс будет повторяться каждые 30 дней, пока внедрение не будет завершено.

На следующем этапе необходимо регулярно, через заданные промежутки времени (около месяца), команде внедрения готовить отчет о состоянии дел и предоставлять его исполнительной команде и постоянным спонсорам.

На шестом этапе команда внедрения должна проводить очень краткие периодические обзоры достижений с постоянными спонсорами и заинтересованными членами исполнительной команды. В начале процесса внедрения эти обзоры должны проводиться ежемесячно. По прошествии первых 90 дней они должны проводиться сразу после выполнения очередного основного этапа или как минимум раз в 90 дней. На этих совещаниях внимание должно быть сосредоточено на достижениях во внедрении нацеленного на будущее решения и измеренных результатах.

По завершении процесса внедрения результаты следует сравнить с целями проекта улучшения. Кроме того, нужно детально вычислить трехлетнюю прибыль на инвестированный капитал. В это время команда по улучшению процесса и команда внедрения должны провести финальное обсуждение и анализ завершено административного проекта по улучшению бизнес-процессов.

Кроме того, в ходе выполнения проекта очень важно поощрять желаемое поведение, если администрация хочет, чтобы это поведение повторялось в будущем.

Вознаграждение должно быть выдано как можно ближе ко времени, когда наблюдалось желаемое поведение, так как именно в этот момент вознаграждение наиболее эффективно. Имея это в виду, необходимо вознаградить команду по улучшению процесса непосредственно после утверждения нацеленного на будущее решения исполнительной командой. Проблема с финансовым поощрением команды по улучшению процесса в этот момент состоит в том, что исполнительная команда еще не знает, насколько хорошо это решение. Таким образом, обычно для поощрения команды по улучшению процесса сразу после утверждения нацеленного на будущее решения используют почетные грамоты, представления руководству, а финансовое вознаграждение выдается сразу после оценки решений за первые 90 дней. Команда внедрения обычно получает вознаграждение в конце цикла внедрения; при этом грамоты и представления используются после успешного завершения каждого основного этапа.

В итоге с завершением всех этапов пробного запуска нацеленное на будущее решение преобразовано в процесс «как есть» и его влияние на деятельность процесса измерено. Если процесс проводился должным образом, то администрация довольна результатами и хорошо вознаградила участников команд проектирования и внедрения. Можете принимать поздравления, – но останавливаться на этом нельзя. Организация добилась существенных достижений в работе процесса, и теперь она должна перейти к фазе управления и непрерывного улучшения.

М.А. Промтов, А.С. Авсеев

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА ГАЗОЙЛЯ И α -ОЛИФЕИНОВ В РОТОРНОМ ИМПУЛЬСНОМ АППАРАТЕ

В настоящее время большое внимание уделяется поиску новых, экологически безопасных и эффективных способов получения энергии. Особое внимание при этом обращается на доступность и воспроизводимость энергетического сырья, экологическую безопасность, экономичность, промышленную реализуемость, надежность, простоту изготовления и эксплуатации оборудования.

Роторные импульсные аппараты (РИА), используемые, в основном, для интенсификации гидромеханических и массообменных процессов, применяются также и как генераторы тепловой энергии [1, 2]. В РИА нагреваемая жидкость подается под давлением в полость ротора, проходит через отверстия ротора, межцилиндровый зазор, отверстия в статоре и выводится из аппарата через рабочую камеру. При вращении отверстия ротора периодически совмещаются с отверстиями в статоре, что вызывает периодические пульсации потока жидкости. В результате этого в жидкости возникают импульсы давления и разрежения, интенсивная кавитация, развитая турбулентность, большие сдвиговые напряжения.

Механизм получения тепловой энергии за счет кавитации основан на ее вторичных нелинейных эффектах в жидкости. Акустическая кавитация представляет собой эффективное средство концентрации энергии звуковой волны низкой плотности в энергию высокой плотности, связанную с пульсациями и захлопыванием кавитационных пузырьков. В момент схлопывания кавитационного пузырька давление и температура газа достигают значительных величин.

В работе [3] сделана оценка эффективности нагрева жидкости за счет кавитационных эффектов. При образовании в воде пузырька радиусом 1 мм при температуре $t = 10^\circ\text{C}$ энергия образования пузырька в 20 раз ниже энергии сжатия пузырька. При этом энергия сжатия кавитационного пузырька увеличивается линейно в зависимости от давления в окружающей жидкости [3]. При увеличении температуры жидкости и, соответственно, давления насыщенных паров отношение энергии сжатия и энергии образования кавитационных пузырьков уменьшается. При увеличении давления в жидкости величина отношения энергии сжатия к энергии образования кавитационного пузырька увеличивается.

Для оценки эффективности работы такой системы коэффициент теплопроизводительности можно рассчитать по формуле [3]:

$$K = \frac{(E_c - E_0)\phi}{E_0} = \frac{[r(P - 2P_n) - 3\sigma]\phi}{2rP_n + 3\sigma}.$$

Массовую концентрацию кавитационных пузырьков, образующих кавитационное облако, можно определить как отношение объема кавитационного облака к объему кавитационного пузырька при максимальном расширении:

$$\varphi = \frac{3v_k}{4\pi r_{\max}^3}.$$

Отсюда делается вывод, что если гидравлическая система, в которой работает теплогенератор, открыта по давлению, то сжатие пузырька происходит под давлением окружающей жидкости, т.е. происходит приток энергии к жидкости из окружающей среды [3].

Энергия, сообщаемая жидкости за счет схлопывания кавитационных пузырьков, прямо пропорциональна их количеству. Степень развитости кавитации определяет индекс кавитации, показывающий отношение объема кавитационного облака к общему объему жидкости в активной рабочей зоне [1]. При развитой кавитации значение индекса кавитации стремится к единице.

Вторым механизмом генерирования тепла в РИА является нагрев жидкости за счет трения в зазоре между ротором и статором. Величина теплообразования зависит от количества энергии, диссипируемой в зазоре. При вращении ротора РИА жидкость нагревается за счет диссипации энергии. Определить температуру нагрева жидкости за промежуток времени Δt можно исходя из теплового баланса, считая, что тепловые потери отсутствуют:

$$N\Delta t = M_3 c \Delta t \Delta t.$$

Изменение температуры жидкости за счет трения в зазоре можно выразить в виде: $\Delta t = \frac{N}{M_3 c}$.

Количество тепла, переданное жидкости за счет трения в зазоре, равно количеству энергии, диссипируемой в зазоре при вращении ротора. Затраты энергии на вращение ротора можно определить по методикам расчета, рекомендуемым авторами работ [4, 5]. При малой величине зазора расход жидкости через зазор M_3 значительно меньше общего расхода M через РИА. Поэтому в реальных условиях часть жидкости, проходящая через зазор и нагреваемая в нем, затем смешивается с основным потоком, и поэтому повышение температуры жидкости, прошедшей через зазор, незначительно и зависит от соотношения M_3 и M .

Для определения эффективности работы РИА в качестве теплогенератора необходимо рассчитать следующие параметры:

– количество тепловой энергии, затраченной на нагрев жидкости

$$Q_{\text{ж}} = M_{\text{ж}} c_{\text{ж}} (t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}});$$

– количество тепла, израсходованное на нагрев оборудования

$$Q_{\text{о}} = M_{\text{о}} c_{\text{с}} (t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}});$$

– реальный коэффициент теплопроизводительности

$$K_Q = \frac{Q_{\text{ж}} + Q_{\text{о}} + Q_{\text{п}}}{N \cdot 3600};$$

– коэффициент полезного действия (КПД)

$$\eta = \frac{Q_{\text{ж}}}{N \cdot 3600}.$$

Энергия, необходимая для работы РИА, складывается из энергии, затрачиваемой для вращения ротора, и энергии, затрачиваемой для нагнетания жидкости в РИА. Потери тепла в окружающую среду $Q_{\text{п}}$ определяются стандартными методами расчета.

Для определения коэффициента теплопроизводительности и КПД нами были произведены экспериментальные исследования по нагреву газойля и α -олифеинов в одноступенчатом РИА. Исследования проводились на установке, включающей РИА, емкость, насос, расходомер, датчики температуры, счетчик электроэнергии. Исследуемая жидкость нагнетается в РИА из емкости насосом, затем направляется обратно в емкость. При работе установки контролировались следующие параметры: температура в емкости и на выходе из РИА; давление на входном и выходном патрубке РИА; расход исследуемой жидкости; потребляемая мощность. Все оборудование и трубопроводы не были теплоизолированы.

Первая серия экспериментов была произведена на одноступенчатом РИА с газойлем массой $M_r = 18,26$ кг. По результатам экспериментов были получены зависимости температуры газойля и потребляемой мощности от времени $t_{\text{сп}} = f(\tau)$, $N_{\text{сп}} = f(\tau)$. Графики зависимостей приведены на рис. 1.

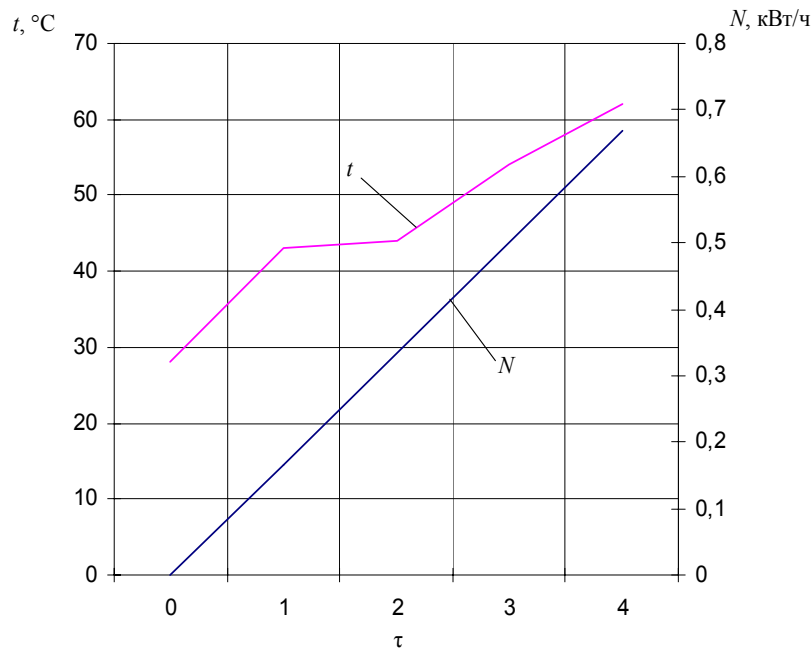


Рис. 1 Графические зависимости температуры газойля t и потребляемой энергии N от времени τ , при обработке в одноступенчатом РИА, при нагреве газойля массой $M_{\Gamma} = 18,26$ кг

Вторая серия экспериментов была произведена на одноступенчатом РИА с α -олифеинами массой $M_{\alpha} = 20,852$ кг. По результатам экспериментов были получены зависимости температуры α -олифеинов и потребляемой мощности от времени $t_{\text{ср}} = f(\tau)$, $N_{\text{ср}} = f(\tau)$. Графики зависимостей приведены на рис. 2.

Значения коэффициента теплопроизводительности и КПД для каждой серии экспериментов приведены в таблице.

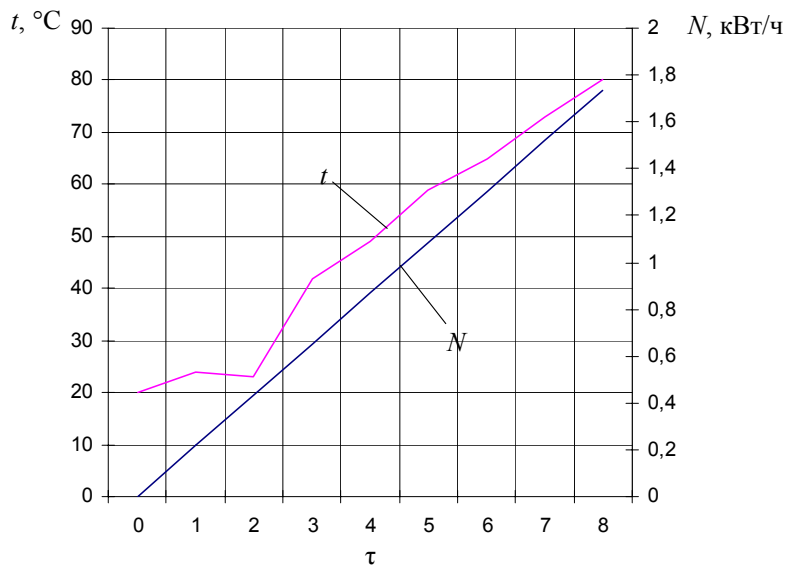


Рис. 2 Графические зависимости температуры α -олифеинов t и потребляемой энергии N от времени τ , при обработке в одноступенчатом РИА, при нагреве α -олифеинов массой $M_{\alpha} = 20,852$ кг

Значения коэффициента теплопроизводительности и КПД

Параметр	Одноступенчатый РИА	
	Масса газойля	Масса α -олифеинов
	M_{Γ}	M_{α}
K_Q	1,302	1,067
η	0,412	0,414

Анализ графических зависимостей по нагреву газойля и α -олифеинов в роторном импульсном теплогенераторе показывает, что основным фактором нагрева является кавитация. На это указывает нелинейность кривых роста температуры жидкостей. При увеличении температуры жидкостей растет давление насыщенных паров внутри кавитационных пузырьков, что уменьшает их энергию при сжатии и, следовательно, интенсивность нагрева.

Условные обозначения:

c_c – удельная теплоемкость стали, Дж/(кг · °С); $c_{ж}$ – удельная теплоемкость жидкости, Дж/(кг · °С); K – коэффициент теплопроизводительности; $M_{ж}$ – масса жидкости, кг; M_o – масса оборудования, кг; M_3 – массовый расход жидкости, кг/с; N – затраты мощности на вращение ротора, Вт; Q_o – количество тепла, потраченного на нагрев оборудования, Дж; r – радиус пузырька, м; r_{max} – радиус пузырька при максимальном расширении, м; r_{min} – радиус пузырька при полном сжатии, м; v_k – объем кавитационного облака, м³; P – давление в жидкости, при котором происходит схлопывание пузырька, Па; P_n – давление насыщенного пара при данной температуре, Па; P_0 – давление в жидкости, Па; φ – концентрация кавитационных пузырьков в жидкости; $Q_{ж}$ – количество тепла, потраченного на нагрев жидкости, Дж; Q_n – потери тепла в окружающую среду, Дж; $t_{нач}$ – начальная температура, °С; $t_{кон}$ – конечная температура, °С; Δt – изменение температуры жидкости, °С; η – коэффициент полезного действия (КПД); σ – поверхностное натяжение, Н/м; E_c – энергия сжатия кавитационного пузырька, Дж.

Список литературы

- 1 Промтов, М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика / М.А. Промтов. – М. : Машиностроение-1, 2001. – 260 с.
- 2 Пат. 2054604 Российская федерация, С1 6 F 24 J 3/00, G 21 B 1/00. Способ получения энергии / Кладов А.Ф. –заявл. 02.07.93 ; опубл. 20.02.96, Бюл. №5.
- 3 Исследование вихревых и кавитационных потоков в гидравлических системах / Е.П. Запорожец, Л.П. Холпанов, Г.К. Зиберт, А.В. Артемов // Теоретические основы химических технологий. – 2004. – Т. 38, № 3. – С. 243 – 252.
- 4 Промтов, М.А. Исследование гидродинамических закономерностей работы роторно-импульсного аппарата / М.А. Промтов // Теоретические основы химических технологий. – 2001. – Т. 35, № 1. – С. 103 – 106.
- 5 Червяков, В.М. Определение энергозатрат в роторных аппаратах / В.М. Червяков, А.А. Коптев // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2005. – № 4. С. 10 – 12.

Д.В. Антипов, О.И. Хмелькова

Тольяттинский государственный университет

ВСЕОБЩЕЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ВНЕДРЕНИИ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В ДЕЙСТВУЮЩУЮ СИСТЕМУ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

На рубеже 40 – 50-х годов в японских компаниях широко применялась американская система профилактики оборудования, подразумевавшая четкое разделение труда между операторами, использующими оборудование, и специалистами, осуществляющими его техническое обслуживание.

Сегодня среди тех, кто уже внедрил или внедряет ТРМ (Total Performance Maintenance), помимо японских компаний, находятся также «Истмен Кодак», «Форд», «Проктэр энд Гэмбл», несколько заводов «Пирелли», группа «Дюпон» и многие другие компании Европы, Южной Америки и Азии, в том числе Китая. В Финляндии учреждена собственная премия ТРМ.

На этом фоне судьба ТРМ в России до настоящего времени представляется неудавшейся. Лишь в 1992 г., с началом работы в России консультантов Японского центра производительности для социально-экономического развития (ЯЦП СЭР), который оказывал содействие российским экономическим реформам на основе межправительственного соглашения между Россией и Японией, появилась возможность получить более или менее полное представление о том, что представляет собой эта система.

ТРМ можно перевести как обслуживание оборудования, позволяющее обеспечить его наивысшую эффективность на протяжении всего жизненного цикла с участием всего персонала. Целью ТРМ является создание предприятия, которое постоянно стремится к предельному и комплексному повышению эффективности производственной системы. Средством достижения цели служит создание механизма, который, охватывая непосредственно рабочие места, ориентирован на предотвращение всех видов потерь («нуль несчастных случаев», «нуль поломок», «нуль брака») на протяжении всего жизненного цикла производственной системы. Для достижения цели задействуются все подразделения: конструкторские, коммерческие, управленческие, но, прежде всего, производственные. В достижении цели участвует весь персонал – от высшего руководителя до работника «первой линии». Стремление к достижению «нуля потерь» реализуется в рамках деятельности иерархически связанных малых групп, в которые объединены все работники.

Эти простые шаги может проделать каждое предприятие. И уже здесь будет замечен эффект, пусть и небольшой. Далее необходимо приложить усилия для дальнейшего внедрения бережливого производства. Необходимо использовать в работе средства визуального контроля и стандартные операционные процедуры [2, 3].

Оценку эффективности оборудования (Overall Equipment Effectiveness, ОЕЕ) принято вычислять путем перемножения трех ключевых коэффициентов: готовность, производительность и качество [1, с. 74].

$$\text{ОЕЕ} = \text{Готовность} \cdot \text{Производительность} \cdot \text{Качество} = \Gamma \cdot \Pi \cdot \text{К}.$$

Готовность (Γ) – процент реального времени работы оборудования от запланированного времени (для измерения надежности) или календарных часов (для измерения степени используемости оборудования).

Производительность (Π) – процент реально произведенного количества деталей за единицу времени от номинальной производительности для этого оборудования.

Качество (К) – процент годных реализованных изделий от общего количества изделий, произведенных за рассматриваемый период.

Показатель ОЕЕ может использоваться для предотвращения закупок ненужного оборудования и как основной инструмент анализа эффективности использования уже имеющегося на предприятии технологического оборудования, а также для поиска наибольших областей возможных улучшений, которая даст наивысшую отдачу от существующих активов и покажет, как внести улучшения в процесс переналадок, повысить качество и надежность оборудования. Формула ОЕЕ проста, представляется одним числом, легко воспринимается персоналом и является хорошим мотивационным инструментом.

Получив оценку использования оборудования, его производительности и достигнутого уровня качества, сотрудники будут стремиться к увеличению этого показателя.

Цель ТРМ – существенное увеличение производительности оборудования при одновременном улучшении морального состояния работников и степени их удовлетворенности от работы. ТРМ фокусирует внимание на обслуживании оборудования как необходимой и жизненно важной части бизнеса и позволяет свести критические аварии и внеплановое обслуживание к минимуму.

Одна из проблем, решаемых ТРМ – нерациональная расстановка оборудования, которая приводит к лишним перемещениям, низкой производительности труда, низкому качеству и низкому уровню учета деталей.

Анализ текущего состояния расположения оборудования в ИП показал необходимость:

- определения номенклатуры обрабатываемых на участке деталей;
- определения количества задействованного и незадействованного оборудования;
- определения количества персонала;
- определения последовательности выполняемых операций по каждой детали с привязкой к оборудованию;
- расчета расстояния перемещения деталей по участку;
- хронометража операций с разделением ручной и машинной работы;
- выявления узких мест по пропускной способности.

Разработка будущего состояния потребовала:

- определения обоснованно необходимого количества оборудования;
- внесения изменений в технологический процесс для обеспечения качества изготавливаемого инструмента;
- разработки планируемого решения;
- оптимизации расстояния перемещения деталей по участку;
- определения необходимого количества персонала на участке.

При определении будущего состояния использовались следующие принципы расположения оборудования:

- минимальное перемещение деталей и операторов по участку;
- разделение оборудования для обработки разных групп продукции;
- группировка в ячейки;
- расстановка операторов по принципу «человек – деталь»;
- организация проезда вдоль участка.

Качественное улучшение состояния предприятия при ТРМ достигается за счет согласованного изменения двух факторов:

- 1 Внедрение принципа управления затратами для развития профессиональных навыков операторов (умение самостоятельно проводить ежедневное обслуживание оборудования, непрерывное поддержание работоспособности оборудования).
- 2 Усовершенствование оборудования.

На основе проделанного анализа по проблеме внедрения ТРМ выделены следующие направления работы:

- 1 Создание организационной структуры для продвижения ТРМ.
- 2 Определение базовых целей и конкретных показателей.
- 3 Создание благоприятной атмосферы для внедрения ТРМ через реализацию принципа культа знаний.
- 4 Внедрение принципов 5S.
- 5 Внедрение самостоятельного обслуживания оборудования оператором в части ежедневных осмотров, очистки, смазки и несложного ремонта.
- 6 Разработка методики диагностирования оборудования и ликвидации возможных источников поломок и остановок оборудования.

Следующим этапом внедрения ТРМ в действующую систему менеджмента качества предприятия для достижения предельного и комплексного повышения эффективности производства станет создание механизма, который, охватывая непосредственно рабочие места, ориентирован на предотвращение всех видов потерь (поломок, брака и т.д.) на протяжении всего цикла изготовления продукции.

Список литературы

- 1 Савенков, Д.Л. Практика внедрения «Бережливого производства» на промышленных предприятиях машиностроительного комплекса России / Д.Л. Савенков. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 224 с.
- 2 Коньшева, В. Отказ от ERP-систем — новый путь к совершенству? <http://www.miacon.ru/Articles/9.html>
- 3 Бережливое производство: модная бизнес-идея или способ выживания? <http://www.connect.ru/article.asp?id=7014>

В.К. Битюков, В.В. Сидорин

Московский государственный институт радиотехники, электроники
и автоматики (технический университет)

МОНИТОРИНГ ВО ВНУТРИВУЗОВСКОЙ СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Мониторинг процессов подготовки специалистов и их результатов с целью проверки соблюдения требований государственных образовательных стандартов в системе менеджмента качества вуза включает сбор, анализ и обобщение информации о качестве на всех этапах процесса обучения – от определения потребностей в специалистах до оценки эффективности применения ими на практике полученных знаний. Основное назначение мониторинга – оценка динамики качества процессов и СМК в целом для разработки и осуществления на основании ее результатов корректирующих и управляющих действий.

Общих правил, норм и рекомендаций по организации деятельности мониторинга качества образовательной деятельности не существует. Распространение или даже частичное использование известного опыта в области мониторинга качества промышленной продукции для разработки и внедрения системы мониторинга качества в области образования практически невозможно ввиду специфических особенностей и существенных отличий обучения от других видов деятельности. Поэтому система мониторинга качества в МИРЭА разработана на основании собственной концепции и принципов ее реализации.

Организация и проведение мониторинга качества в СМК МИРЭА включает разработку принципов и методов мониторинга и его организационной структуры, системы определения показателей качества процессов, сопоставления их с критериями, обоснованного установления периодичности сбора информации о качестве, процедуры анализа информации о качестве процессов, методики разработки и внедрения управленческих решений.

В мониторинге качества процессов в СМК МИРЭА исходная информация получается различными методами – анкетированием, в результате проведения внутренних аудитов, по данным самоконтроля и тестирования, сочетая их с традиционными формами проверки знаний – экзаменами и зачетами. Характер, периодичность сбора и объем данных о качестве устанавливаются из условия сохранения информации о непрерывном процессе обучения при его моделировании в виде последовательности дискретных значений информационных блоков. Для анализа и оценки применяются такие методы квалимет-

рии, как метод экспертных оценок, расчетные методы: дифференциальный – для оценки отдельных элементов процесса и комплексный – для оценки процессов и СМК в целом. Анализ и оценка выполняются по разработанным методикам на основе системы показателей и критериев качества.

Для оценки отдельных процессов и их элементов дифференциальными и комплексными расчетными методами используются разработанные единичные и обобщенные показатели качества. Процессы, к которым не могут быть применены расчетные методы, оцениваются методом экспертных оценок. Уровень подготовки специалистов оценивается как по специальностям, группам, факультетам, а также персонально в отношении каждого обучаемого.

Методика проведения мониторинга включает определение пороговых значений показателей качества обучения, определение фактических значений за анализируемый период, сопоставление фактических и пороговых значений и присвоение в результате этого сравнения градации качества подготовки.

Результаты оценки используются при определении уровня качества и стабильности процессов СМК, разработке мероприятий по обеспечению качества подготовки специалистов на всех этапах, при формировании, ведении и актуализации базы данных о качестве.

Внутренний аудит СМК – основной метод мониторинга. От его информативности зависит эффективность мониторинга.

Процедура внутреннего аудита регламентируется нормативным документом СМК, в котором установлен перечень проверяемых процессов и документов, форма представления данных (протоколы проверки с установленными несоответствиями ...), форма опросных листов, анкет, форма отчета о результатах внутреннего аудита, а также требования к сотрудникам, его проводящим. Проведение внутреннего аудита учитывает особенности организационной структуры, миссии, политики и целей МИРЭА в области качества. В СМК МИРЭА процедура внутреннего аудита включает формирование комиссии для его проведения, распределение ответственности и полномочий в комиссии, собственно процесс сбора информации, требования к квалификации экспертов – менеджеров по качеству и общие требования к ним. Процесс проведения внутреннего аудита состоит из последовательно выполняемых этапов:

- издание приказа о проведении внутреннего аудита СМК;
- разработка программы проверки (внутреннего аудита);
- ее утверждение;
- проведение проверки, анализ данных о качестве, составление отчета с рекомендациями;
- составление плана мероприятий по результатам проверки;
- устранение выявленных замечаний и несоответствий;
- принятие решения комиссии о результативности процессов и СМК в целом.

Несмотря на то, что периодичность проведения внутреннего аудита велика для оценки вариабельности быстроизменяющихся процессов, он как источник информации является важнейшим в мониторинге качества процессов настроенных и стабильных, т.е. процессов в эффективной и результативной СМК. К таким процессам относятся управляющие и обеспечивающие процессы, такие как менеджмент ресурсов, управление инфраструктурой, производственной средой, персоналом.

Эффективным инструментом в мониторинге качества процессов обучения в МИРЭА является разработанная методика на основе экспертных методов, учитывающая особенности процессов и их элементов и основанная на предложенной системе показателей и критериев качества процессов. Проведение мониторинга в МИРЭА регламентировано одним из нормативных документов СМК. Методика включает формирование рабочей группы из ответственных за качество на кафедрах и факультетах, установление параметров, проведение анкетирования и тестирование обучаемых, обработку и анализ данных анкетирования и тестирования обучаемых, оценку и разработку рекомендаций.

Эффективность мониторинга может быть значительно повышена с применением информационных компьютерных технологий (CALS-технологий), благодаря которым сбор и анализ информации о качестве осуществляется в едином информационном пространстве – интегрированной информационной среде (ИИС). В ИИС с помощью формализованных функциональных моделей (ФФМ) получение и обработка информации о качестве, а также введение изменений в процессы осуществляются в сроки близкие к реальному масштабу времени.

М.М. Гоник¹, В.И. Боевкин¹, М.А. Гоник²

1 – Московский государственный технический университет им. Баумана,

2 – ЦТИ «ТЕРМО», г. Александров

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ ВЫРАЩИВАЕМЫХ КРИСТАЛЛОВ МЕТОДОМ ОТФ

Постановка задачи. Выращивание кристаллов высокого качества возможно при условии решения двух проблем: нахождение оптимального температурного режима кристаллизации и реализация его на протяжении всех стадий технологического процесса. Такая задача решается с помощью системы автоматизации исполнительных органов установки и регулирования технологических параметров процесса кристаллизации. Оптимальные значения этих параметров и конструктивные особенности установки находятся в свою очередь по результатам моделирования процессов тепло- и массопереноса, происходящих при росте кристалла. Правильно построенная тепловая модель существенно помогает при синтезе алгоритмов регулирования и, что крайне важно, позволяет определять физически не измеряемые параметры качества растущего кристалла, такие как однородность его свойств, распределение дислокаций и других дефектов. Объединяя инструменты решения этих двух задач, появляется возможность построения системы управления непосредственно качеством выращиваемых кристаллов. В такой постановке задача может быть решена для выращивания кристаллов методом осевого теплового потока вблизи фронта кри-

сталлизации (ОТФ-методом) [1], разработанным в ЦТИ «Термо». Для данного метода, в отличие от классических (таких как Чохральского, Бриджмена и др.), вклад конвекции в расплаве вблизи кристалла в общий теплоперенос пренебрежимо мал и им можно пренебречь. В совокупности с тем, что конструктивные особенности кристаллизатора позволяют измерять температуру в точках на границах системы расплав – кристалл и управлять ею, становится возможным построить точную численную модель тепловых процессов при росте, работающую в масштабе реального времени.

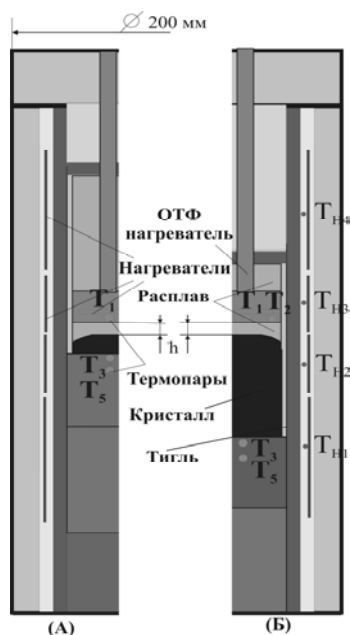


Рис. 1 Схема ростовой ОТФ установки в начальный (А) и конечный (Б) момент кристаллизации

Описание метода. Особенностью ОТФ-метода роста кристаллов является размещение в расплаве дополнительного ОТФ-нагревателя параллельно границе расплав – кристалл на небольшом расстоянии h от него (рис. 1). Расплав делится с помощью плоского нагревателя на две зоны: зону кристаллизации и зону питания. Рост кристалла происходит путем опускания вниз кристалла с тиглем относительно неподвижного ОТФ-нагревателя. В процессе роста температура в точке T_1 поддерживается постоянной, а в точке T_3 меняется так, чтобы толщина слоя расплава $h = \text{const}$. Температурное поле в зоне кристаллизации формируется управляемыми 4 внешними и одним ОТФ-нагревателями. Температура измеряется термопарами, расположенными в тигле и в корпусе ОТФ-нагревателя.

Инструментальный комплекс. Задача измерений технологических параметров, обработки и визуализации получаемых данных, управления исполнительными органами, решается с помощью разработанной автоматической системы управления (рис. 2) [2]. Данная система, в том числе, решает задачи регулирования необходимыми технологическими параметрами. Программное обеспечение разработано в среде LABVIEW и реализует комплекс процедур: формирование напряжения на нагревателях с помощью блоков управления тиристорами платы аналогового вывода NI 6703, определение и применение градуировочной характеристики каждого тиристора, измерения температур, напряжений, токов и конфигурации системы сбора данных и коммутации HP34970A. Автоматическая система обеспечивает режимы работы привода двигателя для движения тигля согласно требуемым линейным перемещениям и скорости. Система решает и обратную задачу: измеряет текущие величины этих параметров во время функционирования по показателям вращения двигателя. Система является легко модифицируемой и допускает быстрое перестраивание на исследовательские задачи.

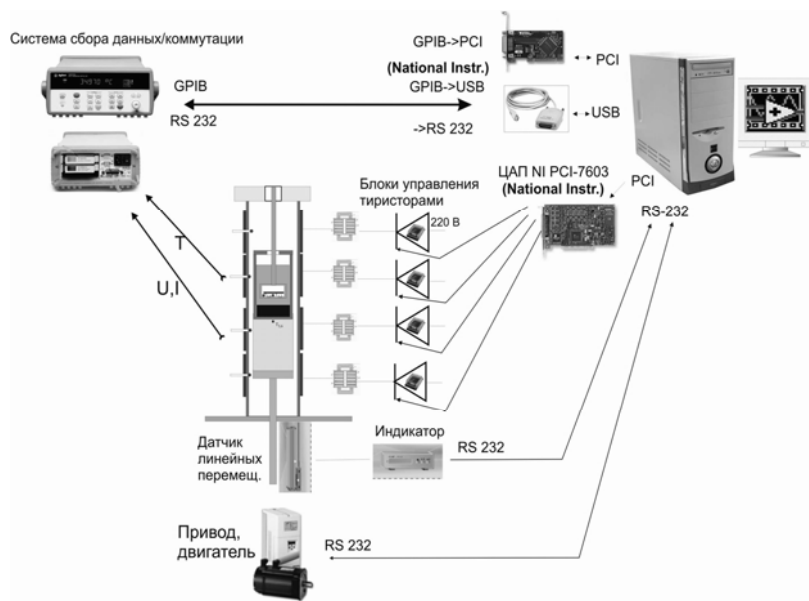


Рис. 2 Автоматическая система управления

Процесс роста сопровождается выделением (поглощением) теплоты кристаллизации. Оценить изменение свойств объекта, исследовать его особенности, испытать синтезируемые алгоритмы управления позволяет модель, решающая нестационарную задачу теплопереноса при кристаллизации. Более того, такая модель может быть использована как прогнозирующая (Predict Model) для соответствующего алгоритма управления.

Второй этап заключается в реализации контура управления свойствами выращиваемого кристалла (рис. 3). С помощью численной модели Direct Model рассчитывается комплексный показатель качества Q на основе распределения температур T , измеряемых термодатчиками на границе системы расплав – кристалл. В процессе роста кристалла отслеживаются текущие изменения показателя качества Q и определяется оптимальное распределение температур T . Это распределение может быть найдено с помощью модели, решающей обратную задачу Inverse Model в масштабе реального времени или с применением алгоритмов оптимального управления.

Управление свойствами выращиваемого кристалла. Реализация требуемого режима кристаллизации, являющегося первым этапом получения кристалла высокого качества, достигается с помощью автоматического управления и заключается в формировании и поддержании нужного температурного поля в установке и опускании тигля с заданной скоростью. Основные точки, характеризующие тепловое поле и по которым ведется управление, расположены на границах системы расплав – кристалл. Для системы управления в качестве управляемых переменных выбираются температуры T_1 и T_3 (рис. 1). Температура T_1 поддерживается постоянной, а температура T_3 изменяется по заданному закону (как правило, линейному). Особенностью данного объекта управления является то, что он меняет свои инерциальные свойства вследствие перераспределения в объеме кристаллизатора материалов в процессе кристаллизации, изменяет свое положение относительно управляющих (нагревательных) элементов, про-

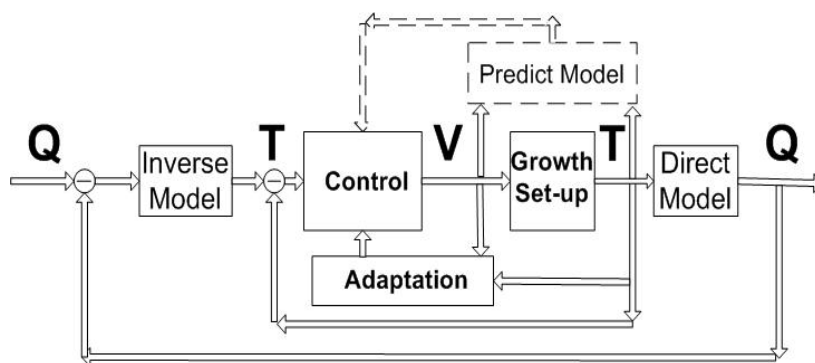


Рис. 3 Алгоритм управления свойствами выращиваемого кристалла

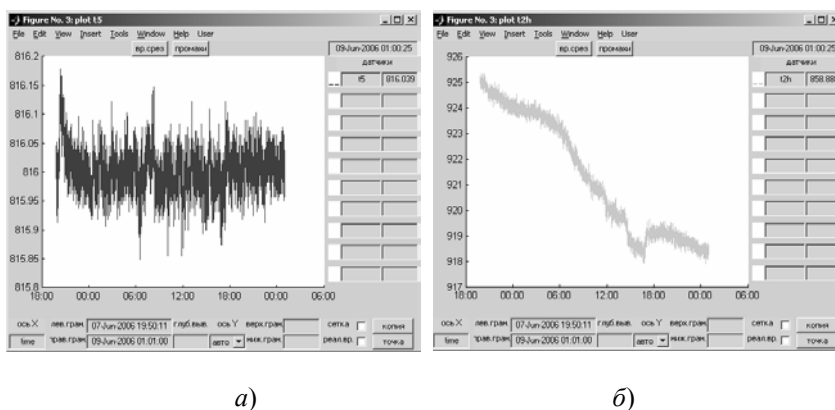


Рис. 4 Управление температурой на доньшке тигля

Результаты. На сегодняшний день разработанный программно-аппаратный комплекс включает в себя систему управления распределением температур и модели [3], решающие тепловую задачу в условиях движения тигля с кристаллом. Благодаря комплексу достигнуто высокое качество управления температурами в стационарном режиме (при отсутствии движения тигля). Так, для регулирования по ПИД-алгоритму, для шага 10 с в течение суток стандартное отклонение управляемой температуры T_3 в центре доньшка тигля от заданного значения составило менее $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 4, а) при изменении температуры ТН2 на внешнем нагревателе на $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 4, б). Сейчас мы ведем работы по достижению сопоставимой точности регулирования для управления в динамике, т.е. при опускании тигля во время роста кристалла.

Работа над главной задачей, связанной с управлением свойствами выращиваемого кристалла, ведется сегодня в сотрудничестве со специалистами ИПМ им. Келдыша. Мы разрабатываем модели для расчета физических свойств растущего кристалла и построения контура автоматического управления этими параметрами. Решение этой задачи, по нашему мнению, позволит создать надежную технологию получения кристаллов высокого качества.

Список литературы

- 1 Golyshev, V.D. Crystal properties and Preparation / V.D. Golyshev, M.A. Gonik. – М. : 1991.
- 2 Гоник М.М. и др. Труды конференции «ESEa-NI-05». – М., 2005.
- 3 M.A. Gonik at al. Journal of Crystal Growth, 2007.

И.О. Котов¹, Д.А. Дмитриев², В.Н. Чернышов¹

1 – ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»,
2 – Тамбовское высшее военное авиационное инженерное училище радиоэлектроники

ФАЗОРНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Целью дистанционного зондирования, как правило, является задача определения электрофизических, физико-механических и других свойств материалов разного фазового состояния. Характеристики рассеянных объектом радиоволн непосредственно связаны их с геометрическими параметрами и комплексной диэлектрической проницаемостью ϵ [1].

Нами предлагается новый метод определения комплексной диэлектрической проницаемости ϵ по результатам относительных измерений сигналов в ортогональных каналах приемного устройства (рупорной антенны) как отношение напряжений и разности фаз.

Суть предлагаемого метода заключается в зондировании исследуемой поверхности материала электромагнитной волной круговой поляризации и анализе изменения поляризации отраженной волны.

Решить задачу определения действительной ϵ' и мнимой ϵ'' частей комплексной диэлектрической проницаемости полубесконечных слоев материалов возможно следующими способами.

1. Непрерывное облучение с развязкой падающей и отраженной волн от одной приемопередающей антенны специальной конструкции при нормальном падении электромагнитной волны (рис. 1).

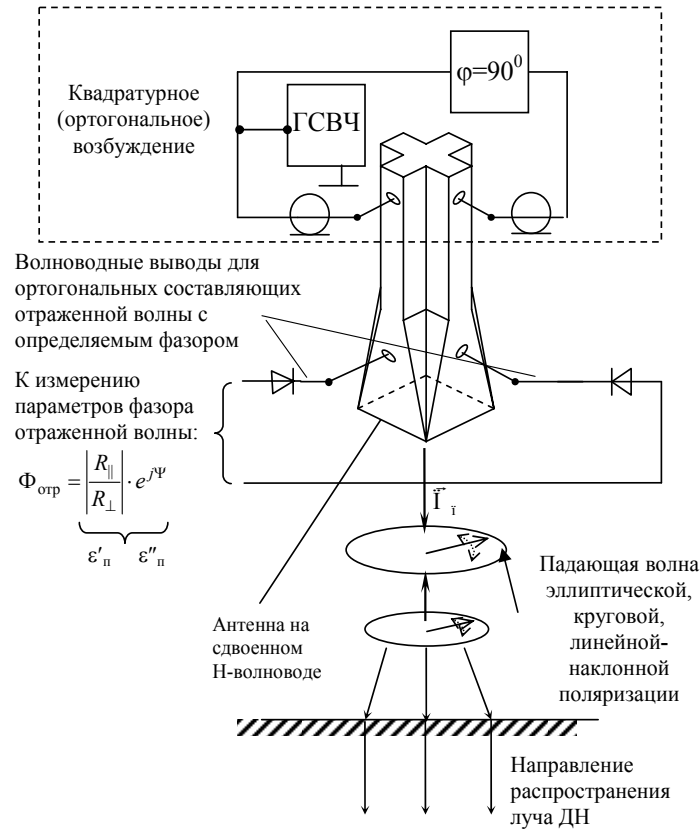


Рис. 1 Структурная схема установки реализации метода

В этом случае для приближения нормально падающей плоской электромагнитной волны с радиусом R зоны существенной при отражении, определяемой 1-2 зонами Френеля, величины коэффициентов отражения вертикально \dot{R}_{\parallel} и горизонтально \dot{R}_{\perp} поляризованных волн равны:

$$\dot{R}_{\parallel} = \dot{R}_{\perp} = \frac{1 - \dot{\epsilon}^{1/2}}{1 + \dot{\epsilon}^{1/2}} .$$

Однако лучи реальной диаграммы направленности (ДН), шириной $\Delta\theta$ падают под разными углами на поверхность материала и для них коэффициенты отражения не равны.

Следовательно, по ширине реальной ДН при разном в ней ходе лучей (угол падения которых на поверхность $\theta \neq 0$) необходимо ввести «интегральные» величины \dot{R}_{\parallel} и \dot{R}_{\perp} , интегрируя всю напряженность падающей волны в ширине ДН – $E_{\text{пад}}(\theta \in 2\Delta\theta_{0.5}) \cdot \dot{R}_{\parallel}(\theta \in 2\Delta\theta_{0.5})$ по раскрытию приемной апертуры. Направление затухания любого луча в преломленной ДН нормально.

2. Непрерывное облучение при наклонном падении электромагнитной волны:

а) две антенны с круговой поляризацией – приемная и передающая в непрерывном режиме с фиксированными длиной волны генератора и шириной ДН или просто крестошелевые две антенны; возможен также вариант применения одной крестошелевой приемопередающей антенны;

б) одна антенна приемопередающая при широкополосном импульсном облучении с приемом рассеянного отраженного сигнала.

Введем следующее обозначение:

$$\dot{\Phi} = \frac{\dot{R}_{\parallel}}{\dot{R}_{\perp}} = |\dot{\Phi}| \cdot e^{j\psi} .$$

Параметр $\dot{\Phi}$ называется поляризационным отношением – фазором. Он равен отношению напряжений сигнала в ортогональных каналах приемного антенного устройства. Этот параметр может быть измерен с достаточно высокой степенью точности. Это отношение является комплексным: зависит не только от соотношения мощностей сигнала, но и от соот-

ношения фаз сигналов в ортогональных каналах приемного устройства.

Фазор падающей волны равен:

$$\dot{\Phi}_n = \Phi_n \cdot e^{j\Psi_n}.$$

Для эллиптической поляризации

$$0 < \Phi_n < 1; \Psi_n = 0,5\pi;$$

круговой поляризации

$$\Phi_n = 1; \Psi_n = 0,5\pi;$$

линейной наклонной поляризации

$$0 < \Phi_n < 1; \Psi_n = 0.$$

Определим параметры фазора отраженной волны.

Фазор отраженной электромагнитной волны

$$\dot{\Phi}_{\text{отр}} = \left| \frac{\dot{R}_{\parallel}}{\dot{R}_{\perp}} \right| \cdot e^{j(\Psi_{\parallel 0} - \Psi_{\perp 0})}, \text{ т.е. } \Phi_{\text{отр}} = \left| \frac{\dot{R}_{\parallel}}{\dot{R}_{\perp}} \right| = f_1(\varepsilon', \varepsilon'', \theta) \text{ и } \Psi_0 = \Psi_{\parallel 0} - \Psi_{\perp 0} = f_2(\varepsilon', \varepsilon'', \theta) - \text{при известном значении } \theta \text{ со-}$$

вместное решение системы для определения ε' и ε'' по двум величинам $\Phi_{\text{отр}}$ и Ψ_0 .

Для коэффициента отражения горизонтально поляризованной волны $\dot{R}_{\perp} = f_1(\varepsilon', \varepsilon'', \theta)$ по методике определения $\dot{R}_{\parallel} = f_1(\varepsilon', \varepsilon'', \theta)$ с учетом неоднородности преломленной волны (определение $\cos\theta$ с учетом $\varepsilon'' > 0$) получены следующие выражения:

$$\left| \dot{R}_{\perp} \right| = \left[\frac{\cos^2 \theta + A \cdot |\dot{\varepsilon}| - 2 \operatorname{Re} \sqrt{\dot{\varepsilon}} \cdot A^{1/2} \cos \theta}{\cos^2 \theta + A \cdot |\dot{\varepsilon}| + 2 \operatorname{Re} \sqrt{\dot{\varepsilon}} \cdot A^{1/2} \cos \theta} \right]^{1/2};$$

$$\left| \dot{R}_{\parallel} \right| = \left[\frac{|\dot{\varepsilon}| \cos^2 \theta + A - 2 \operatorname{Re} \sqrt{\dot{\varepsilon}} \cdot A^{1/2} \cos \theta}{|\dot{\varepsilon}| \cos^2 \theta + A + 2 \operatorname{Re} \sqrt{\dot{\varepsilon}} \cdot A^{1/2} \cos \theta} \right]^{1/2},$$

$$\text{где } A = \left[\frac{\varepsilon'_1 + |\dot{\varepsilon}(\theta)|}{\varepsilon'_2 + |\dot{\varepsilon}(\theta)|} \right].$$

Величины

$$\Psi_{\perp} = \operatorname{arctg} \frac{2A^{1/2} Jm \sqrt{\dot{\varepsilon}} \cos \theta}{\cos^2 \theta - A \varepsilon'}; \quad \Psi_{\parallel} = \operatorname{arctg} \frac{2A^{1/2} Jm \sqrt{\dot{\varepsilon}} \cos \theta}{A - \cos^2 \theta \varepsilon'}.$$

$$\text{Фазор } \dot{\Phi}_{\text{отр}} = \left| \frac{\dot{R}_{\parallel}}{\dot{R}_{\perp}} \right| \cdot e^{j(\Psi_{\parallel 0} - \Psi_{\perp 0})} = \left| \dot{\Phi}_{\text{отр}} \right| \cdot e^{j\Psi_0}.$$

$$\Psi_0 = \operatorname{arctg} \frac{2A^{1/2} Jm \sqrt{\dot{\varepsilon}} \cos \theta (1 + \varepsilon') \{A - \cos^2 \theta\}}{A \cos^2 \theta [(\varepsilon' - 1)^2 + 2|\dot{\varepsilon}|] - \varepsilon' \{A^2 + \cos^4 \theta\}}.$$

Модули интегральных фазора $|\dot{\Phi}_{\text{отр}}|$ и аргумента Ψ_0 характеризуют действительную и мнимую части комплексной диэлектрической проницаемости материала.

Список литературы

1 Козлов, А.И. Поляризационный метод определения и визуализации комплексной диэлектрической проницаемости в задачах дистанционного зондирования / А.И. Козлов [и др.] // Научный вестник МГТУГА, сер. Радиофизика и радиотехника, 1999, 2000. – № 14.

**АЛГОРИТМ ИНТРОСКОПИИ И ИДЕНТИФИКАЦИИ
НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПОКРЫТИЙ НА МЕТАЛЛЕ
МИКРОВОЛНОВЫМ МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН**

Многообразие комбинаций неотражающих и поглощающих материалов и покрытий на металлической подложке приводит к необходимости применения специализированных приборов и сложных методик контроля их электрофизических и физико-механических параметров.

Нами разработан метод микроволновой интроскопии поверхностной медленной волны и предложены алгоритмы определения комплекса параметров: относительных диэлектрической ϵ и магнитной μ проницаемостей, толщины покрытия b и волнового сопротивления Z_b [1]. В направлении дальнейшего развития метода поверхностных волн предложены алгоритмы (методы) идентификации неоднородностей электрофизических и геометрических параметров магнитодиэлектрических покрытий на металле (рис. 1): алгоритм определения неоднородностей параметров слоя [2], алгоритм интроскопии неоднородностей фрактальных поверхностей по пространственной картине распределения дисперсии отклонения коэффициента ослабления поля поверхностной волны от его математического ожидания [3].

С целью повышения точности измерений и идентификации неоднородностей, а также уменьшения времени сканирования поверхности нами предлагается новый алгоритм сканирования поверхности магнитодиэлектрического покрытия на металлической подложке поверхностными волнами электрического (E -волны) и магнитного (H -волны) типов на трех длинах волн.

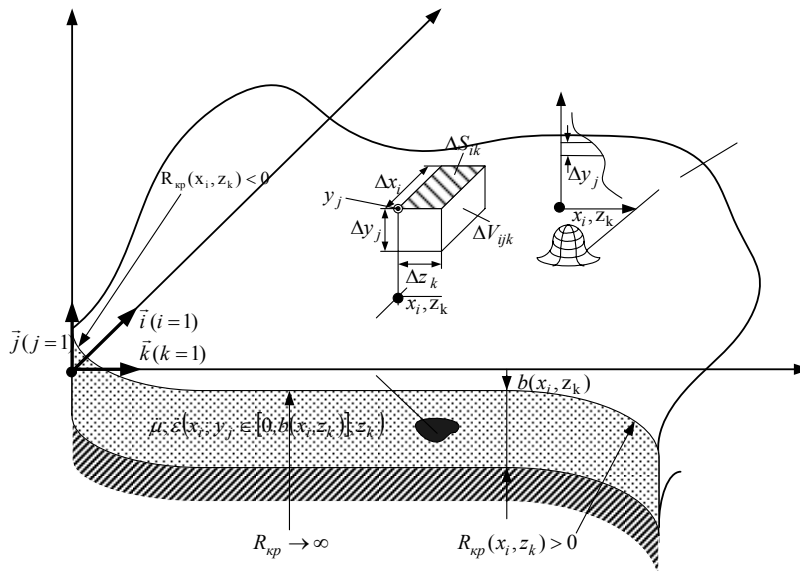


Рис. 1 Исходная картина сканируемой поверхности покрытия с известными границами и реперами

Обоснование выбора величин и соотношений длин волн λ_a , латентность и нелатентность мод E - и H -волн, а также способов снятия информации в пространственных координатах x, y, z и шагов дискретизации (адаптивной) с целью решения задачи повышения оперативности сканирования разработаны и приведены в [1]. Устройство возбуждения электромагнитных волн над магнитодиэлектрическим покрытием представляет собой синфазную апертуру с круговой ДН по азимуту [4].

По алгоритму, описанному в [2], для каждой из трех последовательно возбуждаемых волн E - и H -типов устанавливают режим бегущих волн с помощью согласующего устройства, сопряженного с блоком приемных вибраторов. В начальной точке измерений, расположенной в дальней зоне излучателя, для всех трех волн производят измерение напряженности электрического поля в нормальной плоскости относительно направления распространения электромагнитной волны при отсутствии поля подмагничивания и при постоянном поле поперечного ферромагнитного резонанса $H_{0\perp}$, создаваемом устройством подмагничивания в виде пустотелого цилиндра из ферромагнитного материала, внутри которого расположены приемные взаимно ортогональные вибраторы, а на внешней поверхности цилиндра находится соленоид подмагничивания [4]. Производят сканирование всей поверхности магнитодиэлектрического покрытия с адаптивным шагом сканирования. При этом важным условием работы устройства реализации метода является обеспечение режима бегущих волн. Получают шесть трехмерных матриц дискретных значений напряженности поля E : три матрицы для E - и H -волн E_{ijk} при отсутствии внешнего поля подмагничивания и три матрицы при внешнем поле подмагничивания $E_{ijk}^{0\perp}$. Объем (числовой) или размерность

матрицы $ijk = mnp$. Число точек сканирования по всей площади $S - ik = np$, в каждой точке (i, k) по оси y имеется j значений напряженности поля E (для E мод – это E_y , а для H мод – E_x и a). Напряженность электрического поля измеряется в каждой точке x_i, y_j, z_k информативного объема V по площади S , где $S \approx \sum_i \sum_k \Delta x_i \cdot \Delta z_k$, $V \approx \sum_i \sum_j \sum_k \Delta x_i \cdot \Delta y_j \cdot \Delta z_k$.

Получены исходные массивы данных:

$$\bar{E}_{ijk} = \begin{cases} \bar{j}E_j & \text{для } E\text{-волны;} \\ iE_i \text{ и } kE_k & \text{для } H\text{-волны;} \end{cases} \quad \bar{E}_{ijk}^{0\perp} = \begin{cases} \bar{j}E_j^{0\perp} & \text{для } E\text{-волны;} \\ iE_i^{0\perp} \text{ и } kE_k^{0\perp} & \text{для } H\text{-волны.} \end{cases}$$

Для трех длин волн по исходному массиву данных \bar{E}_{ijk} рассчитывают коэффициенты нормального ослабления поля волн – получают три трехмерные матрицы $\alpha_{\lambda_1}^{i,(j-1),k}$, $\alpha_{\lambda_2}^{i,(j-1),k}$, $\alpha_{\lambda_3}^{i,(j-1),k}$. Определяют математическое ожидание и получают три дискретных поля по всей площади сканирования $S - m_{\alpha_{\lambda_1}}^{i,k}$, $m_{\alpha_{\lambda_2}}^{i,k}$, $m_{\alpha_{\lambda_3}}^{i,k}$. Производят расчет значений толщины и действительных частей комплексных величин диэлектрической и магнитной проницаемостей, решая систему трансцендентных уравнений [2] – получают дискретные поля $b_{i,k}(i\Delta x, k\Delta z)$, $\epsilon'_{i,k}(i\Delta x, k\Delta z)$, $\mu'_{i,k}(i\Delta x, k\Delta z)$ по всей площади сканирования.

Аналогично по массивам данных \bar{E}_{ijk} и $\bar{E}_{ijk}^{0\perp}$ рассчитывают коэффициенты затухания поля вдоль направления распространения волны, обусловленные омическими потерями. Таким образом, получают дискретные поля потерь $\alpha_{Z_{\lambda_1}}^{i,j,(k-1)}$, $\alpha_{Z_{\lambda_2}}^{i,j,(k-1)}$, $\alpha_{Z_{\lambda_3}}^{i,j,(k-1)}$ и $\alpha_{Z_{\lambda_1\perp}}^{i,j,(k-1)}$, $\alpha_{Z_{\lambda_2\perp}}^{i,j,(k-1)}$, $\alpha_{Z_{\lambda_3\perp}}^{i,j,(k-1)}$. Производят усреднение коэффициентов затухания поля для соответствующих длин волн или определение математического ожидания $m_{\alpha_{Z_{\lambda_1}}}^{i,k-1}$, $m_{\alpha_{Z_{\lambda_2}}}^{i,k-1}$, $m_{\alpha_{Z_{\lambda_3}}}^{i,k-1}$, $m_{\alpha_{Z_{\lambda_1\perp}}}^{i,k-1}$, $m_{\alpha_{Z_{\lambda_2\perp}}}^{i,k-1}$, $m_{\alpha_{Z_{\lambda_3\perp}}}^{i,k-1}$ и определяют значения мнимых частей комплексных величин диэлектрической и магнитной проницаемостей $\epsilon''_{i,k}(i\Delta x, k\Delta z)$, $\mu''_{i,k}(i\Delta x, k\Delta z)$ [5].

Таким образом, используя результаты вычислений, получают поля (матрицы) значений $b_{i,k}$, $\epsilon'_{i,k}$, $\mu'_{i,k}$, $\epsilon''_{i,k}$, $\mu''_{i,k}$. Определяют средние значения информативных параметров $b_{i,k}$, $\epsilon'_{i,k}$, $\mu'_{i,k}$, $\epsilon''_{i,k}$, $\mu''_{i,k}$ и получают «фоновые» или базовые значения для «условного» однородного топологически и электрофизически слоя – b_s , ϵ'_s , μ'_s , ϵ''_s , μ''_s (или $\dot{\epsilon}_s$, $\dot{\mu}_s$).

Для «условного» однородного слоя отклонение информативных параметров по всей площади покрытия S

$$\Delta b_{i,k} = b_{i,k} - b_s; \quad \Delta \epsilon'_{i,k} = \epsilon'_{i,k} - \epsilon'_s; \quad \Delta \mu'_{i,k} = \mu'_{i,k} - \mu'_s.$$

«Суперпозиция» полученных полей $\Delta b_{i,k}$, $\Delta \epsilon'_{i,k}$, $\Delta \mu'_{i,k}$ регрессионная аддитивная позволит оценить распределение информативных параметров по всей площади сканирования.

Для идентификации и оценки неоднородностей топологических и электрофизических параметров магнитодиэлектрического покрытия и визуализации их расположения по всему «информативному» объему по полученным значениям математического ожидания $m_{\alpha_{\lambda_1}}^{i,k}$, $m_{\alpha_{\lambda_2}}^{i,k}$, $m_{\alpha_{\lambda_3}}^{i,k}$ определяют дисперсию и получают три важнейших дискретных поля по всей площади сканирования $S - D_{\alpha_{\lambda_1}}^{i,k}$, $D_{\alpha_{\lambda_2}}^{i,k}$, $D_{\alpha_{\lambda_3}}^{i,k}$.

Для оценки отклонения коэффициента ослабления поля поверхностной медленной волны от математического ожидания в каждой точке x_i, z_k определяют три дискретных поля «невязок» (рис. 2) – дискретные суммы $\sum_{j=1}^n |\alpha_{\lambda_1}^{ik} - m_{\lambda_1}^{ik}| \cdot \Delta y_j$;

$$\sum_{j=1}^n |\alpha_{\lambda_2}^{ik} - m_{\lambda_2}^{ik}| \cdot \Delta y_j; \quad \sum_{j=1}^n |\alpha_{\lambda_3}^{ik} - m_{\lambda_3}^{ik}| \cdot \Delta y_j.$$

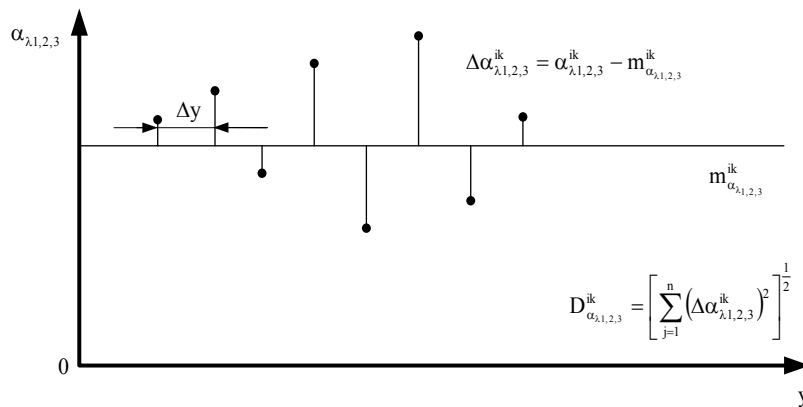


Рис. 2 Картина поля «невязок»

«Фоновые» значения полей «невязок»

$$\sum_{j=1}^n \Delta \alpha_{\lambda_1}^{ik} \cdot \Delta y_j = \Delta S_{\alpha_{\lambda_1}}^{ik}; \quad \sum_{j=1}^n \Delta \alpha_{\lambda_2}^{ik} \cdot \Delta y_j = \Delta S_{\alpha_{\lambda_2}}^{ik}; \quad \sum_{j=1}^n \Delta \alpha_{\lambda_3}^{ik} \cdot \Delta y_j = \Delta S_{\alpha_{\lambda_3}}^{ik}.$$

Усредняя значение математического ожидания $m_{\alpha_{\lambda_1,2,3}}^{i,k}$ по площади сканирования, получают три «фоновые» величины

$$m_s^{1,2,3} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^p m_{\alpha_{\lambda_1,2,3}}^{ik}}{np}.$$

Среднее значение дисперсии $D_{\alpha_{\lambda_1,2,3}}^{i,k}$ по площади сканирования S позволяет получить три «фоновые» величины дис-

$$D_s^{1,2,3} = m_{D_s}^{1,2,3} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^p D_{\alpha_{\lambda_1,2,3}}^{ik}}{np}.$$

Среднее значение полей «невязок» $\Delta S_{\alpha_{\lambda_1,2,3}}^{1,2,3}$ по площади сканирования S также позволяет получить три «фоновые» ве-

$$\Delta S_{\alpha_s}^{1,2,3} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^p \Delta S_{\alpha_{\lambda_1,2,3}}^{ik}}{np}.$$

«Отфоновые» матрицы $m_{\alpha_{\lambda_1,2,3}}^{i,k} - m_s^{1,2,3} = \Delta m_{1,2,3}$; $D_{\alpha_{\lambda_1,2,3}}^{i,k} - D_s^{1,2,3} = \Delta D_{1,2,3}$; $\Delta S_{\alpha_{\lambda_1,2,3}}^{i,k} - \Delta S_{\alpha_s}^{1,2,3} = \Delta S_{1,2,3}$ дают распределе-

ние математического ожидания, дисперсии и полей «невязок» по всей площади сканирования без «фона».

Характерный минимальный размер (порог чувствительности) неоднородности («отфоновый») не хуже $0,01 \lambda_{\text{rmin}}$ ($\min \lambda_{1,2,3}$). Оценка порога чувствительности по толщине покрытия показывает:

$$b_{\min} \geq 0,01 \lambda_{\text{rmin}} = \left| \lambda_{\text{rmin}} = 0,5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \right| = 50 \text{ мкм}.$$

«Фоновое» значения $D_s^{1,2,3}$ есть мера средней неоднородности материала. По объемной картине распределения $\Delta D_{1,2,3}$ имеем объемную фигуру над неоднородностью (рис. 3).

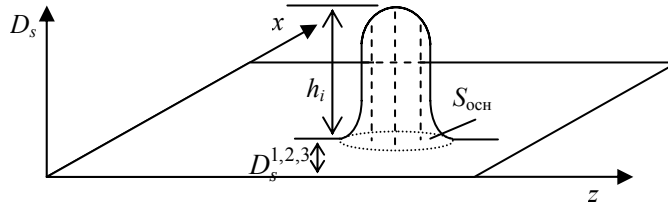


Рис. 3 «Фигура» неоднородности

Площадь основания «фигуры» неоднородности $S_{\text{очн}} = \Sigma \Delta x_i \cdot \Delta z_k = c_1$. «Информативный» объем «фигуры» $V_{\text{фиг}} = \Sigma \Delta D(x_i, z_k) \cdot \Delta x_i \cdot \Delta z_k = c_2$, высота «фигуры» $- h_i = c_3$, $\Delta D = F(x_i, z_k) = c_4(x_i, z_k)$. Вектор-идентификатор топологии $- \vec{c} \in (c_1 \dots c_4)$ экспериментальный и связан с геометрией неоднородности. Все неоднородности (электрофизические или топологические) можно свести к форме цилиндра: горизонтальной, вертикальной, наклонной или, как крайний случай, сферической, когда можно считать цилиндр квадратным. Это дает регрессионную экспериментальную связь вектора-идентификатора топологии с размерами, положением и формой неоднородности. Вектор \vec{c} дает окончательную визуализацию (или коррекцию визуализации) формы неоднородности.

Список литературы

- 1 Поверхностные волны и микроволновые устройства контроля электрофизических параметров магнетодиэлектрических покрытий на металле : монография / Д.А. Дмитриев, Н.П. Федоров, П.А. Федюнин, В.А. Русин ; под ред. Н.П. Федорова. – М. : Изд-во Машиностроение-1, 2004. – 196 с.
- 2 Пат. 2256115 РФ, МПК7 G 01 N 22/02, G 01 R 27/26. СВЧ способ локализации неоднородностей диэлектрических и магнетодиэлектрических покрытий на металле и оценка их относительной величины / Федюнин П.А., Дмитриев Д.А., Кабиров С.Р. – № 2003126856/09 ; заявл. 01.09.03 ; опубл. 10.07.05, Бюл. № 19.
- 3 Информативное сканирование и обработка неоднородных полей микроволновых поверхностных волн. Методы фрактального анализа в индикации и идентификации неоднородностей поглощающих покрытий военной техники / С.А. Дмитриев, А.А. Панов, Д.А. Дмитриев, П.А. Федюнин // Сборник докл. 8 Всерос. науч.-техн. конф. «Повышение эффективности средств обработки информации на базе математического моделирования». 26–27 апреля 2006 г. – Тамбов : ТВВАИ-УРЭ, 2006. – С. 409 – 418.
- 4 Пат. 2256168 РФ, МПК7 G 01 N 22/00, G 01 R 27/26. СВЧ способ определения толщины и комплексной диэлектриче-

ской проницаемости диэлектрических покрытий / Федюнин П.А., Дмитриев Д.А., Федоров Н.П. – № 2003126856/28 ; заявл. 01.09.03 ; опубл.10.03.05, Бюл. № 19.

5 Пат. 2273839 РФ, МПК⁷ G 01 N 15/00, G 01 R 33/00. СВЧ-способ измерения электромагнитных параметров диэлектрических и магнитодиэлектрических покрытий на металле и устройство для его реализации / Федюнин П.А., Федоров Н.П., Дмитриев Д.А., Каберов С.Р. – № 2003127808/28 ; заявл. 15.09.03 ; опубл. 10.04.06, Бюл. № 13.

А.В. Сидорин

Московский государственный институт радиотехники, электроники
и автоматики (технический университет)

ВНУТРИВУЗОВСКАЯ СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Документированная внутривузовская система менеджмента качества (СМК) в традиционном виде представляет собой совокупность нормативных документов на бумажных носителях, описывающих миссию, видение, цели, политику в области качества, руководство по качеству, а также регламентирующих планирование и выполнение процедур и процессов. Результативность и эффективность СМК в значительной степени может быть повышена за счет применения современных компьютерных технологий, благодаря которым взаимодействие процессов и обмен информацией осуществляется посредством так называемых электронных документов в формате CALS-технологий. Электронный документооборот позволяет повысить эффективность и результативность как отдельных процессов, так и СМК в целом, оптимизировать взаимоотношения вуза с поставщиками и потребителями. Не менее важным при этом является снижение временных и материальных затрат при проведении процессов, что в целом приводит к повышению качества подготовки специалистов и их конкурентоспособности.

К особенностям разработки и функционирования «электронной» СМК относятся электронный обмен данными о процессах с возможностью их постоянного совершенствования, «параллельная» обработка информации, стандартизация «электронного» обмена информацией на основе «электронных» нормативных документов, непрерывность получения информации и ее обработки в реальном масштабе времени, мониторинг процессов, манипулирование при этом кодами и символами процессов, необходимость в унификации методов и средств обмена данными.

Внутривузовская «электронная» СМК представляет собой интегрированную информационную среду (ИИС), в которой происходит распределение и взаимодействие информационных потоков между обобщенной базой данных (ОБД) и процессами в СМК, отображаемыми формализованными функциональными моделями (ФФМ). Их взаимодействие регламентируется документами организационного и нормативно-методического обеспечения.

Информация и документы СМК представляются в формате, регламентированном CALS-стандартами.

ФФМ представляют собой формализованное описание процессов и процедур СМК и используются для разработки и обращения нормативных документов в электронном виде. Они позволяют анализировать результативность процессов и системы качества в целом на основе критериев результативности, заложенных в их модели. Они позволяют также оценивать результативность и эффективность других видов деятельности вуза, заменяя традиционные текстовые бумажные документы стандартизованными электронными моделями.

ИИС в CALS-технологиях выполняет функцию информационного обеспечения и поддержки всех процессов в СМК, как основных, т.е. процессов подготовки специалистов, так и обеспечивающих и управляющих процессов. Все этапы управляемого процесса в ИИС отображаются как информационные объекты (ИО). Они описывают состав и все входящие в СМК процессы и процедуры, включая наряду с процессами обучения такие, как анализ договоров, контрактов, управление инфраструктурой, планирование процессов, повышение квалификации сотрудников, разработка учебных планов и рабочих программ по дисциплинам, оценка приобретенных знаний, мониторинг качества, управление персоналом.

В основу разработки «электронной» СМК Московского государственного института радиотехники, электроники и автоматики (технического университета), МИРЭА был положен опыт менеджмента качества промышленной продукции и СМК с применением CALS-технологий, требования ГОСТ Р ИСО 9001-2001, СМК МИРЭА, государственные образовательные стандарты. Разработка СМК на основе информационных технологий была подчинена решению задачи непрерывного информационного сопровождения обучающихся на всех этапах их жизненного цикла и непрерывному информационному обеспечению основного, управляющих, обеспечивающих процессов СМК. Это потребовало моделирования процессов и процедур, разработки системы классификации и кодирования процессов, процедур и обучаемых, формирования интегрированной информационной среды (ИИС), разработки «электронных» нормативных документов СМК и системы безбумажного мониторинга, предусматривающей процедуру постоянного улучшения, а также «электронных» учебных планов, рабочих программ по дисциплинам, учебно-методических материалов.

В СМК МИРЭА на основе так называемого многомодельного подхода ядро системы – интегрированная информационная среда и обобщенная база данных, к которой могут обращаться различные проблемно-ориентированные модели. В ОБД хранятся информационные объекты, адекватно отображающие в информационном виде процессы, процедуры, обучаемых. Модели процессов, процедур, обучаемых через специализированные приложения обращаются в ОБД, находят в ней необходимые ИО, обрабатывают их и помещают в ОБД результаты этой обработки.

CALS-ориентированная СМК МИРЭА предназначена для выполнения следующих функций:

- получение и обработка информации;
- анализ и использование информации;

- обмен и пересмотр информации;
- добавление новой информации;
- преобразование, изменение информации;
- просмотр/утверждение информационных материалов;
- распространение информации;
- работа над ошибками, анализ причин их возникновения (корректирующие действия).

В числе информационных моделей «электронной» СМК МИРЭА – функции СМК, карты процессов и критерии их результативности (в формате IDEF0), распределение ответственности высшего руководства предприятия, функции исполнителей, нормативные документы СМК, шаблоны для сбора данных о качестве.

ИИС формируется на следующих принципах:

- прикладные программные средства отделены от данных;
- структуры данных и интерфейс доступа к ним стандартизованы;
- данные о процессах, обучающихся, преподавателях, специалистах и ресурсах не дублируются, число ошибок в них минимизируется (таким образом обеспечиваются полнота и целостность информации);
- прикладные программные средства должны обеспечивать совместимость работы с другими вузами, предприятиями и учредителями.

ОБД состоит из трех разделов: нормативно-справочного, главного и текущего. Главный раздел содержит информационные образы процессов и процедур СМК, ГОСы, учебные планы, рабочие программы дисциплин, учебно-методические комплексы, положения о курсовых работах и проектах, дипломном проектировании, положения о кафедрах, факультетах, деканах и зав. кафедрами, преподавателях. ИО текущего раздела включает данные абитуриентов, студентов по факультетам и специальностям, успеваемости, аттестации и трудоустройства студентов, отзывов работодателей.

Поэтапное формирование в МИРЭА СМК на основе информационных компьютерных технологий включает разработку основных положений, принципов и правил, электронных информационных описаний процессов, процедур, обучаемых (на основе стандартов STEP), системы обмена информацией, каталогизацию обучаемых и специалистов, документирование, обмен и хранение информации, а также системы управления проектами и реализации их результатов. Вместе с решением задачи совместимости с СМК других вузов, учредителей, предприятий и организаций-«потребителей» подготовленных специалистов решается и задача информационной безопасности. Сертификация «электронной» СМК на соответствие ГОСТ Р ИСО 9001-2001 создает условия для постоянного развития и повышения качества подготовки специалистов в МИРЭА.

СМК Московского государственного института радиотехники, электроники и автоматики (технического университета), МИРЭА на основе CALS-технологий обеспечивает выполнение его миссии, состоящей в гарантированном качестве подготовки специалистов на всех его этапах за счет «электронного» управления процессами, приближающегося по скорости к управлению в реальном масштабе времени.

«Электронная» СМК МИРЭА, регламентируя все этапы обучения, способствуют непрерывному улучшению качества и позволяют руководству гарантировать, что все организационные, административные и человеческие факторы, влияющие на качество обучения, являются управляемыми, а система качества учитывает запросы и ожидания заинтересованных сторон и обеспечивает образовательному комплексу и МИРЭА в целом конкурентоспособность.

В.В. Щипанов, Ю.К. Чернова

Тольяттинский государственный университет

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ МЕТРИКИ «6 СИГМ»

Сегодня многие компании в России начинают внедрять методологию бережливого производства. На наш взгляд наиболее выгодно осуществлять интеграцию бережливого производства (БП) в действующую систему менеджмента качества (СМК). Интегративная система «СМК+БП» позволяет повышать качество изготавливаемой продукции и снижать издержки производства.

Эффект от внедрения системы «СМК+БП» необходимо определять по трем направлениям:

- качество (Q) (**организация** производственного процесса, обеспечивающего требуемый уровень качества, **снижение** уровня дефектности, **повышение** компетентности персонала);
- снижение затрат потерь (З) (**сокращение** затрат на качество; **сокращение** потерь от брака, **ликвидация** 3-х «МУ», неисправностей и простоев оборудования; **снижение** ожиданий; **предотвращение** потерь за счет методов бережливого производства);
- производительность (П) (**эффективное** использование рабочих мест, **сокращение** ненужных запасов, **повышение** скорости процессов, **повышение** ответственности персонала).

Внедрение БП должно опираться на следующие законы.

Нулевой закон: Закон рынка.

Вопросы критичные для качества с точки зрения потребителя следует решать в первую очередь.

Первый закон: Закон гибкости.

Скорость процесса прямо пропорциональна гибкости, зависящей от времени оборачиваемости рабочего места.

Сокращение времени оборота рабочего места уменьшает объем партии при сохранении уровня потока спроса. Этот

принцип распространяется на всю цепочку поставок. Максимальная гибкость достигается в результате перехода на минимальные объемы партии.

Минимальный объем партии = Минимальное время оборота рабочего места × Уровень потребительского спроса.

Второй закон: Закон фокусирования.

Если эффективность цикла меньше 5 %, то 80 % времени исполнение для данного процесса составляют задержки, вызванные всего 20 % операций на рабочем месте.

Третий закон: Закон скорости.

Средняя скорость потока процесса обратно пропорциональна числу «изделий» в процессе и средней вариабельности спроса и предложений.

Можно ускорить процесс и сократить время исполнения заказа, уменьшив число «изделий в процессе». Фактически можно значительно сократить объем незавершенного производства через уменьшение вариации и качества у поставщиков.

Многие компании провозглашают, что потребителя являются для них высшим приоритетом. На самом деле они рентабельность ценят выше степени удовлетворения потребителей, так как у них нет системы измерения, позволяющей определять степень этого удовлетворения. Организации, не измеряющие того, что они декларируют в качестве своей ценности, не могут знать много о том, что они провозглашают такими ценностями, не могут контролировать динамику того, что они, якобы, ценят. Другими словами, они не могут совершенствовать того, что они не измеряют.

Методология 6 sigma начинается с измерения действительно значащих для компании вещей с точки зрения ценностей и удовлетворения потребителей, целенаправленной работы по определению путей совершенствования деятельности в этом направлении. Поэтому определение качества как степени соответствия стандартам, когда созданные товары и услуги попадают в границы параметров, заданных в спецификациях, не отвечает современным требованиям. В него должны быть включены экономическая ценность и практическая полезность продукции как для компании, так и потребителя. В связи с этим можно определить качество как состояние, при котором заявленная ценность реализуется и обеспечивается как для потребителя, так и для производителя в каждом аспекте деятельности.

6 sigma – это целевой показатель, который применяется к единой характеристике, критичной для качества (СТQ), а не для всего продукта (средняя вероятность несоответствия продукта заданным параметрам составляет 6 sigma).

Чем выше уровень sigma, тем меньше вероятность, что процесс приведет к дефектам. Каждая дополнительная sigma порождает экспоненциальное сокращение дефектов, повышение надежности продукции, снижение издержек, рост удовлетворенности потребителей.

Введенные в методе 6 sigma показатели позволяют управлять качеством процессов и качеством продукции. К ним относятся **показатель промежуточной мощности (ППМ), показатель сквозной мощности (ПСМ) и показатель нормированной мощности (ПНМ).**

ППМ – это вероятность того, что все возможности совершать дефекты на конкретном шаге процесса соответствуют стандартным показателям, т.е. вероятность «выполнения всего правильно» в конкретной точке процесса.

ПСМ – это вероятность того, что единица товара или услуги пройдет через весь процесс без появления у нее дефектов, т.е. вероятность выполнения всего правильно на каждом шаге по всей серии шагов процессов.

ПНМ – средняя сквозная мощность, получаемая на любом шаге процесса. Она отражает ожидаемую «типовую мощность», это измерение базового уровня, от которого происходит расчет sigma.

Каждое из измерений этих показателей (мощностей) основывается на числе полученных дефектов, в то время как классические измерения этого рода на числе выпущенных изделий независимо от числа возможных дефектов в каждой единице. Другими словами, показатель соответствия продукции нормам с первого раза «чувствителен к числу единиц», а промежуточный показатель соответствия продукции – к числу дефектов. Показатель соответствия продукции нормам на выходе сообщает о доле товаров или услуг, которые прошли инспекцию, в то время как показатель сквозного соответствия продукции нормам – о вероятности, что любая данная единица пройдет весь процесс без ошибок. ПСМ ниже соответствующего показателя соответствия продукции нормам на выходе, но он сообщает о том, что предстоит сделать.

ППМ – вероятность «соответствия стандартам» по всем характеристикам, критичным для качества для конкретного шага в процессе.

Классические показатели могут представить более оптимистическую и более безоблачную картину в отношении реальной эффективности процесса, в то время как показатели, учитывающие дефекты, имеют высокую корреляцию с таким аспектом производства, как затраты, потери и время выполнения заказа.

ПСМ – это вероятность удовлетворения всем требованиям на протяжении всего процесса, а не только тем требованиям, которые связаны с функциональностью продукта.

Компания должна иметь высокие значения ППМ на каждом шаге, чтобы добиться высоких значений ПСМ и пытаться минимизировать общее число шагов и число СТQ.

ПНМ эквивалентен $\sqrt[k]{\text{ПСМ}}$, где k – число шагов процесса. Усреднение через мультипликативный показатель отражает выровненные значения ко всем шагам процесса.

ППМ, ПСМ и ПНМ имеют важное значение для бизнеса, так через них компания может получать более точную оценку своих процессов. После того как компании узнают свою истинную мощность, они могут начать задавать действительно стимулирующие цели и отслеживать степень совершенствования для повышения качества и сокращения времени выполнения заказов и затрат.

Все товары и услуги – это результаты процессов, вот почему все внимание должно уделяться им, а не результатам

Определение характеристик, критичных для качества СТQ, и методов их измерений позволит показать их корреляцию с характеристиками ключевого процесса и управляющими воздействиями, чтобы они могли определить направление улучшения процесса. Для этого компания должна иметь метрики процессов – постоянно совершаемые измерения, отражающие, на-

сколько хорошо создают товары и услуги. Неправильные или неподходящие метрики могут вводить в заблуждение и скрывать истинное понимание вещей. Майкл Хэрри и Ричард Шредер утверждают: «По сути существуют три фундаментальные метрики, которые если применяются совместно, могут выявить даже малейшие неэффективности в процессе». К числу таких метрик относятся ППМ, ПСМ, ПНМ.

Реализация 6 sigma требует, чтобы процессы измерялись с разных сторон, чтобы дать им характеристику; узнать, как исходные данные связаны с выходными, выполняются ли они в пределах заданных спецификаций; оценить степень удовлетворения потребителей и определить связи этой степени с ключевыми процессами; обеспечить базовый уровень корреляции между показателями процесса и затратами; понять, в какой степени процессы совершенствуются, и сохранить полученные высокие результаты; определить, является ли процесс стабильным или предсказуемым и разобраться, насколько процесс подвержен отклонениям.

В.И. Барсуков, А.А. Емельянов, Д.Ю. Барсуков

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

**ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРА ИЗМЕНЕНИЯ ДИСПЕРСНОСТИ
АЭРОЗОЛЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО
В ПЛАМЕННОЙ ФОТОМЕТРИИ**

Величина аналитического сигнала при регистрации спектров излучения и поглощения атомов в газовой плазме зависит от общей поверхности частиц аэрозоля, поступающих в плазму [1, 2], поэтому представляет интерес изучить работу используемой распылительной системы.

Дисперсный состав аэрозоля, генерируемого распылителем, а также крупность частиц на выходе распылительной системы контролируются с помощью 8-ступенчатого каскадного импактора [3 – 5], который дает ряд преимуществ по сравнению с другими методами изучения аэрозоля. Измерения проводились следующим образом.

Раствор стронция с концентрацией 20 г Ме/л распылялся концентрическим распылителем, а полученный аэрозоль прокачивался через импактор с расходом воздуха 7 л/мин, на различных ступенях которого оседало различное количество раствора. Фильтры ступеней промывались равным количеством бидистиллированной воды, а содержание стронция определялось пламенно-фотометрическим методом.

Масса вещества, оседающего на ступенях импактора

$$M = K_{\psi} m n_0 Q \tau, \quad (1)$$

где K_{ψ} – коэффициент оседания частиц в импакторе, $K_{\psi} = f(Q)$; m – масса частицы аэрозоля; n_0 – число частиц аэрозоля, вырабатываемых распылителем; τ – время работы импактора совместно с системой распыления; Q – расход раствора. Масса одной сферической частицы

$$m = \frac{1}{6} \rho \pi D^3, \quad (2)$$

где ρ – плотность распыляемого раствора.

Подставляя (2) в (1), получим

$$M = K_{\psi} \frac{1}{6} \rho \pi D^3 n_0 Q \tau,$$

а поделив обе части на объем V , имеем

$$C = K_{\psi} \frac{1}{6} \rho \pi D^3 n_0 Q \tau V^{-1}. \quad (3)$$

Решая (3) относительно диаметра частиц, объединяя постоянные и вводя коэффициент разделения K_1 частиц аэрозоля по ступеням импактора, получим

$$D = K_1 K_3 \sqrt[3]{\frac{CV}{\rho \tau Q}}; \quad (4)$$

$$Q = \frac{V}{\tau} 60, \text{ мл/мин}; \quad Q_n = \frac{\Delta m}{\tau \rho} 60, \text{ мл/мин},$$

где $V = 10$ мл – объем раствора, подаваемого в распылительную систему; τ – время распыления 10 мл раствора, с; Δm – масса раствора, осевшего в поглотителе, г; ρ – плотность раствора, г/см³.

Коэффициент разделения определяет диапазон частиц различных диаметров, осевших на данной ступени импактора, и определяется геометрическими размерами ступеней импактора:

$$K_1 = f\left(\frac{d}{l}\right),$$

где d – диаметр сопла отдельных ступеней импактора, мм; l – расстояние от сопла до фильтра для отдельных ступеней импактора, мм.

Калибровка импактора для аэрозоля известным распределением частиц по диаметрам позволяет определять диапазон частиц, осевших на данной ступени. Увеличение рабочего давления воздуха в распылителе от 0,4 до 1,34 кгс/см² приводит к

перегруппировке плотности распределения частиц аэрозоля по диаметрам и к смещению центра распределения в сторону образования более мелкого аэрозоля (табл. 1). Видно, что процентное содержание массы частиц аэрозоля уменьшилось с 51,05 до 13,71 % для диаметра 0,87 ... 4,65 мк. Среднемассовый диаметр частиц уменьшился с 40,33 мк для давления воздуха равного 0,4 кгс/см² до 15,90 мк для давления воздуха 1,34 кгс/см² (табл. 2).

1 Влияние рабочего давления воздуха в распылителе на фракционный состав частиц аэрозоля до и после распылительной системы пламенного фотометра

№ ступени	Диаметр частиц аэрозоля, мк			Процент массы частиц аэрозоля при рабочем давлении воздуха в распылителе, кгс/см ²			
	Макси-мальный	Мини-мальный	Сред-ний	0,4	0,8	1,2	1,34
1 а	100,00	43,80	71,90	51,050	19,775	22,734	13,711
б	-- «--	-- «--	-- «--	0,367	0,252	0,200	0,383
2 а	43,30	22,70	33,25	4,158	1,960	5,194	6,688
б	-- «--	-- «--	-- «--	0,313	0,104	0,441	0,128
3 а	22,70	15,40	19,05	1,501	2,075	4,423	4,376
б	-- «--	-- «--	-- «--	0,223	0,104	0,200	0,293
4 а	15,40	8,42	11,91	2,751	5,550	10,393	5,017
б	-- «--	-- «--	-- «--	3,886	3,221	1,562	2,041
5 а	8,42	5,38	6,90	8,440	12,155	14,963	11,370
б	-- «--	-- «--	-- «--	25,010	18,150	17,301	11,267
6 а	5,38	3,91	4,65	11,348	17,390	16,794	16,387
б	-- «--	-- «--	-- «--	22,960	16,430	18,382	11,735
7 а	3,91	1,74	2,83	16,038	26,145	20,016	23,745
б	-- «--	-- «--	-- «--	26,260	32,770	33,521	35,374
8 а	1,74	0,26	1,00	4,314	12,985	4,886	18,728
б	-- «--	-- «--	-- «--	21,00	28,889	28,395	38,776

2 Влияние рабочего давления воздуха на среднемассовый диаметр частиц аэрозоля до и после распылительной системы

	Средний диаметр частиц аэрозоля (мк) при рабочем давлении воздуха в распылителе, кгс/см ²			
	0,4	0,8	1,2	1,34
После распылителя	40,330	18,480	22,650	15,900
После распылительной системы	4,598	3,810	3,758	3,358

Однако крупность частиц на выходе распылительной системы, определяющая величину аналитического сигнала, при изменении давления воздуха в тех же пределах меняется незначительно (среднемассовый размер частиц 3 ... 4 мк).

Количество пробы, поступающей в пламя, при увеличении давления воздуха до 0,8 кгс/см² возрастает от 0,121 до 0,157 мл/мин, а при дальнейшем увеличении давления воздуха снижается до 0,08 мл/мин (табл. 3).

3 Влияние давления рабочего воздуха в распылителе на поступление раствора в пламя и КПД распылительной системы

Давление воздуха в распылителе, кгс/см ²	Расход раствора, мл/мин		КПД распылительной системы пламенного спектрофотометра, %
	На входе в камеру распыления	На выходе камеры распыления	
0,64	7,94	0,121	1,21
0,80	8,70	0,156	1,56
0,96	8,90	0,130	1,30
1,12	8,69	0,124	1,24
1,28	7,21	0,082	0,82
1,44	7,15	0,079	0,79

4 Проверка воспроизводимости измерения распределения частиц аэрозоля по размерам с помощью импактора

№ ступеней	Диаметр частиц аэрозоля, мк			Средне-массовый		Процент распыленного раствора, осаждающегося на данной ступени	
	Макси-мальней	Мини-мальней	Средней	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 1	Опыт 2
1	100,0	43,80	71,90	18,99	17,97	19,90	17,76
2	43,80	22,70	33,25			2,81	3,11
3	22,70	15,40	19,05			4,00	4,15
4	15,40	8,42	11,91			5,33	5,77
5	8,42	5,38	6,90			9,21	15,10
6	5,38	3,91	4,65			17,01	16,17
7	3,91	1,74	2,83			29,34	26,95
Фильтр	1,74	0,00	0,87	11,90	10,07		

Оценка точности метода показала, что ошибка для испытаний, проведенных в различные дни, не превышает 6 % (табл. 4). Таким образом, изменение предела обнаружения определяется, в основном, поступлением пробы в пламя, а не изменением крупности частиц аэрозоля на выходе распылительной системы.

Список литературы

- 1 Грин, Х. Аэрозоли, пыли, дымы, туманы / Х. Грин, В. Лейн. – Л. : Химия, 1972.
- 2 May, K.H. Размеры капель аэрозоля в пламенной спектрофотометрии / K.H. May, J. Seint // Just. – 1976. – Vol. 22. – P. 187.
- 3 Определение дисперсности туманов серной кислоты / В.В. Маликов, Б.И. Мягков, А.А. Русанов, С.С. Янковский // Химическая промышленность. – 1970. – № 5. – С. 365.
- 4 Барсуков, В.И. Пламенно-эмиссионные и атомно-абсорбционные методы анализа и инструментальные способы повышения их чувствительности / В.И. Барсуков. – М. : Машиностроение-1, 2004.

Д.С. Волков, В.П. Беляев, М.В. Забавников

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СЕРОБИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО

Климатические условия нашей страны с ярко выраженной холодной зимой, жарким летом и дождливым межсезоньем создают сложные условия для длительной эксплуатации дорожного покрытия. В таких условиях очень важно, чтобы вяжущее в дорожном полотне сохраняло свои связующие свойства и препятствовало разрушению дороги. В летний период оно должно обладать теплоустойчивостью, не расплавляясь, в зимний – эластичностью, не становясь хрупким, в межсезонье – препятствовать проникновению влаги в структуру дорожного покрытия. Применяемый дорожный битум не обеспечивает всех предъявляемых к нему требований, снижая эксплуатационные сроки дорог, что вызывает необходимость улучшать его свойства посредством использования различных модификаторов.

Целью настоящих исследований является разработка рецептуры и технологии получения модифицированного битумно-вяжущего, позволяющего использовать в асфальтобетонных смесях местные некондиционные каменные материалы: песчаные грунты, золы и, в особенности, шлаки Новолипецкого металлургического комбината и получать более высокое качество дорожных покрытий при снижении себестоимости асфальтобетонных смесей.

Исследования, проведенные в других регионах России, в частности, в Астрахани, Самаре, Татарстане, а также в странах зарубежья, в частности, во Франции, Канаде, Польше выявили эффективность использования в качестве модификатора битума серы – одного из побочных продуктов перегонки нефти с высокой концентрацией серосодержащих продуктов.

В основу технологии получения серобитумных вяжущих положен принцип получения коллоидного раствора сера-битум, устойчивого при хранении, переплавке, перевозке и используемого в производстве так же, как и обычный битум. В химическое взаимодействие с битумом вступает незначительное количество серы 5–7 % по массе. Остальная часть серы с развитой удельной поверхностью, находясь в коллоидном состоянии, участвует в формировании структуры асфальтобетона.

Асфальтобетонные покрытия, полученные на серобитумном вяжущем, по сравнению с традиционными дорожными одеждами обладают более высокой теплоустойчивостью, что снижает образование колеи и прочих пластических деформаций в летнее время, обладают меньшей жесткостью при низких температурах, что способствует снижению трещинообразования в зимнее время, проявляется устойчивость к динамическим нагрузкам. Кроме перечисленных улучшений в физико-механических показателях, существует еще и экономическая сторона вопроса. Замена части битума на более дешевую и

доступную серу позволяет снизить затраты на асфальтобетон.

Для исследования процессов получения модифицированных серой битумов и свойств получаемых асфальтобетонных смесей на местных материалах созданы соответствующие лабораторные установки и испытательные стенды: обогреваемые смесители периодического действия с различными рабочими органами и варьируемой частотой вращения, специальное прессовое оборудование, климатические камеры, обеспечивающие режимы заморозки – оттаивания испытуемых дорожных одежд, контрольно-измерительная аппаратура. Данная работа проводится в содружестве с дорожным предприятием ООО «Тамбовагропромдорстрой» г. Тамбова.

А.А. Голощанов

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ОПТИМИЗАЦИЯ МОДЕЛЕЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ*

Проведен сопоставительный анализ четырех методов калибровки $\{1, 1\}$ и $\{1, 0\}$, $\{0, 1\}$ и $\{0, 0\}$, оценены их преимущества и недостатки на примере определения влажности W по предельному току I_d , связанных математической моделью делителя токов

$$W = W_0 \ln \left(\frac{I_d}{I_s} \right)$$

с информативными параметрами W_0 и I_s , соответствующими максимальной норме влажности и минимальному току структуры сухого материала.

Оценить математические модели можно из сопоставления их оптимальных выражений, предельных образов характеристик и значений их параметров.

Модель $\{1, 0\}$ с фиксированной константой $W_0 = 1$ и функцией тока I_{is} структуры, компенсирующей неопределенность единичной нормы W_0

$$W = \ln(I_i/I_{is}), \quad (1)$$

организуют из модели с кодом $\{1, 1\}$ с двумя информативными параметрами $\{W_0, I_s\}$

$$W_{0i} = W_0 \ln(I_{di}/I_s). \quad (2)$$

Закономерности калибровки регламентируют тождественность эквивалентам $\{W_{0i}, I_{di}\}$ измеряемых величин $\{W_i, I_i\}$, что преобразует модели (1) и (2) к системе уравнений

$$\begin{cases} I_i = I_{is} \exp(W_i); \\ I_i = I_s \exp(W_i/W_{i0}). \end{cases} \quad (3)$$

Поделим первое уравнение системы (3) на второе и выразим калибровочную функцию тока I_{is} структуры

$$I_{is} = I_s \eta_w \quad (4)$$

через нелинейность η_w , компенсирующую неопределенность единичной нормы $W_0 = 1$ в виде отношения исследуемого $D = \exp(W_i)$ и нормируемого $D_0 = \exp(W_i/W_{i0})$ диапазонов:

$$\eta_w = \exp(W_i/W_0 - W_i). \quad (5)$$

Качественная оценка функции (4) показывает ее линейность $I_{is} = I_s$ при единичном значении нелинейности $\eta_w = 1$, что можно доказать количественно, приравнявая нулю производную $d\eta_w/dW_i = 0$ выражения (5). Это соответствует тождеству $\eta_w = W_0 = 1$, при этом функция I_{si} (4) стремится к информативному параметру $I_{is} = I_s$, соответствующему минимальному значению тока I_s структуры.

Тождество отражает предельное значение функции I_{is} при обнулении производной нелинейности (5) согласно алгоритму

$$\lim_{W_0 \rightarrow 0} I_{is} = I_s \exp(W_i - W_i) = I_s. \quad (6)$$

Следовательно, оптимальными значениями неопределенной постоянной и компенсирующей ее функции $\{W_0, I_{is}\} = \{1, 0\}$ служат информативные параметры $\{W_0, I_s\} = \text{opt}\{W_0, I_{is}\}$, преобразующие модель (1) со сложной калибровочной функцией I_{is} к оптимальной математической модели (2) с кодом $\{1, 1\}$, программно управляемым в адаптивном диапазоне по образцам с известными значениями, нормируемыми на его границах.

Модель $\{0, 1\}$ с произвольной постоянной I_0 и функцией нормированной влажности W_{i0} , компенсирующей неопределенность константы, имеет вид

$$W_i = W_{i0} \ln(I_i/I_0). \quad (7)$$

*Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора Е.И. Глинкина

Формула (7) следует из модели $\{1, 1\}$ с информативными параметрами $\{W_0, I_s\}$ (2) при замене минимального тока I_s структуры на произвольную константу I_0 , а максимальная влажность W_0 трансформируется в калибровочную функцию W_{i0} .

Сопоставим математические модели (7) и (2) по их нелинейности η_I при условии тождественности измеряемых $\{W_i, I_i\}$ и нормируемых $\{W_{0i}, I_{di}\}$ значений в процессе решения системы уравнений:

$$\begin{cases} W_i = W_{i0} \ln(I_i/I_0); \\ W_i = W_0 \ln(I_i/I_s). \end{cases} \quad (8)$$

Находим функцию калибровки W_{0i} , приравнявая уравнения системы (8)

$$W_{i0} = W_0 \eta_I, \quad (9)$$

с учетом нелинейности η_I , компенсирующей неопределенность постоянной I_0 по зависимости

$$\eta_I = \frac{\ln(I_i/I_0)}{\ln(I_i/I_s)}. \quad (10)$$

Качественная оценка выражения (9) показывает предельное значение информативному параметру W_0 калибровочной функции W_{i0} при единичном значении нелинейности $\eta_I=1$. Количественную оценку находят оптимизацией соотношения (10), приравнявая нулю его производную $d\eta_I/dI_i=0$, откуда $\eta_I=1$. Следовательно, оптимальное значение константы I_0 эквивалентно информативному параметру минимального тока I_s структуры $\text{opt}(I_0) = I_s$. Это в свою очередь требует стабилизации функции W_{i0} к оптимальному значению информативного параметра W_0 максимума нормированной влажности. Информативные параметры $\{W_0, I_s\}$, как предельные значения $\text{opt}\{W_{i0}, I_0\}$, преобразуют модель (7) с кодом $\{0, 1\}$ к оптимальной математической модели (2) с кодом $\{1, 1\}$ программно управляемыми по алгоритмам оптимизации в адаптивном диапазоне образцами с известными значениями влажности, нормируемыми на его границах.

Модель $\{0, 0\}=\{W_{i0}, I_{is}\}$ с зависимыми калибровочными характеристиками максимальной влажности W_{i0} и минимальным током I_{is} структуры

$$W_i = W_{i0} \ln(I_i/I_{is}) \quad (11)$$

формируется из модели $\{1, 1\}$ с информативными параметрами $\{W_0, I_s\}$ (2) при их неопределенности.

Для сопоставления моделей $\{0, 0\}$ и $\{1, 1\}$ определим калибровочные характеристики W_{i0} и I_{is} из совместного решения выражений (11) и (2) при условии тождественности измеряемых $\{W_i, I_i\}$ и нормируемых $\{W_{0i}, I_{di}\}$ значений. Тождественность значений влажности $W_i = W_{i0}$ приводит к системе уравнений

$$\begin{cases} W_i = W_{i0} \ln(I_i/I_{is}); \\ W_i = W_0 \ln(I_i/I_s), \end{cases} \quad (12)$$

позволяющей найти образ калибровочной характеристики нормировки

$$W_{i0} = W_0 \eta_I \quad (13)$$

с нелинейностью η_I

$$\eta_I = \frac{\ln(I_i/I_s)}{\ln(I_i/I_{is})}. \quad (14)$$

Нелинейность зависимости (14) в отличие от выражения (10) усугубляется неопределенностью множества параметров I_0 , связанных калибровочной характеристикой I_{is} .

Тождественность значений токов $I_i = I_{di}$ преобразует модели (11) и (2) к системе уравнений

$$\begin{cases} I_i = I_{is} \exp(W_i/W_{i0}); \\ I_i = I_s \exp(W_i/W_0) \end{cases} \quad (15)$$

для получения калибровочной характеристики I_{is} минимального тока структуры

$$I_{is} = I_s \eta_w, \quad (16)$$

определяемой нелинейностью

$$\eta_w = \exp\left(\frac{W_i}{W_0} - \frac{W_i}{W_{i0}}\right). \quad (17)$$

Качественная оценка выражений (13) и (16) показывает, что предельными значениями характеристик $\{W_{i0}, I_{is}\}$ служат информативные параметры $\{W_0, I_s\}$ при единичных значениях нелинейностей $\eta_I = \eta_w = 1$. Количественную оценку находят оптимизацией нелинейностей (14) и (15) при равенстве нулю их производных: $d\eta_I/dI_i = 0$ и $d\eta_w/dW_i = 0$. В процессе решения также необходимо определить частные производные $\partial I_{is}/\partial I_i$ и $\partial(1/W_{i0})/\partial W_i$.

После нахождения производных оптимальное единичное значение предельного выражения нелинейности по току и

влажности соответствует $\text{opt} \eta_l = 1$ и $\text{opt} \eta_w = 1$. Полученные оптимальные решения требуют стабилизации функции (11) приведением к оптимальным значениям информативных параметров $\text{opt}\{W_{i0}, I_{is}\} = \{W_0, I_s\}$, которые преобразуют модель (11) с кодом $\{0, 0\}$ к оптимальной математической модели (2) с кодом $\{1, 1\}$.

Оценка нелинейностей модели $\{0, 0\}$ с зависимыми калибровочными характеристиками показывает ее преобразование к оптимальному образу модели $\{1, 1\}$ с программно управляемыми по образцам информативными параметрами.

Таким образом, анализ четырех методов калибровки показал усложнение методов по вектору $\{1, 1\} - \{0, 0\}$ при увеличении числа нелинейных калибровочных характеристик. Выявлено, что все модели с неявным решением стремятся к явной модели $\{1, 1\}$ с двумя информативными параметрами.

Э.В. Злобин, С.В. Курисов

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

МЕРОПРИЯТИЯ ПО УПРАВЛЕНИЮ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ

В настоящее время актуален вопрос управления процессами улучшения (реинжиниринга бизнес-процессов). Компании, ориентированные на улучшение своей деятельности пытаются выработать подходы и методологии к организации процесса улучшения деятельности.

Проект по улучшению бизнес-процессов должен быть разработан в соответствии со структурой организации. В проект вовлекается большое количество отделов и направлений (линейный менеджмент, члены административного аппарата, эксперты по административной организации). Эффективным подходом организацию временной отдельной структуры проекта делают два момента: требуемая вовлеченность сотрудников в проект (сотрудники должны иметь возможность полностью посвятить себя проекту) и случайный выбор характера мероприятий.

Однако один из факторов, приводящих к провалу проекта по улучшению бизнес-процессов во время мероприятия внедрения, состоит в том, что отдельные сотрудники, задействованные в текущем процессе, не были должным образом подготовлены к изменениям. И вновь мы хотим подчеркнуть значение мероприятий по управлению организационными изменениями. Если команда по улучшению процесса затягивает начало мероприятий по управлению организационными изменениями в административных мероприятиях по улучшению бизнес-процессов вплоть до этого момента, то она сама напрашивается на проблемы, и теперь уже будет слишком поздно для того, чтобы получить реальную поддержку и помощь от людей, которые должны осуществлять изменения. Разницу между хорошей и плохой работой по управлению организационными изменениями можно заметить по отношению людей, которые будут жить с этими изменениями (т.е. объектов изменения).

Так, модифицированные или новые процессы будут вводиться в действие соответствующими менеджерами или контактными группами. В течение этой фазы руководитель проекта будет играть опорную роль. Вначале следует убедиться в выполнении различных организационных условий. Также необходимо продумать следующие моменты:

- Достаточно ли имеется рабочей силы для осуществления административных бизнес-процессов.
- Достаточно ли имеется инструментов, таких как оборудование, системы документирования и т.д.
- Модификацию существующей организационной структуры.
- Работу с сотрудниками, занятыми в процессе.
- Управление переходом от старого процесса к новому.
- Предоставление отчетов внешним аудиторам, которые также задействованы в административном бизнес-процессе.

После внедрения процесса важно, чтобы менеджеры отделов, контактная группа и руководитель проекта провели мониторинг процесса с тем, чтобы убедиться в его правильном функционировании. Возможные непредвиденные проблемы должны решаться отдельной группой или подгруппой команды по улучшению процесса.

Во многих случаях перед формальным началом функционирования нового процесса проводится фаза пробного запуска. В течение этой фазы работают одновременно и новая, и существующая системы (частично).

Если после выполнения приемных испытаний будущими пользователями системы новый процесс функционирует согласно ожиданиям, то старый процесс тут же прекращается. Все вопросы, касающиеся фазы пробного запуска, безусловно, должны быть уже рассмотрены во время фазы проектирования. На этой фазе на организацию будет оказано дополнительно давление из-за потребности в дополнительной рабочей силе и инструментах.

После того, как новый процесс проработает некоторое время, необходимо провести оценку. Эта оценка, проводимая менеджерами отделов и контактными группами совместно с руководителем проекта, должна показать, удовлетворяет ли вновь начатый процесс всем ожиданиям. В случае необходимости процесс регулируется. Отчет о результатах оценки следует сдать команде по улучшению процесса.

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЛНОВОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ
ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ**

1 – Российский университет дружбы народов (г. Москва),

2 – Государственный университет – Высшая школа
экономики (г. Москва)

Для оценки экономической эффективности использования волнового метода контроля температурного коэффициента линейного расширения материалов был использован метод фактических затрат.

Рассмотрим результаты сравнительного анализа технико-экономических показателей по волновому методу контроля температурного коэффициента линейного расширения относительно статического (табл. 1).

**1 Результаты сравнительного анализа технико-экономических
показателей статического и волнового методов контроля
температурного коэффициента линейного расширения
материалов по одному показателю**

Показатель	Система приборного контроля на основе волнового метода	Прибор на основе статического метода контроля, используемый в технологическом процессе
Время контроля	9 мин	4 ч
Суммарная стоимость системы контроля, тыс. р.	3	30

Из таблицы следует, что система автоматического контроля на основе волнового метода при контроле температурного коэффициента линейного расширения доминирует относительно статического.

Чтобы улучшить свойства материала, необходимо изменять технологию изготовления изделия, а это возможно при наличии экспресс-контроля свойств материала.

Один цикл контроля образца статическими методами занимает 4 часа (половину рабочего дня) (табл. 1). Лишь после него можно проводить анализ технологии и изменять ее.

Применение волнового метода позволяет ускорить технологический цикл изменения технологии.

Таким образом, внедрение контроля может способствовать более быстрой выработке технологии.

Быстродействие контроля волнового метода выше, чем у статического, в

$$(4 \cdot 60)/9 = 240/9 = 26,7 \text{ раза.}$$

За счет этого можно обработать большее число образцов из партии контролируемого материала, собрать больше данных и подготовить документацию к анализу для технологов по изготовлению материала.

Большая оперативность позволяет ускорить время прохождения цикла принятия решения по улучшению технологии изготовления материала.

Волновой метод был использован в Федеральном космическом агентстве НПО им. Академика Пилюгина Н.

Применение метода позволило ускорить процесс изменения качества выпускаемого материала, что улучшает технико-экономические показатели выпускаемого центра изделия.

А.В. Озаренко, Ю.А. Брусенцов

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

**ТЕМПЕРАТУРНАЯ КОРРЕКЦИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ
ТЕНЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

В настоящее время при измерениях деформации, давления и других механических величин широко используются интегральные тензопреобразователи с тензочувствительной схемой в виде активного моста с четырьмя тензорезисторами. Такое решение позволяет значительно повысить чувствительность измерений благодаря тому, что два тензорезистора увеличивают свое сопротивление под влиянием деформации, а два других уменьшают.

Однако существенным недостатком таких тензопреобразователей (ТП) является температурная зависимость выходного сигнала. Сопротивления тензорезисторов зависят как от деформации, так и от температуры.

Температурная погрешность выходного сигнала ТП складывается из двух составляющих – аддитивной и мультипликативной.

Температурный дрейф нуля (аддитивная составляющая) – это приращение выходного напряжения в отсутствие приложенной нагрузки, отнесенное к номинальному значению выходного сигнала, при изменении температуры на 1 °С. Основная причина возникновения аддитивной составляющей технологический разброс температурных коэффициентов сопротивления (ТКС) тензорезисторов. Современная планарная технология позволяет воспроизводить параметры тензорезисторов с погрешностью 0,2 – 0,5 %, при этом температурный дрейф нуля ТП не более 0,002 – 0,005 %/ 1 °С.

Температурный коэффициент чувствительности (мультипликативная составляющая) – относительное изменение чувствительности при изменении температуры на 1 °С. Этот параметр обусловлен наличием температурной зависимости тензочувствительности полупроводниковых тензорезисторов и определяется в основном степенью легирования примесями, а также зависимостью упругих постоянных от температуры.

Для устранения температурной погрешности ТП разработано множество способов. Наиболее распространенные способы основываются на том, что питание тензомоста ТП осуществляется постоянным током или напряжением. Сущность метода коррекции температурной погрешности ТП при питании от источника тока заключается в том, что в топологию тензосхемы, кроме тензорезисторов, включаются элементы балансировки, позволяющие разрывом перемычек изменять начальный выходной сигнал моста. В этом случае можно установить такой начальный выходной сигнал ТП, что его величина не будет зависеть от температуры.

Коррекция погрешности при питании током наиболее просто осуществляется включением постоянного резистора параллельно одному из плеч моста с наибольшим значением температурного коэффициента сопротивления. Величина резистора выбирается из условия равенства начального выходного сигнала ТП при двух температурах, соответствующих границам температурного диапазона компенсации.

Однако указанные способы имеют существенные недостатки. Разрыв перемычек при балансировке тензосхемы осуществляется механическим путем, при этом на поверхности кристалла ТП возможно возникновение дефектов кристаллической решетки. При этом снижается надежность ТП и усложняется технология производства. Подключение внешних компенсационных резисторов также заметно снижает надежность ТП. Кроме того, такие способы не позволяют проводить настройку тензосхемы в автоматическом режиме и в случае изменения температуры балансировку необходимо проводить заново.

С целью уменьшения погрешности измерения и упрощения процедуры настройки предлагается использование тензопреобразователей с управляемыми тензорезисторами. Управляемый тензорезистор выполняется по стандартной планарной технологии на кремниевой подложке 1 (рис. 1).

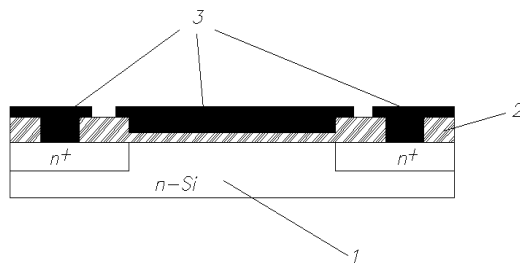


Рис. 1 Структура управляемого тензорезистора

В качестве диэлектрика используется оксид кремния SiO_2 2, электроды 3 выполнены напылением в вакууме алюминия. Предлагаемая структура отличается от типового МДП-транзистора тем, что в кремниевой подложке отсутствуют $p-n$ переходы и работает она в режиме обогащения основными носителями заряда. По сути своей это полупроводниковый резистор, управляемый потенциалом на изолированном электроде (затворе).

Применение данных управляемых тензорезисторов, объединенных в мостовую тензосхему, позволяет существенно упростить способ коррекции температурной погрешности за счет введения обратной связи на тензопреобразователь и проводить компенсацию в автоматическом режиме. Кроме того, повышается точность измерений за счет того, что балансировка тензосхемы осуществляется непрерывно подачей потенциала на изолированный электрод тензорезистора. В существующих аналогах балансировка начального сигнала путем разрыва перемычек не может обеспечить достаточной точности из-за дискретности сопротивления перемычек.

На рис. 2 показана обобщенная структурная схема устройства, реализующего способ температурной коррекции тензопреобразователей.

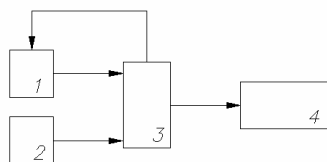


Рис. 2 Структурная схема устройства

В случае изменения температуры меняется сопротивление терморезистора и блок управления производит коррекцию выходного сигнала тензопреобразователя. Далее измененный выходной сигнал поступает на блок индикации. Блок управления осуществляет также балансировку начального сигнала тензопреобразователя путем изменения сопротивления тензорезисторов, включенных в мостовую схему.

Таким образом, предлагаемый способ термокомпенсации и устройство его реализующее позволяют значительно упростить процедуру настройки тензопреобразователя и уменьшить затраты времени необходимые на подготовку и проведение измерений. Введение обратной связи на тензопреобразователь позволяет повысить точность измерений. Кроме того, коррекция выходного сигнала может осуществляться непрерывно во время измерений в автоматическом режиме.

Список литературы

- 1 Полупроводниковые тензодатчики / под ред. М. Дина. – М. : Энергия, 1985. – 213 с.
- 2 Эрлер, В. Электрические измерения неэлектрических величин полупроводниковыми тензорезисторами / В. Эрлер, Л. Вальтер. – М. : Мир, 1974. – 285 с.
- 3 Озаренко, А.В. Интегральный полупроводниковый тензопреобразователь / А.В. Озаренко // Составляющие научно-технического прогресса : сборник материалов III междунар. науч.-практ. конф. 23–24 апреля 2007 г. – Тамбов : ОАО «Тамбов-полиграфиздат», 2007. – С. 138–140.

*Д.Л. Полушкин, А.С. Клинков, М.В. Соколов,
И.В. Шашков*

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ВАЛКОВО-ШНЕКОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕРМОПЛАСТОВ С ЗАДАНЫМ КАЧЕСТВОМ

В России ежегодно образуется около 130 млн. м³ твердых бытовых отходов. Из этого количества промышленной переработке подвергается не более 3 %, остальное вывозится на свалки и полигоны для захоронения. Утилизируемые отходы представляют собой серьезный источник загрязнения, однако при правильной организации управления отходами они могут являться неиссякаемым дополнительным сырьевым и энергетическим источниками ресурсов.

На кафедре «Переработка полимеров и упаковочное производство» ТамбГТУ разработана технология и оборудование для вторичной переработки отходов термопластичных полимерных материалов. Данная технология позволяет полностью исключить дробление, что дает возможность снизить энерго- и трудовые затраты и способствует уменьшению себестоимости продукции [1].

При вальцевании и экструзии полимеров существенное влияние на качественные показатели вторгранулята оказывает так называемая суммарная величина сдвига, которая зависит от различных конструктивных параметров валково-шнекового агрегата и технологических параметров процесса вальцевания и экструзии.

Суммарная величина сдвига для валково-шнекового процесса

$$\gamma_{\text{сум}} = \gamma_{\text{в}} + \gamma_{\text{ш}} + \gamma_{\text{фк}} ;$$

где $\gamma_{\text{в}}$ – суммарная величина сдвига для непрерывного процесса вальцевания; $\gamma_{\text{ш}}$ – суммарная величина сдвига в винтовых каналах шнека; $\gamma_{\text{фк}}$ – суммарная величина сдвига в формующих каналах.

Суммарная величина сдвига для непрерывного процесса вальцевания

$$\gamma_{\text{в}} = \sum_{j=1}^k \gamma_j ,$$

где γ_j – величина сдвига за один проход.

Отбор расплава с поверхности валков осуществляется с помощью экструзионной приставки. Качество экструдата также оценивается по суммарной величине сдвига $\gamma_{\text{ш}}$, которая представляет собой функцию различных конструктивных параметров шнека, формующих каналов экструзионной головки и технологических параметров процесса экструзии [2]:

$$\gamma_{\text{ш}} = \dot{\gamma}_{\text{п}} \tau ,$$

где $\dot{\gamma}_{\text{п}}$ – расчетная скорость сдвига в каналах шнека, с⁻¹:

$$\dot{\gamma}_{\text{п}} = \frac{\pi D n \left(\frac{1}{nr} + 1 \right)}{60h} ;$$

τ – время пребывания перерабатываемого материала в материальном цилиндре, с:

$$\tau = \frac{WhL}{Q \sin \varphi} ;$$

$W = (t - e) \cos \varphi$ – ширина винтового канала шнека, м; Q – производительность шнековой машины, м³/с.

Суммарная величина сдвига в формующих каналах

$$\gamma_{\text{фк}} = \sum_{i=1}^n \gamma_i .$$

Проведенные экспериментальные исследования показали работоспособность данной технологии и возможность использования ее в области утилизации отходов термопластов. Предложенная методика расчета суммарной величины сдвига позволяет определять качественные, а, следовательно, и физико-механические показатели вторично-переработанных полимерных материалов.

Список литературы

- 1 Валково-шнековая технология утилизации отходов пленочных термопластов / Д.Л. Полушкин, А.С. Клинков, М.В. Соколов, И.В. Шашков // Наука на рубеже тысячелетий «Science on a boundary of millenia» : 3-я Междунар. заочная науч.-практ. конф., 20–21 октября 2006 г. – Тамбов : ОАО «Тамбовполиграфиздат», 2006. – С. 74–75
- 2 Соколов, М.В. Расчет шнековых машин для переработки резиновых смесей при заданном качестве экструдата / М.В. Соколов // Вестник ТГТУ. – Т. 12, № 4А. – С. 468–474.

Е.С. Потапов, В.П. Беляев, О.Г. Маликов

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДОРОЖНОГО БИТУМА ПУТЕМ ЕГО МОДИФИКАЦИИ ОТХОДАМИ ПОЛИМЕРНОЙ ТАРЫ И УПАКОВКИ

Одним из способов улучшения качества дорожных покрытий в настоящее время является использование в качестве вяжущего битума, модифицированного различными добавками. Этот вид вяжущего характеризуется лучшими физико-механическими свойствами, чем обычный битум, в частности, имеет более широкий рабочий интервал температур и обладает таким полезным свойством, как эластичность. В настоящее время для повышения качества нефтяных битумов используются различные модификаторы, которые можно разделить на четыре группы: эластомеры (полибутадиен, полиуретан, полиизопрен), термопласты (полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид, этиленвинилацетат), термоэластопласты (например, блок-сополимер бутадиена и стирола-SBS) и терморезактивные смолы (эпоксидная смола и поликарбонат).

Недостатками известных технологий модификации битумов полимерными материалами являются высокая стоимость модификаторов, большие энергозатраты, высокая стоимость используемого оборудования. Поэтому перспективным направлением в целях экономии сырьевых и энергетических ресурсов является использование вторично переработанных полимерных материалов.

Технологический процесс модификации представляет собой высокотемпературное смешение (160–180 °С) битума с модификатором, пластификатором, стабилизатором и, в некоторых случаях, с поверхностно-активными веществами. При этом полимер распределяется в битуме, образуя определенную структуру.

Проведено исследование возможности улучшения физико-механических свойств битума марки БНД 60/90 путем добавления в него вторичного полиэтилена. Исследования проводились при различном процентном содержании полиэтилена, температуры и времени смешения на смесителях различного типа.

Был разработан смеситель периодического действия, обеспечивающий эффективное диспергирование расплавленного полиэтилена в битуме и их смешение в условиях различия плотностей. Причем, разработанный комплекс технологических операций при реализации нового способа модификации битума полиэтиленом позволил проводить процесс смешения при более низких значениях температуры – 130 °С и времени смешения – 30 мин, чем обеспечивается значительная экономия энергоресурсов. При этом достигнуто следующее улучшение физико-механических характеристик модифицированного битума: увеличение температуры размягчения с 48 до 66 °С по сравнению с исходным битумом, обеспечение эластичности 66 % при допустимом снижении пенетрации с 8,7 до 6,5 мм (данные приведены для 3 %-ного содержания полиэтилена в битуме).

М.В. Соколов, А.С. Клинков, П.С. Беляев, Д.В. Туляков

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭКСТРУЗИИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ЗАДАННОГО КАЧЕСТВА

Разработана методика инженерного расчета оптимальных технологических и конструктивных параметров процесса экструзии и червячного оборудования.

1. В качестве исходных параметров должны быть заданы: m_0 , n – реологические константы перерабатываемого материала при температуре входа $T_{см.вх}$; E – энергия активации; $\tau[T(t)]$ – кривая подвулканизации; $x_{i*} \leq x_i \leq x_i^*$ – ограничения на варьируемые параметры, где i – количество варьируемых параметров; ΔP , ΔT – перепад давления и температуры по длине червяка, соответственно; Q – производительность червячной машины; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала червяка (допускаемый прогиб) и материального цилиндра; ε – заданное значение критерия подвулканизации JB, соответствующее наилучшим показателям качества резинотехнических изделий (РТИ); ε_1 – заданное значение суммарной величины сдвига γ , соответствующее наименьшим изменениям размеров поперечного сечения экструдата $\delta_{охл}$.

2. Постановка задачи расчета: *вариант 1* – разработка производства РТИ экструзионным методом и проектирование нового червячного оборудования; *вариант 2* – модернизация существующего процесса и червячного оборудования при производстве РТИ.

3. По математической модели [1] при условии минимизации технологической мощности и соответствующих исходных

данных и ограничениях с помощью программного обеспечения [1] определяются: оптимальные технологические (ω – угловая скорость вращения червяка, N – полезная мощность) и конструктивные (h – глубина винтового канала червяка, его диаметр D и длина нарезной части L) параметры (вариант 1); оптимальные технологические (ω , N) и конструктивные (h) параметры (вариант 2).

Далее минимизируется масса материального цилиндра и червяка.

Приведен пример расчета оптимальных технологических и конструктивных параметров процесса и оборудования на примере экструзии резиновой смеси шифра НО-68-1.

Исходные данные: $c = 2100$ Дж/(кг·°С), $\rho = 1200$ кг/м³, $\lambda = 0,22$ Вт/(м·°С), $T_{ц} = 358$ К, $m_0 = 600$ кПа·сⁿ, $n = 0,2$ при $T_{см.вх} = 323$ К, $[\sigma] = 320$ МПа, $[y] = 0,0005$ м, $\varepsilon = 0,005$, $\varepsilon_1 = 3450$.

Начальные значения и границы варьируемых параметров:

$h_0 = 0,003$ м; $\omega_0 = 0,2$ с⁻¹; $h = (0,002 \dots 0,006)$ мм; $\omega = (0,2 \dots 7,85)$ с⁻¹.

Результаты оптимизации по второму варианту

$Q \cdot 10^{-5}$, м ³ /с	ΔP , МПа	$T_{см.вых}$, °С	ε	ε_1	$\delta_{охл}$, %	h^* , м	ω^* , с ⁻¹	N^* , кВт
0,4	5	100	0,5	3450	5	0,0032	3,75	0,41
0,6	10	90	0,5	3450	7	0,0038	5,65	0,61
0,8	15	80	0,5	3450	10	0,0045	7,52	0,94

Проведен расчет шнека с осевым отверстием и следующими исходными данными: $D = 0,032$ м; $p = 50$ МПа; расстояние между подшипниками $a = 0,016$ м; $L = 0,32$ м; $[y] = 0,0005$ м; $(0,001 \leq x_1 \leq 0,006)$ м; $(0,001 \leq x_2 \leq 0,004)$ м; $(0,001 \leq x_3 \leq 0,01)$ м; материал червяка сталь; $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; $\mu = 0,3$; $\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³. С помощью программы «minMSCRE» [2] получены следующие значения оптимальных параметров конструкции: $h = x_1^* = 0,0025$ м; ширина витка червяка $e = x_2^* = 0,0024$ м; радиус осевого отверстия $R_0 = x_3^* = 0,0078$ мм. Минимальная масса шнека $M_{min}^* = 6,56$ кг, что на 20 % меньше существующего.

Проведен расчет составного цилиндра: внутренний радиус гильзы $a = 0,016$ м; $p = 50$ МПа; $[\sigma]_1 = 566$ МПа; $[\sigma]_2 = 434$ МПа; $0,022 \leq x_1 \leq 0,028$ м; $0,028 \leq x_2 \leq 0,032$ м; $0,032 \leq x_3 \leq 0,042$ м; $0,006 \leq x_4 \leq 0,012$ м. С помощью программы «minMT-LC» [2] получены оптимальные параметры: внутренний радиус канала охлаждения $x_1^* = 21,9$ мм; наружный радиус канала охлаждения $x_2^* = 28,6$ мм; наружный радиус материального цилиндра $x_3^* = 32,8$ мм; шаг канала охлаждения $x_4^* = 6,6$ мм; масса участка единичной длины $M_{min}^* = 0,03$ кг, что на 20,5 % легче существующего.

Список литературы

1 Проектирование экструзионных машин с учетом качества резинотехнических изделий : монография / М.В. Соколов, А.С. Клинков, П.С. Беляев, В.Г. Однолько. – М. : Изд-во «Машиностроение-1», 2007. – 272 с.

2 Автоматизированное проектирование и расчет шнековых машин : монография / М.В. Соколов, А.С. Клинков, О.В. Ефремов, П.С. Беляев, В.Г. Однолько. – М. : Изд-во «Машиностроение-1», 2004. – 248 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ И ИХ ВОВЛЕЧЕННОСТИ В ПРОЦЕССЫ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ*

Часто приходится слышать и от руководителей организаций и от консультантов, что основным тормозом внедрения всего прогрессивного, включая регулярный менеджмент на основе международных стандартов ИСО, являются сотрудники (так называемый «человеческий» фактор). Поэтому необходимо применять числовые показатели к таким сложным, «интуитивно понимаемым», характеристикам систем, как удовлетворенность и вовлеченность персонала, оценивать успешность развития конкретной организации.

На основе обзора публикаций, посвященных внедрению систем менеджмента качества (СМК) в образовательных организациях, определены основные показатели для использования при внедрении процессов измерения, анализа и улучшения в системе менеджмента качества образовательной организации. Рассмотрены вопросы об измерении (оценке) удовлетворенности персонала и его вовлеченности в процессы системы менеджмента качества: проанализированы понятия «стимулирование», «мотивация», «удовлетворенность», «вовлеченность», дан обзор существующих методов оценки удовлетворенности и вовлеченности персонала в работу организации.

На начальном этапе разработки научно-методических подходов к формированию подсистемы измерения и анализа удовлетворенности преподавателей и их вовлеченности в процессы СМК образовательной организации для получения первичной информации об удовлетворенности преподавателей и их вовлеченности в процессы СМК были проведены опросы, интервью, анкетирование сотрудников, а также использованы данные отдела кадров. Анализ данных об удовлетворенности и вовлеченности персонала осуществляют с использованием инструментов и методов менеджмента качества.

В основе метода подготовки проектов управленческих решений по результатам анализа динамики изменения данных об удовлетворенности преподавателей и их вовлеченности в процессы СМК лежит зависимость вида:

$$m = -\frac{d \ln[Y(t)]}{dt} \approx \frac{\ln[Y(t_1)] - \ln[Y(t_2)]}{t_1 - t_2},$$

где $Y(t)$ – изменение оценки удовлетворенности (вовлеченности) преподавателей; t – время.

В ходе работы выделены основные этапы формирования и внедрения подсистемы измерения удовлетворенности преподавателей и их вовлеченности в процессы СМК. Для успешного ее функционирования представлена модель, определяющая взаимодействие данной подсистемы с другими процессами менеджмента качества образовательной организации.

Практическая отработка разработанных рекомендаций по формированию подсистемы измерения удовлетворенности преподавателей и их вовлеченности в процессы СМК проведена в рамках типичных кафедр образовательной организации с последующим представлением результатов.

Как известно, возможность объективного управления ходом процессов в системе менеджмента качества появляется только тогда, когда их владельцы могут оценивать (измерять, контролировать) показатели результативности и эффективности этих процессов. Поэтому в завершении работы представлены результаты оценки результативности и эффективности разработанной нами подсистемы измерения и анализа удовлетворенности преподавателей и их вовлеченности в процессы СМК на этапе их обработки в рамках типичных кафедр образовательной организации.

При проведении аудитов в организации, претендующих на сертификацию систем менеджмента качества, и организациях, уже сертифицировавших СМК, приходится констатировать: чем выше вовлеченность персонала в разработку и функционирование систем менеджмента качества, чем лучше обучены и мотивированы специалисты, тем качественнее документы СМК и выше результативность системы.

А.В. Трофимов, С.С. Пекина

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ И ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОЦЕССА «ВНУТРЕННИЙ АУДИТ» МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Для повышения результативности процесса «Внутренний аудит» в рамках системы менеджмента качества (СМК) машиностроительного предприятия разработана методика, которая учитывает и развивает положения ГОСТ Р ИСО 19011–2003, а также дополнительные требования ИСО/ТУ 29001:2003. Методика состоит из совокупности взаимосвязанных процедур, которые интегрированы и дополняют типовую схему проведения аудита по ГОСТ Р ИСО 19011–2003.

Методика проведения процесса «Внутренний аудит» включает в себя следующие новые процедуры:

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора С.В. Пономарева

- выбор объекта аудита;
- формирование целевой группы аудита;
- обеспечение компетентности аудиторской группы;
- проведение электронного опроса;
- комплексная обработка данных и анализ.

Последовательность процедур методики объясняется порядком их реализации при проведении внутреннего аудита согласно типовой схеме, приведенной в ГОСТ Р ИСО 19011–2003.

Методика оценки результативности процесса «Внутренний аудит» предусматривает необходимость определения показателей результативности работы процесса. Показатели результативности должны отражать цели, на выполнение которых направлено функционирование процесса СМК.

Для процесса «Внутренний аудит» сформулированы следующие показатели, ранжированные по возрастанию их значимости.

K_1 – соблюдение сроков разработки и утверждения Программы (и другой сопутствующей документации по внутреннему аудиту);

K_2 – соблюдение запланированных сроков проведения внутренних аудитов;

K_3 – количество (общее) несоответствий, выявленных при проведении внутреннего аудита на месте за отчетный период;

K_4 – количество несоответствий, выявленных повторно при проведении внутреннего аудита на месте за отчетный период;

K_5 – количество аудиторов, не прошедших тестирование по внутреннему аудиту;

K_6 – количество случаев расхождения данных электронного опроса с данными внутреннего аудита на месте;

K_7 – количество несоответствий, выявленных при внешнем аудите за отчетный период. K_7 является индикатором результативности процесса «Внутренний аудит».

При проведении ранжирования учитывался вклад каждого конкретного показателя в общую результативность процесса.

Для определения значений показателей $K_1 \dots K_6$, введены параметры $P_1 \dots P_6$, которые отражают степень достижения цели и запланированных результатов процесса и являются разностью или отношением между фактически достигнутым параметром и его запланированным значением.

Разработаны формулы для расчета значений $P_1 \dots P_6$, а также сформулированы условия для присвоения значений показателям $K_1 \dots K_6$. Кроме того, определен коэффициент весомости α_i для каждого из показателей. Значение α_i определено по степени значимости показателя и степени его вклада в общую результативность процесса «Внутренний аудит». Величина коэффициента весомости периодически пересматривается в зависимости от изменения целей процесса «Внутренний аудит» и достижения уровня результативности.

1 Расчет показателей результативности

Показатель K_i	Параметр P_i	Граничные условия	Коэффициент весомости α_i
K_1	$P_1 = N_{11} - N_{12}$	$K_1 = \begin{cases} 1, & 0 \leq P_1 \leq 7; \\ 0, & P_1 > 7 \end{cases}$	0,025
K_2	$P_2 = \frac{N_{21}}{N_{22}}$	$K_2 = \begin{cases} 1, & 0 \leq P_2 \leq 0,25; \\ 0, & P_2 > 0,25 \end{cases}$	0,025
K_3	$P_3 = \frac{N_{31}}{N_{32}}$	$K_3 = \begin{cases} 1, & P_3 < 1; \\ 0, & P_3 \geq 1 \end{cases}$	0,050
K_4	$P_4 = \frac{N_{41}}{N_{42}}$	$K_4 = \begin{cases} 1, & P_4 < 1; \\ 0, & P_4 \geq 1 \end{cases}$	0,200
K_5	$P_5 = \frac{N_{51}}{N_{52}}$	$K_5 = \begin{cases} 1, & P_5 < 0,25; \\ 0, & P_5 \geq 0,25 \end{cases}$	0,200
K_6	$P_6 = \frac{N_{61}}{N_{62}}$	$K_6 = \begin{cases} 1, & P_6 < 0,1; \\ 0, & P_6 \geq 0,1 \end{cases}$	0,500

В табл. 1 приведены показатели $K_1 \dots K_6$, формулы для расчета параметров $P_1 \dots P_6$, условия присвоения значений показателям и значение коэффициента весомости для $K_1 \dots K_6$.

Значение K_7 вычисляется как отношение количества несоответствий, выявленных внешним аудитом в текущем периоде, к количеству несоответствий, выявленных внешним аудитом в прошедшем отчетном периоде.

Если $K_7 \leq 0,5$ (т.е. количество несоответствий уменьшилось в 2 раза), то считается, что процесс «Внутренний аудит» функционирует результативно, в противном случае принимается решение о том, что процесс требует вмешательства с целью определения и устранения причин, которые привели к снижению результативности.

В те отчетные периоды, когда внешний аудит не проводился, расчет результативности осуществляется путем расчета интегрального показателя результативности процесса «Внутренний аудит» K_Q :

$$K_Q = \sum_{i=1}^6 \alpha_i K_i ; \quad \sum_{i=1}^6 \alpha_i = 1 .$$

N_{11} – фактическая дата утверждения Программы; N_{12} – плановая дата утверждения Программы; N_{21} – количество фактических случаев несоблюдения установленных сроков проведения аудита; N_{22} – общее количество проведенных аудитов за текущий период; N_{31} – количество несоответствий в текущем отчетном периоде; N_{32} – количество несоответствий в прошедшем отчетном периоде; N_{41} – количество повторно выявленных несоответствий в текущем отчетном периоде; N_{42} – количество повторно выявленных несоответствий в прошедшем отчетном периоде; N_{51} – количество аудиторов, которые не прошли тестирование в отчетном периоде; N_{52} – общее количество аудиторов, участвовавших в тестировании; N_{61} – количество фактов расхождения данных электронных опросов с данными аудита на месте; N_{62} – общее количество фактов сопоставления данных.

На основании анализа данных составлена квалитметрическая шкала оценки результативности процесса в зависимости от величины интегрального показателя K_Q (табл. 2).

В том случае, когда процесс достигает высокого уровня результативности (так как значение K_Q попадает в последний интервал шкалы), целесообразно определить мероприятия, направленные на улучшения данного процесса и пересмотреть текущие значения показателей процесса в сторону увеличения.

2 Квалитметрическая шкала оценки результативности

Диапазон значений K_Q	Характеристика процесса
0 ... 0,4	Процесс не результативен. Цели и задачи не были достигнуты, необходимо принятие срочных корректирующих действий для выявления и устранения причин несоответствий
0,4 ... 0,65	Низкий уровень результативности процесса. Данный процесс требует глубокого анализа
0,65 ... 0,85	Процесс результативен. Цели близки к достижению, необходимо разработать и провести мероприятия для предупреждения появления несоответствий
0,85 ... 1	Высокий уровень результативности процесса. Цели процесса выполнены практически в полной мере

Значение $K_Q > 1$ говорит о неверно выбранной цели процесса либо рангов (коэффициентов весомости) показателей результативности процесса.

Таким образом, результативно функционирующий процесс «Внутренний аудит» является инструментом управления, который позволяет определить, насколько результативно внедрена и эффективно работает СМК предприятия в целом.

Е.Е. Чепурнова

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА И СБАЛАНСИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ: ПРОТИВОРЕЧИЕ ИЛИ ЕДИНСТВО?

В настоящее время в условиях рыночной экономики и постоянно усиливающейся конкуренции для предприятий и организаций становится необходимым, а порой и жизненно важным применять и совершенствовать различные методики управления и оценивания их деятельности.

В данной статье рассматриваются два мощных инструмента менеджмента предприятий, которые, с одной стороны, имеют большое количество различий, а с другой, гармонично дополняют друг друга и могут служить хорошим механизмом управления для многих компаний.

Система менеджмента качества (СМК) как реализация стратегии организации

Система менеджмента качества – система менеджмента для руководства и управления организацией применительно к качеству [1].

В процессе своего развития система управления качеством претерпевала многие изменения, касающиеся как самого названия (например, в 50 – 70-х годах были разработаны такие системы, как БИП, КАНАРСПИ, КСУКП, являющиеся прототипом современной СМК), так и сути ее построения и внедрения. Первые стандарты на СМК появились в 1987 г. и представляли собой модели системы качества, применяемые на различных этапах жизненного цикла продукции.

В настоящее время, в соответствии с последней версией стандартов ИСО серии 9000, СМК является скорее инструментом стратегического менеджмента организации, поскольку требует:

- ориентации на потребителя;

- формулирования и постоянной актуализации политики и целей в области качества;
- лидерства руководства в вопросах качества;
- участия всех подразделений и каждого сотрудника в постоянном улучшении процессов организации.

Немаловажным фактом является то, что в соответствии с последней версией стандартов ИСО серии 9000 менеджмент организации должен осуществляться на основе процессного подхода. Это позволяет устанавливать конкретные показатели по каждому процессу, которых необходимо достичь для оптимальной работы организации в целом, а затем на основе мониторинга и измерения этих показателей судить о результативности и эффективности работы всей системы по достижению поставленных целей.

Таким образом, можно сказать, что СМК является полезным инструментом достижения стратегических целей организации.

Сбалансированная система показателей (ССП)

Концепция ССП была разработана в начале 90-х годов XX в. командой исследователей Гарвардской бизнес-школы под управлением профессора Роберта Каплана. Каплан и его команда назвали свою разработку «Balanced Scorecard», чтобы подчеркнуть сбалансированность системы («Balanced»), которая должна быть измеримой при помощи системы показателей («Scorecard») [2].

В основе концепции ССП стоит цель трансформации миссии компании в конкретные задачи и показатели. Эти показатели представляют собой баланс между внешними отчетными данными для акционеров и клиентов и внутренними характеристиками наиболее значимых бизнес-процессов, инноваций, обучения и роста [3].

На основе обобщения эмпирического опыта разработчики сбалансированной системы показателей предложили сначала оперировать четырьмя основными перспективами – «Финансы», «Клиенты», «Внутренние бизнес-процессы» и «Обучение и рост».

Каждая из перспектив должна отвечать на один вопрос.

Перспектива «Финансы»: Какие цели компания должна перед собой поставить, исходя из финансовых ожиданий своих учредителей?

Перспектива «Клиенты»: Какие цели относительно структуры и требований наших клиентов мы должны поставить, чтобы обеспечить достижение наших финансовых целей?

Перспектива «Процессы»: Какие цели относительно наших процессов мы должны поставить, чтобы обеспечить достижение целей в перспективах «Финансы» и «Клиенты»?

Перспектива «Потенциал»: Какие цели относительно нашего потенциала мы должны поставить, чтобы соответствовать сегодняшним и будущим требованиям? [2].

Однако этот базовый набор перспектив может быть адаптирован к специфике конкретной отрасли или предприятия [2].

Рассмотрим общие черты и различия СМК и ССП.

Общие черты		Различия	
ССП	СМК	ССП	СМК
Система		Система оценки	Система управления
Нацеленность на реализацию стратегии компании		Отсутствие стандарта, регламентирующего требования к разработке ССП	Наличие стандарта ГОСТ Р ИСО 9001–2001
Процессный подход			
Использование показателей			

Таким образом, из таблицы видно, что два важных современных инструмента управления и оценивания деятельности организаций имеют много общего.

Сразу же возникает вопрос: можно ли интегрировать эти две системы для достижения максимально полезного результата для компании? На взгляд автора, делать это можно и нужно. Рассмотрим, каким образом возможно объединение.

При разработке системы менеджмента качества первым делом необходимо выделять процессы, существующие в организации, а затем приступать к их стандартизации. Если же рассматривать ССП, то в классическом варианте она должна содержать четыре составляющих:

- финансовый аспект;
- клиентский аспект;
- внутренний аспект;
- обучение и рост.

Рассмотрим пример.

Возьмем процесс приемки товара на складе. Этот процесс состоит из следующих этапов:

- разгрузка машины, постановка товара на рампу;
- проверка принятого товара;
- оформление документов;
- постановка товара на стеллажи.

Очевидно, что в СМК процесс приемки товара должен быть идентифицирован и описан в соответствующем стандарте

предприятия, а этапы восприняты как подпроцессы и реализованы в виде инструкций для конкретных исполнителей.

Если рассматривать процесс приемки товаров на склад с позиций Сбалансированной системы показателей, то, очевидно, что этот процесс следует отнести к внутреннему аспекту и далее, следуя логике использования ССП, необходимо стандартизировать и документировать процесс аналогично СМК.

Таким образом, на небольшом примере мы убедились, что связь между СМК и ССП существует. Более того, проводя аналогию далее, можно показать, что внутренний аспект ССП практически полностью может быть разработан на основе СМК, поскольку под ним понимается разработка бизнес-процессов. А посредством установления целей (показателей) по каждому процессу и последующего их измерения можно ответить на вопрос третьей перспективы ССП относительно процессов.

Например, для процесса приемки товара на складе могут быть установлены следующие цели:

- 1) разгрузка машины в определенные сроки (в соответствии со стандартом);
- 2) проверка товара без ошибок с заданной скоростью (в соответствии со стандартом);
- 3) постановка товара на стеллажи на строго определенные места;
- 4) наличие необходимого количества пустых стеллажей под новый товар.

Следует отметить, что последний пункт может быть обеспечен лишь при правильном установлении целей и организации процесса, предшествующего процессу приемки товара, а именно процессу «Управление стоком».

Таким образом, формируя и описывая все процессы организации в соответствии с четырьмя перспективами Сбалансированной системы показателей и учитывая, что внутренний аспект ССП практически полностью разработан на основе СМК, мы, в конечном итоге, получим интегрированную систему взаимодействующих процессов, каждый из которых направлен на реализацию стратегии всей организации.

Список литературы

- 1 ГОСТ Р ИСО 9000–2001. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2001. – 30 с.
- 2 Каплан, Роберт С. Организация, ориентированная на стратегию / Роберт С. Каплан, Дейвид П. Нортон ; пер. с англ. – М. : Олимп-Бизнес, 2005. – 416 с.
- 3 Каплан, Роберт С. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию / Роберт С. Каплан, Дейвид П. Нортон ; пер. с англ. – М. : Олимп-Бизнес, 2006. – 294 с.

Секция 5

**СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕПЛОВЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ, СУШКА И ТЕРМОВЛАЖНОСТНАЯ ОБРАБОТКА
МАТЕРИАЛОВ**

Д.К. Джаватов

Институт проблем геотермии Дагестанского
научного центра РАН (г. Махачкала)

ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТПУСКА ТЕПЛА

Отличительной особенностью геотермальной энергетики является ее масштабность, возможность комплексного использования и доступность для добычи современными техническими средствами. Имеющийся научно-технический потенциал и опыт практического использования геотермальных вод в системе теплоснабжения свидетельствует о важности проблемы и высокой эффективности развития систем геотермального теплоснабжения. Однако, масштабы использования геотермальных вод явно не соответствуют потенциальным возможностям использования геотермальной энергии в народном хозяйстве.

Проблема управления системами теплоснабжения охватывает широкий комплекс взаимосвязанных вопросов, касающихся технической политики в области развития систем, их расчета, оптимального проектирования и управления режимами работы в процессе эксплуатации.

Опыт эксплуатации систем геотермального теплоснабжения и геотермальных ТРС показал, что для теплоснабжения больших населенных пунктов использование геотермальных вод может быть оправданным только при наличии надежно действующего теплообменного оборудования и определенным образом выбранной системы регулирования отпуска тепла. Для нормальной эксплуатации современной ТРС необходима ее полная автоматизация с помощью автоматических регуляторов на основе датчиков и компьютеров.

Современная крупная система геотермального теплоснабжения, состоящая из десятков добычных и нагнетательных скважин, нескольких ТРС, блоки водоподготовки и обратной закачки – это сложный объект управления, т.е. система геотермального теплоснабжения представляет собой сложную динамическую систему (рис. 1), имеющую единую цель – покрытие графика тепловой нагрузки. В связи с этим возникает задача разработки более эффективного способа регулирования отпуска тепла в геотермальной ТРС, обеспечивающего возможность автоматизации технологического процесса с учетом особенностей геотермального теплоносителя.

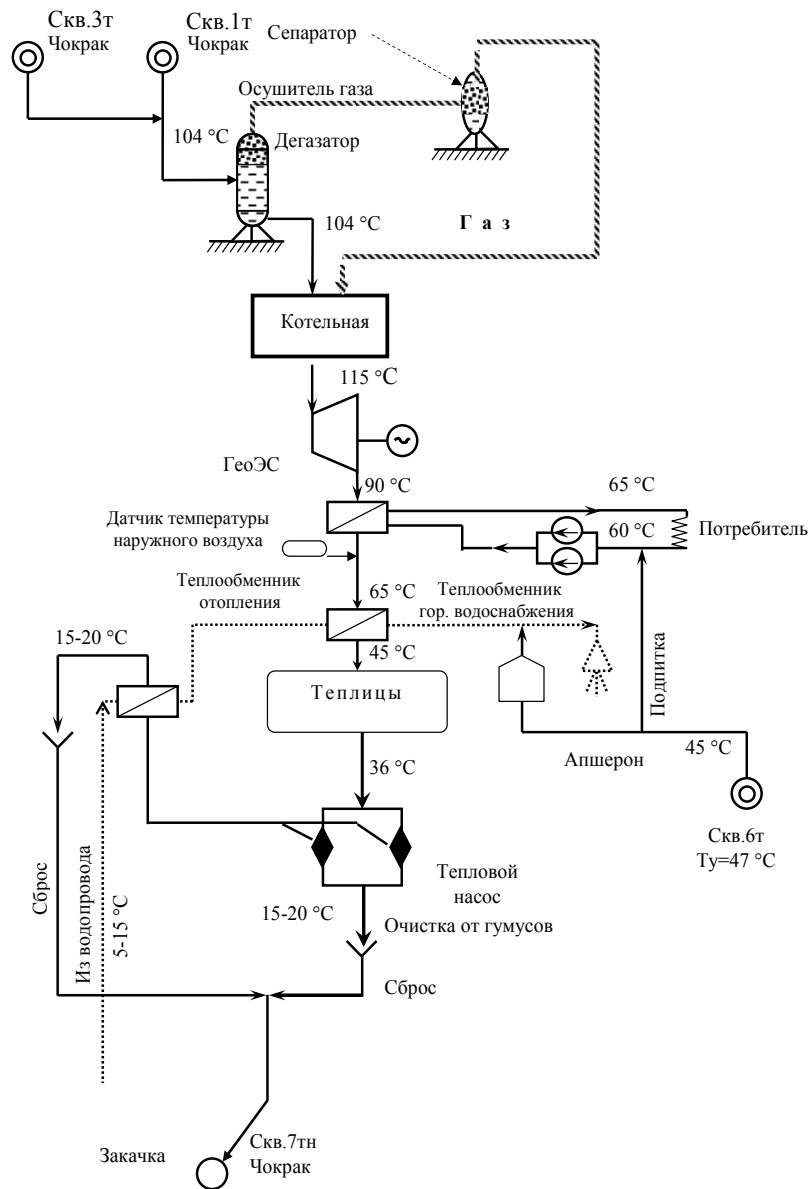


Рис. 1 Геотермальная ТРС с использованием тепловых насосов, ГеоЭС, котельной, дегазацией, осушкой газа, очисткой воды от гумусовых веществ

Сущность предлагаемого метода регулирования отпуска тепла заключается в следующем. Для повышения эффективности работы системы геотермального теплоснабжения необходимо обеспечить минимальную температуру геотермальных вод на сбросе. Температура сбрасываемой воды зависит от площади теплообменников отопления и расхода геотермальной воды. Полученная зависимость относительного расхода площади теплообменников отопления от расхода, обеспечивающая минимальную температуру геотермальных вод на сбросе, аппроксимируется уравнением:

$$F = 0,12 - 0,29q(t) + 1,16q^2(t) \quad , \quad (1)$$

где F , $q(t)$ – соответственно относительный расход площади теплообменников отопления и расход геотермальной воды.

Анализ предложенного метода регулирования показывает, что 60 % времени года в активном теплообмене находится в четыре раза меньше теплообменной поверхности, чем в известных технических решениях.

Динамика изменения температуры геотермальной воды на сбросе в зависимости от разности температур внутреннего и наружного воздуха описывается уравнением:

$$T_3 = 0,55\Delta t_n + 22,3 \quad .$$

Проведенный анализ методов регулирования отпуска тепла показал, что в системе геотермального теплоснабжения изменение мощности насосов обратной закачки целесообразно осуществлять по температуре закачиваемой геотермальной воды. Данная зависимость аппроксимируется уравнением:

$$P_n = 1,63 + 0,004T + 6,43 \cdot 10^{-5} T^2 \quad .$$

Требуемые зависимости расхода геотермальной воды, поверхности нагрева теплообменников, давления закачки от тем-

пературы наружного воздуха легко в течение нескольких минут рассчитать на компьютере по программе, учитывающей фактические тепловые нагрузки потребителей, температурный график отопления, установленное оборудование в ТРС и на станциях обратной закачки.

Рабочая температура геотермальных вод оказывает существенное влияние на технико-экономические показатели системы теплоснабжения, в частности на отапливаемые объемы, продолжительность времени пикового догрева, например, при комбинированных схемах теплоснабжения.

С учетом подключения для покрытия пиковых нагрузок на систему теплоснабжения пикового отопителя, наиболее перспективным для автоматизации расхода теплоты представляется метод комбинированного отпуска тепла по двум параметрам: расходу геотермальной воды и расходу энергии пикового отопителя.

Температура наружного воздуха является основным фактором, определяющим режим подачи тепла системой геотермального теплоснабжения. В зимний период наблюдаются значительные колебания этой температуры, как в течение отопительного периода, так и в течение суток. Для исследуемой территории характерны большие годовые амплитуды наружной температуры, превышающие 25 °С. При этом, колебания температуры имеют периодический и непериодический характер.

На основе среднегодового графика изменения температуры наружного воздуха можно задать график тепловой нагрузки потребителя с учетом температуры теплоносителя в зависимости от расхода геотермальной воды и расхода энергии пикового отопителя:

$$Q(t) = q(t)C\rho(T(t) - T_3) + W(t), \quad (2)$$

где $Q(t)$, $q(t)$, $W(t)$ – соответственно потребности потребителя в тепловой энергии, расход геотермального теплоносителя и мощность пикового отопителя в момент времени t ; C, ρ – удельная теплоемкость и плотность геотермальной воды; $T(t)$ – температура теплоносителя в момент времени t ; T_3 – температура геотермальной воды на сбросе.

Годовые расходы энергии пикового отопителя и геотермальной воды при этом определяются соответственно формулами [2]:

$$W^* = (2t_0\bar{q}C\rho(T - T_3) + t_*\bar{W})\bar{W};$$

$$q^* = \frac{1}{C\rho(T - T_3)} \left\{ V_0 k_1 - (2t_0\bar{q}C\rho(T - T_3) + (t_0 + t_*)\bar{W}) \frac{\bar{W}}{\bar{Q}} \right\},$$

где \bar{q} – максимально возможный дебит теплоносителя; \bar{W} – максимальная мощность пикового отопителя; \bar{Q} – максимальные потребности потребителя в тепловой энергии в году, t_*, t_0 – время отключения отопительной системы и время окончания пиковых нагрузок на систему отопления; V_0 – отапливаемые объемы; k_1 – постоянная величина.

На основе данных, поступающих с датчиков температуры наружного воздуха, регулируем изменение расхода геотермальной воды в зависимости (1), а на основе уравнения (2) – изменение мощности пикового отопителя.

В связи с ограниченными возможностями геотермального теплоснабжения мощность пикового отопителя $W(t)$ должна увеличиваться. Здесь возникает задача, связанная с выбором оптимального режима эксплуатации такой комбинированной системы геотермального теплоснабжения в течение достаточно длительного периода времени ($\tau = 25 \dots 30$ лет), с условием минимума приведенных затрат [2]:

$$I = \int_0^\tau \left(p_1 k_1 + (p_2 - p_1) \left[2t_0 k_2 \bar{W} + \frac{(t_* - 2t_0) \bar{W}^2}{V_0} \right] + \frac{p_3 v}{V_0} \right) e^{-\delta t} dt,$$

где t – время; τ – период эксплуатации ГЦС; p_1, p_2 – стоимостные оценки единиц энергии термальной воды и энергии пикового отопителя ($0 < p_1 < p_2$), соответственно; p_3 – стоимость наращивания единицы мощности отопителя; v – скорость наращивания мощности пикового отопителя; k_1, k_2 – постоянные величины; δ – коэффициент дисконтирования.

Закон изменения температуры теплоносителя с учетом текущей мощности пикового отопителя задается уравнением [2]:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{(\bar{W}^2(t)(t_* - 2t_0) + 2t_0 k_2 V_0 \bar{W}(t) - k_1 V_0)}{V_k C \rho}, \quad T(0) = T_0,$$

где V_k – объем геотермального коллектора.

Мощность пикового отопителя изменяется на основе уравнения:

$$\frac{d\bar{W}}{dt} = v(t), \quad \bar{W}(0) = \bar{W}_0, \quad 0 \leq v(t) \leq \bar{v},$$

где \bar{v} – максимальные возможности по наращиванию мощности отопителя.

В результате решения поставленной задачи найдена функция оптимального управления и разработан алгоритм оптимального регулирования мощности пикового отопителя в течение τ лет. В зависимости от параметров пласта и комбинированной системы функция оптимального управления имеет вид:

$$v_{\text{опт}}(t) = \begin{cases} 0 \text{ или } \bar{v}, & t \in [0, t_1[; \\ v^*(t), & t \in [t_1, t_2]; \\ 0, & t \in [t_2, \tau], \end{cases}$$

где $v^*(t)$ – оптимальное управление, соответствующее особому режиму [2].

Проведенный анализ регулирования отпуска тепла в системе геотермального теплоснабжения показал, что оптимизация данного процесса повышает эффективность системы до 15 % и выше.

Автор считает, что большинство проблем, относящихся к концепции геотермального теплоснабжения, можно решить путем внедрения АСУ, сначала на уровне отдельных месторождений, городов и населенных пунктов, а затем – на уровне республики.

Список литературы

1 Алиев, Р.М. Вопросы геотермального теплоснабжения территории северного Дагестана / Р.М. Алиев, В.С. Паламарчук, Г.Б. Бадавов. – Махачкала : Изд-во ДНЦ РАН, 2002.

2 Джаватов, Д.К. Имитационная модель и задачи оптимизации разработки геотермального месторождения / Д.К. Джаватов, А.В. Федосеев, В.А. Сокол. (Препринт). – М. : ВЦ РАН, 1994.

*О.С. Дмитриев¹, С.В. Мищенко¹, А.О. Дмитриев¹,
В.Н. Кириллов²*

1 – ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»,

2 – Всероссийский институт авиационных материалов

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Одним из основных показателей эффективности производства изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) является затрата энергии на выполнение технологической операции горячего отверждения, которая определяется оптимальностью процессов теплопереноса. Наибольший интерес, с экономической точки зрения, представляют энергоемкие технологии получения крупногабаритных толстостенных изделий, стоимость которых значительна, и оптимизация энергозатрат в процессе их получения является актуальной проблемой [1].

В процессе отверждения изделий из терморезистивных ПКМ, как правило, протекает интенсивная экзотермическая реакция, которая приводит к существенному перегреву внутренних слоев изделия, деструкции связующего и накоплению внутренних напряжений, вызывающих коробление готового изделия. Оптимальное управление процессом тепловыделений при отверждении позволяет устранить указанные недостатки процесса и снизить энергозатраты, тем самым повысить качественные показатели изделий и эффективность производства. Этого можно достичь путем задания некоторого температурно-временного режима $U(t)$ специального вида на поверхности изделия.

К числу технологий, по которым изготавливают крупногабаритные толстостенные изделия, относятся горячее прессование, вакуумное формование и намотка на оправку. Математическая модель процесса отверждения ПКМ по этим технологиям при регулировании температуры формообразующей оснастки $U(t)$ представляет собой систему дифференциальных уравнений теплопроводности, кинетики отверждения, вытекания связующего и уплотнения изделия.

Для определения параметров математической модели процесса отверждения ПКМ разработана интегрированная информационно-измерительная система (ИИС) [2]. ИИС позволяет исследовать в процессе отверждения теплофизические характеристики композитов $C(T, \beta, \gamma)$, $\lambda(T, \beta, \gamma)$ в зависимости от температуры T , степени отверждения β и содержания связующего γ , мощность тепловыделений $W(t)$, полный тепловой эффект $Q_{\text{п}}$, кинетические параметры: энергию активации процесса отверждения $E(\beta)$ и кинетическую функцию $\phi(\beta)$, а также реологические параметры связующего: энергию активации вязкого течения E_{μ} и эффективную вязкость $\tilde{\mu}(\beta)$. Исследованные параметры математической модели являются основой для поиска температурно-временного режима на поверхностях $0, L$ симметрично нагреваемого изделия или многослойного технологического пакета, являющегося управляющим воздействием $U(t, Q^*) = \{T_0(t), T_L(t)\}$, $i = 1, 2, \dots, k_{\text{ст}}$, доставляющим минимум критерию оптимальности и обеспечивающим создание качественного готового изделия с минимальными энергетическими затратами

$$I_{Q^*} = \min_{U(t; Q^*)} \int_0^{t_k} T_{\text{пк}}(\tau) d\tau, \quad (1)$$

при выполнении связей в виде математических моделей, соответствующих рассматриваемому методу формования изделий

$$\mathfrak{R}(C, \lambda, Q_{\text{п}}, E_{\beta}, \phi, E_{\mu}, \tilde{\mu}, P, \rho, S, n) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, k_{\text{ст}}, \quad (2)$$

а также ограничений в виде неравенств, налагаемых на процесс:

$$\begin{aligned} \max_{\substack{0 \leq x \leq L \\ t_0 < t \leq t_k}} T(x, t) \leq T_{\max}; \quad \max_{\substack{0 \leq x \leq L \\ t_0 < t \leq t_k}} \left| \frac{\partial T}{\partial x} \right| \leq \bar{\chi}; \\ \max_{t_0 \leq t \leq t_k} \left\{ \max_{0 \leq x \leq L} T(x, t) - \min_{0 \leq x \leq L} T(x, t) \right\} \leq \bar{\theta} \end{aligned} \quad (3)$$

с учетом допустимых оборуодованием температурно-временных режимов

$$U_{i_{\min}}(t) \leq U_i(t) \leq U_{i_{\max}}(t), \quad i = 1, 2, \dots, k_{\text{ст}}. \quad (4)$$

Искомое управляющее воздействие отыскивается в виде

$$U_i(t) = \begin{cases} \tilde{T}_{i-1} + \tilde{K}_i t, & t_{i-1} < t < t_{n_i}; \\ \tilde{T}_i, & t_{n_i} \leq t \leq t_i, \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, k_{\text{ст}}, \quad (5)$$

где \tilde{K} – скорость нагрева поверхности изделия, К/с; $k_{\text{ст}}$ – количество ступеней нагрева; \tilde{T} – температура изотермической выдержки на i -й ступени нагрева, К.

Условиями окончания i -й ступени нагрева и перехода к $i+1$ ступени являются:

$$\begin{aligned} \max_{\substack{0 \leq x \leq L \\ t_{i-1} < t < t_i}} \frac{\partial \beta_i}{\partial t} - \max_{0 \leq x \leq L} \frac{\partial \beta_i}{\partial t} \geq \eta_i; \\ \max_{\substack{0 \leq x \leq L \\ t_{i-1} < t < t_i}} T_i(x, t) - \max_{0 \leq x \leq L} T_i(x, t) \geq \vartheta_i, \quad i = 1, 2, \dots, k_{\text{ст}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Условием окончания решения задачи (1) – (6) является достижение заданной степени отверждения β_k по всей толщине изделия:

$$\min_{\substack{0 \leq x \leq L \\ t_0 < t < t_k}} \beta(x, t) \geq \beta_k. \quad (7)$$

Из химико-технологических соображений наиболее обоснованными являются ступенчатые режимы отверждения. Поэтому можно считать, что в нашем случае вид искомого управления (5) уже задан и остается только найти оптимальные темпы нагрева поверхностей изделия \tilde{K} , температуры изотермических выдержек \tilde{T} на ступенях i , моменты их переключения t_i и число ступеней нагрева $k_{\text{ст}}$. Таким образом, область допустимых граничных температурно-временных режимов $U_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, k_{\text{ст}}$ выбирается в классе кусочно-линейных функций. В результате решения поставленной оптимизационной задачи определяются оптимальные граничные температурно-временные режимы отверждения изделий из ПКМ, при которых энергозатраты Q^* будут минимальны.

Для решения поставленной задачи поиска оптимальных режимов отверждения изделий из ПКМ различной толщины при горячем прессовании, вакуумном формовании и намотке на оправку предложен специальный метод, базирующийся на поэтапной оптимизации каждой ступени нагрева. Приведенные разработки легли в основу алгоритмов и программного обеспечения выбора оптимального режима отверждения, составляющих подсистему автоматизированного проектирования ИИС.

С помощью разработанной системы проведены расчеты оптимальных режимов отверждения плоских изделий толщиной от 3 до 60 мм из стеклопластиков, органопластиков, например, на основе связующих ЭДТ-69Н, ЭДТ-10, углепластиков КМУ6-36, КМУ-4, КМУ-7, КМУ-11, асбопластика АНП-104 и многих других ПКМ. В качестве примера на рис. 1 приведены температурно-временные режимы отверждения изделий различной толщины из углепластика КМУ-4.

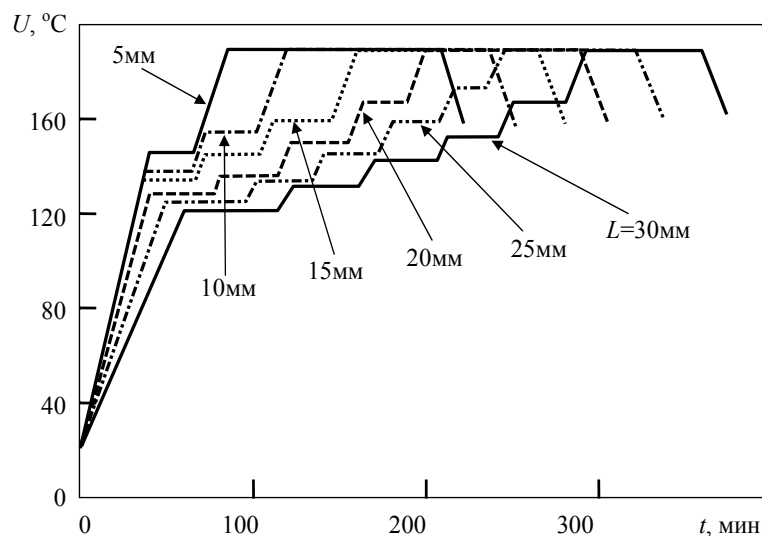


Рис. 1 Оптимальные режимы отверждения изделий толщиной L из углепластика КМУ-4, минимальные по энергозатратам

Проведенный анализ и сравнение рассчитанных режимов отверждения плоских изделий из ПКМ с существующими режимами в отношении энергозатрат показали целесообразность широкого использования разработанного метода и системы проектирования для отработки существующих и расчета режимов отверждения новых ПКМ.

Список литературы

- 1 Балакирев, В.С. Автоматизированные производства изделий из композиционных материалов / В.С. Балакирев. – М. : Химия, 1990. – 240 с.
- 2 Дмитриев, А.О. Интегрированная информационно-измерительная система исследования свойств полимерных композитов в процессе отверждения / А.О. Дмитриев, С.О. Дмитриев // Теплофизика в энергосбережении и управлении качеством, 2007. – Ч. II. – С. 15.

И.В. Малков¹, А.В. Лосев²

1 – Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля (г. Луганск), 2 – Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт»

ТЕРМОИМПУЛЬСНОЕ ФОРМОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Изучение термоимпульсного формования полимерных композиционных материалов (КМ) представляет научный и практический интерес по ряду причин. Изменение механических свойств, в особенности возрастание сопротивления деформированию практически всех материалов, локализация областей пластической деформации, возникновение значительных инерционных сил, кратковременность процесса деформирования ($10^{-5} \dots 10^{-3}$ с), неравномерность деформации, неоднородность температурных и силовых полей, изменение условий контактного трения и многие другие факторы, сопутствующие термоимпульсному нагружению, существенно влияют на формообразование в рассматриваемых процессах. Неправильный выбор температурно-скоростных условий и энергосиловых параметров деформирования приводит к получению некачественных изделий и быстрому выходу из строя технологического оснащения.

При скоростном процессе практически отсутствует стационарная стадия, когда форма, размеры и положение границ зон деформации сохраняются постоянными. Даже в тех случаях, когда перечисленные характеристики варьируются незначительно, резкие изменения ряда параметров высокоскоростного деформирования во времени (скоростей деформирования и деформации, температуры) обуславливают нестационарный характер процесса. Для учета указанных особенностей рассматриваемых технологических процессов необходим тщательный выбор метода их теоретического изучения.

Существование импульсных (быстропротекающих) процессов создает условие для разработки новых технологий, а их использование для обработки новых материалов, и в частности полимерных композиционных материалов, еще более расширяет область новых перспективных технологий. К примеру, метод высокоскоростного формования позволяет получать изделия из дисперсно-армированных композиционных материалов с повышенными механическими и эксплуатационными свойствами [1].

В течение последнего десятилетия получил распространение и успешно совершенствуется термоимпульсный метод отделочно-зачистной обработки деталей со сложной конфигурацией поверхности, при котором она подвергается тепловому удару в среде окислителя. Термоимпульсное нагружение характеризуется высокой величиной давления и температуры при кратковременности их действия. Физические особенности этого процесса могут быть эффективны при обработке изделий из

полимерных КМ по ряду причин. Во-первых, сочетание температуры и высокого давления позволяет повысить текучесть связующего и принудительно пропитать изделие на всю глубину сформированной армированной структуры вплоть до нижних слоев, во-вторых, силовое поле детонирующих газовых смесей направлено по нормали к поверхности обрабатываемой детали и позволяет не нарушать ориентацию армирующих волокон, чего нельзя добиться при использовании прессовочной оснастки, в-третьих, возможно устранить наружные дефекты за счет их локального оплавления или сгорания и внутренние дефекты (поры), вследствие высокой степени уплотнения структуры армированного полуфабриката. Данные физические процессы могут быть эффективны как при обработке реактопластов, так и термопластов, имеющих низкие адгезионные свойства и узкий диапазон температурной деструкции.

Теоретический анализ термоимпульсного метода позволяет определить основные параметры технологического процесса, а на основании теплофизических свойств материала изделия, его конструктивных особенностей – оптимальные режимы обработки и методы подвода тепловой энергии.

Учитывая сложную природу термоимпульсного формования деталей из КМ в среде детонирующих газов, факторы, влияющие на выбор режимов обработки, объединены в две группы:

1) характеризующие деталь, а именно, температура плавления, удельная теплота плавления, теплопроводность, теплоемкость и плотность материала, толщина тонкостенных элементов, наличие разностенности, требования к точности и чистоте поверхностей, масса и площадь поверхности;

2) характеризующие оборудование, а именно, размеры камеры сгорания, химический состав горючей смеси, масса газового заряда, точность дозирования газовой смеси, быстродействие системы выпуска продуктов сгорания, объем и площадь поверхности приспособления, площадь поверхности камеры сгорания, плотность загрузки камеры, режим горения газовой смеси.

Такое количество факторов не позволяет экспериментальным путем оптимизировать режимы формования термоимпульсом, поэтому согласно принятой модели процесса по характеристике детали определяются оптимальные параметры обработки, которые сводятся к определению длительности нагрева и плотности источника тепла. В случае проектирования нового оборудования эти данные являются исходными, а при использовании существующего оборудования необходимо произвести его подготовку путем подбора состава и массы горючей смеси, точности дозирования смеси, загрузки камеры и выбора конструкции приспособления.

Параметры обработки определяются путем численного эксперимента по температурным полям тонкостенных элементов детали, используя аналитическую зависимость

$$T(x, y, t) = \frac{2Qy^2}{c\gamma\lambda a\sqrt{\pi}} \int_{\frac{y}{\sqrt{2at}}}^{\frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}} \frac{\varphi(z)}{z^2} \left[\Phi_0\left(\frac{1-x}{y}z\right) + \Phi_0\left(\frac{1+x}{y}z\right) \right] dz,$$

где $a = \frac{\lambda}{c\gamma}$ – коэффициент температуропроводности; c – удельная теплоемкость; λ – коэффициент теплопроводности; γ – удельный вес; Q – мощность источников нагрева.

При этом подбирается характеристика источника тепла путем определения мощности и соотношения импульсной и квазипостоянной фаз теплообмена. В результате расчетов установлены закономерности изменения установившейся температуры и времени прогрева от толщины многослойного пакета армированного пластика, из которого состоит стенка детали, причем для каждого материала или каждого сочетания компонентов КМ существуют свои оптимальные кривые для времени и температуры. Уменьшение времени обработки по сравнению с оптимальным ведет к увеличению мощности источника в степенной зависимости, а увеличение времени – к увеличению температуры детали и ограничению номенклатуры деталей по тонкостенным элементам. Мощность источника тепла зависит от теплофизических свойств материала и толщины формуемых деталей и определяется расчетным путем по предварительно построенному графику для данного материала.

Принцип выбора временного режима термоимпульсного формования деталей из КМ заключается в согласовании длительности оптимального времени прогрева полуфабриката-заготовки многослойного пакета КМ (t_3) с длительностью затухания ударных волн (t_b) в рабочей камере. Для автоматизации процесса термоимпульсного формования, особенно высокоточных деталей, необходимо выполнение условия

$$t_3 \leq t_b.$$

Достижение необходимой точности выполнения этого условия является одной из основных задач термоимпульсной обработки, и это обстоятельство определяет возможности метода по целому ряду технологий. Правильный выбор временного режима позволяет осуществить саморегулируемый процесс формования за счет резкого снижения мощности источника тепла в квазипостоянном режиме теплообмена и последующего прекращения процесса сбросом продуктов сгорания из камеры. Выбор режимов обработки ведется в следующей последовательности: составляется характеристика детали; по теплофизическим свойствам детали, используя аналитическую зависимость, рассчитываются на ЭВМ зависимости времени прогрева и установившейся температуры от толщины элементов детали; по наибольшей толщине стенки определяется время ее прогрева; производится подготовка оборудования по временному диапазону ($t_3 \leq t_b$).

Технологические процессы, в основу которых положен импульсный подвод тепла, позволяют гибко автоматизировать операции формования на деталях из КМ со сложной конфигурацией внутренних и наружных поверхностей.

Экспериментальные исследования позволяют установить закономерности протекания процесса во времени, связь между

затуханием ударных волн и интенсивностью нагрева деталей, влияние геометрических размеров камеры сгорания на длительность затухания ударных волн.

Основным варьируемым параметром было время импульса, которое изменялось в интервале $t_{и} = 0,001 \dots 0,005$ с. Сравнивались девять термоимпульсных технологических схем (образцы № 2 ... 10) и одна базовая штатная технологическая схема (образец № 1). Все образцы испытывались на растяжение. В качестве испытательного оборудования использовалась разрывная машина модели Р-20 с точностью измерения ± 2 кг.

Анализ результатов эксперимента показывает, что эффект влияния термоимпульсного нагружения существует, причем для второй технологической схемы прочность арматуры превосходит прочность базовой схемы на 40 %, что позволяет считать данный технологический режим оптимальным для испытанной серии образцов, а по повышенным прочностным значениям других образцов определить общую тенденцию изменения прочности для КМ на основе органического наполнителя и эпоксидного связующего с целью выработки обобщенных рекомендаций для КМ данного типа.

Теоретические и экспериментальные результаты проведенной работы свидетельствуют о том, что термоимпульсная технология формования элементов конструкций из КМ является перспективным направлением в области переработки неметаллических материалов, их механизации и автоматизации, уменьшения трудоемкости, периода технологической подготовки производства и повышения производительности самого процесса формования. Важно то обстоятельство, что в условиях мелкосерийного многономенклатурного производства разработанная технология и оборудование позволяют производить переналадку оборудования с минимальными затратами времени и трудоемкости, а также обеспечить высокую степень автоматизации технологических процессов и процессов управления, свести к минимуму технологическую подготовку производства, т.е. перейти к автоматизированному производству с гибкопереналаживаемой технологией [2].

В дальнейшем необходимы теоретические и экспериментальные исследования как по определению взаимного влияния технологических факторов, так и по созданию более совершенных конструкций оборудования.

Список литературы

1 Высокоскоростное формование лакированного графического порошка / В.Н. Кобрин, А.Н. Мещеряков, В.Д. Гречка, Н.С. Дяденко // Порошковая металлургия. – 1982. – № 3. – С. 21–25.

2 Лосев, А.В. Особенности применения и перспективы развития термоимпульсной зачистки / А.В. Лосев // Механизация и автоматизация производства. – 1991. – № 12. – С. 28–30.

С.А. Дмитриев, П.А. Федюнин, Д.А. Дмитриев

Тамбовское высшее военное авиационное инженерное
училище радиоэлектроники

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

В [1] нами разработаны теоретические основы и практические аспекты односторонней микроволновой термовлагометрии. Обоснована необходимость и разработан [2] неразрушающий микроволновой термовлагометрический метод измерения влажности. В [3] приведен измерительно-вычислительный комплекс, реализующий разработанный метод.

Существенными недостатками термовлагометрического микроволнового метода является отсутствие учета стохастической шероховатости поверхности объекта контроля (ОК) и неоднородностей электрофизических параметров материала – их учет позволит уменьшить погрешность измерения влажности поверхностного слоя $W_{\text{п}}$ в 2–2,5 раза по сравнению с [2], а также зависимость точности измерения угла Брюстера от девиации частоты лампового СВЧ-генератора и сложность реализации.

Реализация разработанного нами метода определения влажности капиллярно-пористых материалов, позволяющего учитывать влияние стохастической шероховатости поверхности ОК и неоднородности электрофизических параметров материала на точность измерений влажности требует разработки специальных приемопередающих апертурных антенн. Разработанные нами [1, 4] варианты конических приемопередающих апертурных антенн с «кольцевой» и «спирально-винтовой» волноводно-щелевой антенной, а также цилиндро-коническая апертурная антенна: двухконусный волновод и «интегральная» цилиндрическая апертура с вертикальными отрезками прямоугольного волновода не применимы для реализации данного метода, так как не могут обеспечить согласование падающей электромагнитной волны с материалом (обеспечение режима бегущих волн), а в некоторых случаях их конструктивные особенности делают проблематичным возбуждение поверхностной медленной волны.

Нами предлагается в этих целях использовать разработанную нами комбинированную апертурную систему, позволяющую не только обеспечить согласование при локализации неоднородностей с малыми и большими градиентами, но и определение комплексной диэлектрической проницаемости покрытия по минимуму мощности отраженной волны и минимальной длине волны генератора.

Измерительно-вычислительный комплекс определения влажности строительных материалов, разработанный нами [5], изображен на рис. 1.

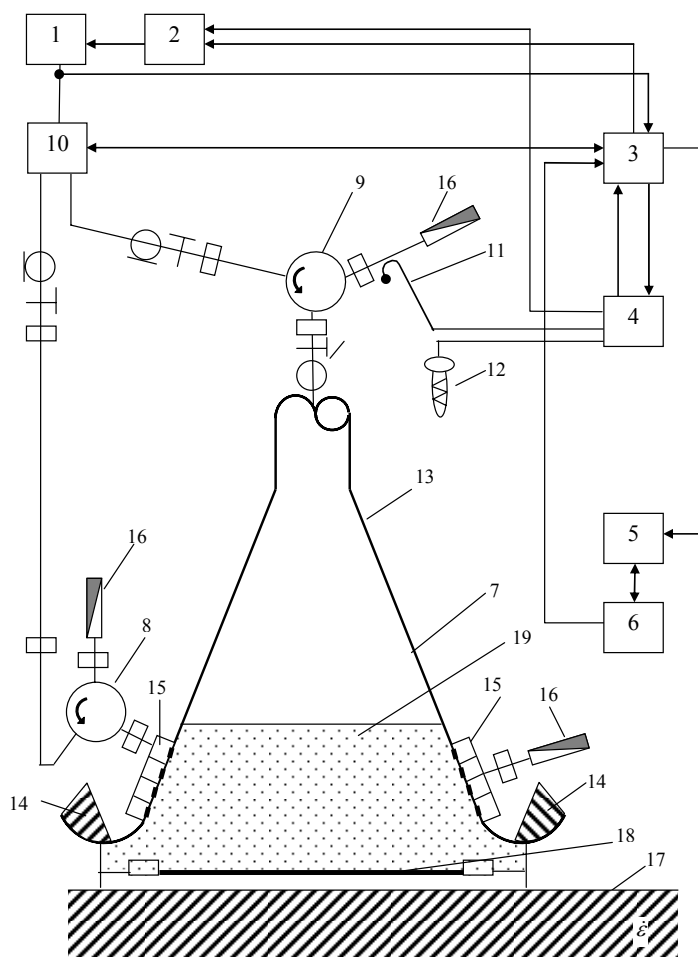


Рис. 1 Измерительно-вычислительный комплекс контроля влажности капиллярно-пористых материалов

Он содержит диодный генератор СВЧ 1, блок управления ГСВЧ 2; микропроцессорное устройство (МПУ) 3, блок АПЧ по поиску минимума мощности отраженной волны 4, блок переключения и подмагничивания 5 линейки приемных вибраторов блока приемных вибраторов 6, комбинированную приемно-излучающую антенну 7, два Y-циркулятора 8 и 9, диодный переключатель 10, приемный зонд для измерения мощности отраженной волны $P_{отр}$ 11, устройство для измерения температуры окружающей среды (например, термопара, терморезистор, термометр) 12.

Комбинированная приемно-излучающая антенна 7 наполовину заполнена диэлектриком (пенопласт) 19, состоит из круговой синфазной приемно-передающей рупорной антенны 13 с углом раскрытия, обеспечивающим удовлетворительное согласование со свободным пространством, поглотителя затекающего тока 14, спиральной волноводно-щелевой антенны 15 с поглощающей (согласованной) нагрузкой 16, металлической «прыгающей» диафрагмы 18.

Устройство работает в двух режимах. Первый режим – режим определения, оценки электрофизических и геометрических (топологических) неоднородностей поверхности исследуемого диэлектрического материала, определения коэффициента незеркальности $K_{нз}$ его поверхности и выбора адекватной области определения влажности (где отсутствуют электрофизические и топологические неоднородности: пустоты, твердые включения и др.). Второй режим работы – определение поверхностной влажности материала с учетом фрактальной неоднородности топологии поверхности и средней влажности материала по объему взаимодействия.

В первом режиме работы металлическая «прыгающая» диафрагма 18 закрыта. Круговой синфазной приемно-передающей рупорной антенной 13, питаемой ГСВЧ через диодный переключатель 10 и волноводный Y-циркулятор 9 (рис. 1), возбуждают медленную поверхностную E-волну с длиной волны $\lambda_r = 3$ см вдоль поверхности магнитодиэлектрического материала 17 с неизвестными электрофизическими параметрами. Реализуется алгоритм микроволновой интроскопии поверхностной медленной волной, определение фрактальной неоднородности и коэффициента незеркальности стохастической шероховатости поверхности материала [5].

Для измерения поверхностной влажности и средней влажности по объему взаимодействия переводят измерительное устройство во второй режим работы. Устанавливают комбинированную приемно-излучающую антенну в центре, предварительно выбранную по результатам измерений первого цикла площади сканирования. Открывают металлическую диафрагму 18. Электромагнитная волна с длиной волны $\lambda_r = 0,45$ см через управляемый МПУ 3 диодный переключатель 10 и второй волноводный Y-циркулятор 8 поступает на спиральную переменного-фазную многощелевую антенну 15, угол наклона максимума ДН $\theta_{н}$ которой зависит от величины длины волны λ_r возбуждающих СВЧ-колебаний. Изменяя с помощью блока управления ГСВЧ 2, сопряженного с МПУ 3, и блока АПЧ 4 длину волны λ_r диодного генератора СВЧ, изменяют угол наклона ДН излучающей антенны и добиваются минимума мощности отраженной волны в приемной части 13 комплексной антенны 7. Угол наклона максимума ДН $\theta_r(\lambda_r)$ излучающей антенны, при котором наблюдается эффект максимального

поглощения падающей электромагнитной волны, будет равен углу Брюстера $\theta_{бр}$. Далее ИВК реализует алгоритм определение поверхностной влажности материала с учетом фрактальной неоднородности топологии поверхности и средней влажности материала по объему взаимодействия по предложенному нами критерию минимума отраженной мощности [5].

Список литературы

- 1 Федюнин, П.А. Микроволновая термовлагодетрия / П.А. Федюнин, Д.А. Дмитриев, А.А. Воробьев, В.Н. Чернышов. – М. : Машиностроение, 2004. – 230 с.
- 2 Пат. 2269763 РФ, МПК⁷ G 01 N 9/36, 22/04. Неразрушающий СВЧ-способ контроля влажности твердых материалов и устройство для его реализации / Тетушкин В.А., Федюнин П.А., Дмитриев Д.А., Чернышов В.Н. – № 2004108282/09 ; заявл. 22.03.04 ; опубл. 10.04.06, Бюл. № 4.
- 3 Дмитриев, Д.А. Неразрушающий микроволновой термовлагодетрический метод контроля органических соединений и строительных материалов / Д.А. Дмитриев, П.А. Федюнин, В.А. Тетушкин, В.Н. Чернышов, М.А. Суслин // Контроль. Диагностика. – 2005. – № 4. – С. 60–73.
- 4 Федюнин, П.А. Приемно-излучающие измерительные апертуры микроволнового неразрушающего термовлагодетрического метода контроля твердых материалов / П.А. Федюнин, Д.А. Дмитриев, С.А. Дмитриев // Контроль. Диагностика. – 2006. – № 3. – С. 44–55.
- 5 Дмитриев, С.А. Информативное сканирование и обработка неоднородных полей микроволновых поверхностных волн. Методы фрактального анализа в индикации и идентификации неоднородностей поглощающих покрытий военной техники / С.А. Дмитриев, А.А. Панов, Д.А. Дмитриев, П.А. Федюнин // Повышение эффективности средств обработки информации на базе математического моделирования : сборник докл. 8 Всерос. науч.-техн. конф., 26–27 апреля 2006 г. – Тамбов : ТВВАИУРЭ, 2006. – С. 409–418.

С.А. Дмитриев, П.А. Федюнин, Д.А. Дмитриев

Тамбовское высшее военное авиационное инженерное
училище радиоэлектроники

МИКРОВОЛНОВОЙ КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработанный нами термовлагодетрический микроволновой метод [1, 2] измерения влажности имеет ряд существенных недостатков, таких как: отсутствие учета мнимой части комплексной диэлектрической проницаемости поверхностного слоя материала $\varepsilon''_n(W_n)$, стохастическая шероховатость поверхности объекта контроля (ОК) и неоднородность электрофизических параметров материала, не учитываются ширина диаграммы направленности (ДН) излучателя и площадь зоны существенной для отражения; существует СВЧ-нагрев, а также контакт с исследуемым материалом [2].

С целью повышения точности и оперативности измерения поверхностной влажности капиллярно-пористых материалов путем устранения указанных выше недостатков термовлагодетрического метода, нами разработан неразрушающий микроволновой метод определения влажности, сочетающий в себе достоинства термовлагодетрического метода [2], такие как односторонность доступа к ОК, локальность измерений, и достоинства метода микроволновой интроскопии – возможность учета стохастической шероховатости поверхности ОК и неоднородности электрофизических параметров материала [3].

Разработанный нами метод определения влажности диэлектрических материалов, изделий и покрытий состоит из двух частей: первая – определение, оценка электрофизических и геометрических (топологических) неоднородностей поверхности исследуемого диэлектрического материала, определение коэффициента незеркальности $K_{нз}$ его поверхности; вторая часть – определение поверхностной влажности материала с учетом фрактальной неоднородности топологии поверхности и средней влажности материала по объему взаимодействия.

Реализуется данный способ следующим образом. Вдоль поверхности исследуемого материала с неизвестными электрофизическими параметрами возбуждают медленную поверхностную волну электрического типа (E -волну) с длиной волны $\lambda_r = 0,45$ см.

Производят измерения нормального коэффициента ослабления α_j поля поверхностной медленной волны в пределах заданной площади сканирования по алгоритму, описанному в [3].

По полученным значениям α_j в каждой дискретной точке поверхности определяют математическое ожидание m_{α_j} , дисперсию коэффициента ослабления D_{α_j} как функцию геометрических и электрофизических параметров неоднородностей и среднеквадратическое отклонение (СКО) коэффициента ослабления поля σ_{α_j} . Определяется среднее значение СКО $\sigma_{\alpha_{ср}}$ по всей площади сканирования и сравнивают полученное значение $\sigma_{\alpha_{ср}}$ с предварительно заданными пороговыми значениями отклонения коэффициента ослабления поля $\Delta\alpha_{пор,i}$:

$$\Delta\alpha_{срi} = \left| \sigma_{\alpha_{ср}} - \Delta\alpha_{пор,i} \right|.$$

Тангенс угла наклона зависимости $\Delta\alpha_{срi} = f(\Delta\alpha_{пор,i})$, полученной в виде линейной функции $y = kx + b$ методом наи-

меньших квадратов – есть фрактальная размерность $D_f = \text{tg} \alpha$.

Коэффициент незеркальности сканируемой поверхности [4], характеризующий стохастическую шероховатость поверхности:

$$K_{\text{нз}} = 3 - D_f.$$

Определив совокупность значений коэффициента нормального ослабления поля α_j , получили значение $K_{\text{нз}}$ исходя из заданной точности, определяемой набором дискретных значений $\Delta\alpha_{\text{пор}}$.

Для измерения поверхностной влажности и средней влажности по объему взаимодействия производят выбор адекватной области определения влажности, где отсутствуют электрофизические и топологические неоднородности: пустоты, твердые включения и др.

С помощью специально разработанной комбинированной приемно-излучающей антенны с металлической «прыгающей» диафрагмой по разработанному нами алгоритму [2] определяют угол наклона максимума ДН $\theta_{\Gamma}(\lambda_{\Gamma})$ излучающей антенны – угол Брюстера $\theta_{\text{бр}}$, при котором наблюдается минимум мощности отраженной волны $P_{\text{отр мин}}$, пропорциональный минимуму критерия $Q_{\text{мин}}$ напряженности поля отраженной волны в угловом спектре ДН, т.е. в зоне существенной при отражении по максимуму ДН [1]. Критерий $Q_{\text{мин}}$ позволяет учитывать вид ДН щелевого излучателя, ширину ДН и разность хода лучей.

Аппроксимированные нами выражения минимума критерия отраженной мощности и зависимости $\lambda_{\Gamma \text{ мин}}$ от $\varepsilon'_{\text{п}}$ и $\varepsilon''_{\text{п}}$ будут иметь вид:

$$P_{\text{отр мин}}(\varepsilon'_{\text{п}}, \varepsilon''_{\text{п}}) K_{\text{нз}}^{-2} = C Q_{\text{мин}} K_{\text{нз}}^{-2} = C \cdot 10^{-5} \cdot \left[0,15\varepsilon_{\text{п}}'^2 + 18\varepsilon_{\text{п}}' - 25 - \right. \\ \left. - 20\varepsilon_{\text{п}}''^2 + 1,23\varepsilon_{\text{п}}'' + \frac{\varepsilon_{\text{п}}''(282\varepsilon_{\text{п}}'' - 7,6)(\varepsilon_{\text{п}}'' + 0,27)^2}{(\varepsilon_{\text{п}}' - 0,5)(\varepsilon_{\text{п}}'' + 0,27)^2 - 0,54(\varepsilon_{\text{п}}'' + 0,27) + 0,15} \right]; \quad (1)$$

$$\lambda_{\Gamma \text{ мин}}(\varepsilon'_{\text{п}}, \varepsilon''_{\text{п}}) = \left\{ 0,018\varepsilon_{\text{п}}''^2 - 0,009\varepsilon_{\text{п}}'' + 6,16 - \frac{0,298\varepsilon_{\text{п}}''^2 - 0,087\varepsilon_{\text{п}}'' + 4,83}{\varepsilon_{\text{п}}' + 0,345\varepsilon_{\text{п}}''^2 - 0,054\varepsilon_{\text{п}}'' + 1,526} \right\} 10^{-3}.$$

Моделирование зависимости $\lambda_{\Gamma \text{ мин}}(\varepsilon'_{\text{п}}, \varepsilon''_{\text{п}})$ показывает инвариантность $\lambda_{\Gamma \text{ мин}}(\varepsilon'_{\text{п}}, \varepsilon''_{\text{п}})$ от вариации $\varepsilon''_{\text{п}}$ и для приближительных расчетов можно использовать формулу:

$$\lambda_{\Gamma \text{ мин}}(\varepsilon'_{\text{п}}) = 0,006 - \frac{0,005}{\varepsilon_{\text{п}}' + 1,526}. \quad (2)$$

Значение влажности поверхностного слоя можно определить через мнимые и действительные части диэлектрических проницаемостей поверхностного слоя и свободной воды [1]:

$$W_{\text{п1}} = \frac{\varepsilon_{\text{п}}''}{\varepsilon_{\text{п}}'} \quad \text{и} \quad W_{\text{п2}} = \left[\frac{\ln \varepsilon_{\text{п}}' - \ln \varepsilon_{\text{в}}}{\ln \varepsilon_{\text{п}}' - \ln \varepsilon_{\text{в}}} \right]^{1,428},$$

где $\varepsilon'_{\text{п}}$ и $\varepsilon''_{\text{п}}$ – дисперсионно-температурная зависимость действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости свободной воды [1]; $\varepsilon_{\text{в}}$ – диэлектрическая проницаемость «сухого» (со связанной влагой) материала, определяемая по обобщенной формуле Рейнольдса-Хью [1].

Рассчитывают действительную $\varepsilon'_{\text{п}}$ и мнимую $\varepsilon''_{\text{п}}$ части комплексной диэлектрической проницаемости поверхностного слоя из уравнений (1) и (2) и определяют среднее значение влажности поверхностного слоя $W_{\text{п}} = (W_{\text{п1}} + W_{\text{п2}})/2$.

Для определения средней влажности по объему взаимодействия стабилизируют мощность падающей волны $P_{\text{пад}}$, определяют мощность преломленной волны $P_{\text{пр}} = P_{\text{пад}} - P_{\text{отр. мин}}$. Из выражения мощности поглощаемой 1 м^3 в 1 с энергии активных поляризационных потерь

$$P_{\text{пр}} = \frac{\Omega}{2} \varepsilon_0 \varepsilon''(W) \left[\frac{E_{\text{ср}}}{\varepsilon'_{\text{п}}(W_{\text{п}})} \right]^2,$$

где $E_{\text{ср}} \approx E_{\text{м}}/2$ – средняя напряженность электрического поля преломленной волны внутри материала, $E_{\text{м}} = 1,41 \cdot \sqrt{Z_0 P_{\text{пад}}}$ – мощность, переносимая волной, Z_0 – волновое (характеристическое) сопротивление свободного пространства, равное 377 Ом , можно выразить величину мнимой части диэлектрической проницаемости ε'' материала:

$$\varepsilon'' = 0,64 \frac{P_{\text{пр}} \lambda_{\text{г мин}} (\varepsilon'_n (W_n))^2}{P_{\text{пад}}}$$

Влажность материала по объему взаимодействия W рассчитывается по формуле:

$$W = \varepsilon'' / \varepsilon'_1$$

Выбор рабочей длины волны $\lambda_r \approx 0,5$ см (она в 3 раза меньше «резонансной» $\lambda_r \approx 1,74$ см, используемой нами в [1, 3]) продиктован необходимостью учета неоднородностей (шероховатостей) реальных поверхностей, реализации более узкой ДН, возможностью измерения малых величин $\varepsilon''(\lambda_r)$ и т.д. Кроме того, выбранная длина волны позволяет производить контроль влажности образцов толщиной до 3 мм, в том числе различных диэлектрических покрытий [1].

Метрологическая оценка метода показывает, что погрешность измерений уменьшена более чем в 2,5 раза по сравнению с [1, 3], абсолютная погрешность определяется $W(\text{max})$: $\Delta W \leq 0,5 \dots 0,6$ % объемной влажности.

Список литературы

- 1 Федюнин, П.А. Микроволновая термовлагометрия / П.А. Федюнин, Д.А. Дмитриев, А.А. Воробьев, В.Н. Чернышов. – М. : Машиностроение, 2004. – 230 с.
- 2 Пат. 2269763 РФ, МПК⁷ G 01 N 9/36, 22/04. Неразрушающий СВЧ-способ контроля влажности твердых материалов и устройство для его реализации / Тетушкин В.А., Федюнин П.А., Дмитриев Д.А., Чернышов В.Н. – № 2004108282/09 ; заявл. 22.03.04 ; опубл. 10.04.06, Бюл. № 4.
- 3 Пат. 2256165 РФ, МПК⁷ G 01 N 22/02, G 01 R 27/26. СВЧ-способ локализации неоднородностей диэлектрических и магнитодиэлектрических покрытий на металле и оценка их относительной величины / Федюнин П.А., Дмитриев Д.А., Кабиров С.Р. – № 2003126856/09 ; заявл. 01.09.03 ; опубл. 10.07.05, Бюл. № 19.
- 4 Подповерхностная радиолокация / М.И. Финкельштейн, В.И. Карпунин, В.А. Кутеев, В.Н. Метелкин ; под. ред. М.И. Финкельштейна. – М. : Радио и связь, 1994. – 216 с.

Ю.Л. Муромцев, А.И. Мачихин

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

АЛГОРИТМ ОПЕРАТИВНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ

Основными потребителями электроэнергии на многих промышленных предприятиях являются электрические печи. Цеха термообработки машиностроительных предприятий и предприятий электронной промышленности могут насчитывать десятки печей различных типов, а количество деталей, которое обрабатывается в этих печах, исчисляется тысячами. Для каждого типа деталей существует свой план термообработки: количество этапов обработки, температура нагрева, время выдержки, среда нагрева и охлаждения, директивный срок выхода деталей и т.п. Время нагрева и выдержки может достигать нескольких десятков часов. Учитывая эти факторы, а также необходимость уменьшения затрат энергии и ряд дополнительных ограничений, задача управления комплексом электропечей становится одной из основных при планировании календарного производства. Эта задача является очень сложной, и в большинстве случаев получить ее оптимальное решение не представляется возможным.

В общем случае задача оптимального энергосберегающего управления комплексом электропечей формулируется следующим образом. Имеется система из n видов деталей и m типов. Процесс полной обработки одного вида деталей будем называть работой, i -я работа состоит из g_i операций. Каждая операция обозначается тройкой $\langle i, j, k \rangle$, где i – номер работы, $i = \overline{1, n}$; j – номер операции внутри работы, $j = \overline{1, g_i}$; k – тип печи, в которой операция должна выполняться, $k = \overline{1, m}$.

На время и порядок выполнения операций накладываются следующие ограничения: каждая печь выполняет одновременно не более одной операции; операции выполняются в определенной технологическим регламентом последовательности; никакие две операции, относящиеся к обработке одной партии деталей, не выполняются одновременно; время выполнения одной операции включает в себя все настройки печи, предшествующие выполнению операции, и все переналадки ее после выполнения операции.

В задаче предполагается использование двух частных критериев оптимальности: общее время выполнения планового задания Q_T и суммарные затраты энергии Q_E .

Требуется составить такое расписание термообработки деталей, чтобы значение векторного критерия оптимальности $Q = c_1 Q_T + c_2 Q_E$ было минимальным, где c_1, c_2 – весовые коэффициенты. При этом значение Q_T не должно превышать максимально допустимую длительность выполнения планового задания Q_T^{max} , т.е. $Q_T \leq Q_T^{\text{max}}$.

Для оперативного решения данной задачи разработан алгоритм составления квазиоптимального расписания. В его основе лежат следующие положения:

- 1 В первую очередь обрабатываются детали с минимальным значением директивного срока выхода.

2 Различные типы деталей с одинаковыми регламентами обработки объединяются в одну группу на всем протяжении обработки; если у различных типов деталей совпадают регламенты обработки только на некоторой операции, возможно объединение их в одну группу для данной операции.

3 Объем загрузки печи должен быть максимальным.

4 Количество партий p_{ik} , на которое разбиваются детали одного вида, должно быть минимальным.

5 Критерий времени Q_T имеет больший вес, чем критерий энергозатрат Q_E .

Алгоритм решения задачи состоит из четырех основных этапов:

1 Подготовительный этап.

2 Предварительное составление базового расписания.

3 Составление альтернативных вариантов расписания.

4 Выбор предпочтительного варианта.

Подготовительный этап заключается в следующем:

1.1 Для каждой детали составляется список печей, в которых может проходить обработка. При этом должны выполняться условия:

– максимальная температура печи $T_{п}^{\max}$ должна быть больше температуры обработки детали $T_{д}^{\text{обр}}$, т.е. $T_{п}^{\max} > T_{д}^{\text{обр}}$;

– размеры рабочей области печи больше габаритных размеров детали.

1.2 Составляется матрица «Детали – Печи» размерностью $n \times m$. Каждый ее элемент представлен множеством значений затрат энергии, времени и максимального отклонения энергозатрат при обработке одной и всех партий деталей i -го типа на j -й операции в k -й печи. Для элементов матрицы рассчитывается величина затрат энергии и времени на обработку одной и всех партий деталей в печи отдельно.

1.3 Рассчитывается максимальное отклонение энергозатрат Δ_{ijk} при обработке i -го типа деталей на j -й операции в печи k -го типа от средней величины затрат энергии по всем печам, где может вестись термообработка данного типа деталей. По значению Δ_{ijk} для каждого типа деталей определяется, какие типы печей следует исключить из списка доступных к обработке.

1.4 Определяется, сколько партий деталей i -го типа необходимо обработать в печи на $(j-1)$ -й операции, чтобы обеспечить одну полную загрузку печи j -й операции (при $g_i \geq 2$).

1.5 Определяется остаточное количество деталей в печи при неполной загрузке – минимальное количество деталей в одной загружаемой партии, которое может обрабатываться в печи, при условии, что при загрузке остальных партий деталей данного типа печь будет загружена на 100 %.

1.6 Определяется, сколько партий деталей необходимо обработать в печи на $(j-1)$ -й операции, чтобы обеспечить неполную загрузку печи на j -й операции. Рассчитывается время на обработку.

На втором этапе составляется базовый вариант расписания.

2.1 Рассчитывается предварительное расписание по алгоритму Джонсона с целью определения первоначального порядка обработки деталей различных типов. Ограничение на максимальную паузу между операциями термообработки не учитывается. В качестве времени обработки для исходных данных алгоритма Джонсона используется время выдержки деталей в печи из плана обработки.

2.2 Осуществляется предварительное распределение деталей по печам. Для этого по каждому типу деталей:

– с использованием алгоритма Джонсона составляется расписание обработки всех партий деталей для каждого допустимого типа печей; начальная температура в печи рассчитывается, исходя из предварительной очередности обработки деталей (п. 2.1);

– рассчитывается общая длительность расписаний для каждого типа печей и, исходя из этого, выбирается наиболее оптимальный, с точки зрения времени обработки, тип печи;

– находится печь, обработка всех партий деталей в которой потребует минимальных затрат энергии.

2.3 Составляется общее расписание обработки всех типов деталей в различных печах, которое состоит из отдельных расписаний для каждого типа деталей (п. 2.2) в порядке следования, определенном в п. 2.1.

2.4 Расписание, полученное в п. 2.3, дорабатывается с целью учета дополнительных ограничений:

– ограничение на максимальную паузу между этапами термообработки (максимальная длительность паузы – 2 часа);

– ограничения на директивный срок выхода деталей;

– ограничения на количество имеющихся в наличии типов печей и т.п.

2.5 Рассчитывается время на обработку и общие энергозатраты при выполнении расписания.

На третьем этапе рассчитываются альтернативные варианты расписания.

В заключении (на четвертом этапе) производится выбор предпочтительного варианта.

Как показывает практика, первоначальный план обработки деталей может претерпевать некоторые изменения и дополнения, связанные с поступлением срочных заказов, перебоями в поставке материалов, отказами оборудования и т.п. Поэтому составлять расписание целесообразно на срок не более одной рабочей недели. В этом случае его можно быстро переделать в соответствии с изменившимися условиями.

Результаты компьютерного моделирования, а также проведенные эксперименты показывают, что предлагаемый алгоритм составления расписаний позволяет достичь близкие к оптимальному значению общее время выполнения расписания и

затраты электроэнергии.

Для проверки работы алгоритма была разработана и написана программа с использованием CASE-системы Delphi 6. В результате имитационного моделирования получено, что максимальное превышение получаемых при помощи алгоритма значений над оптимальными не достигает 5 % в наиболее сложных случаях.

С.В. Артемова, А.Н. Грибков, А.Е. Ерышов

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ МНОГОСЕКЦИОННОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИЯ В СИСТЕМЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ

В энергоемких отраслях промышленности остро стоят вопросы оптимизации производственных процессов и оптимального управления ими по энергетическим показателям. При создании новых и совершенствовании существующих технологических процессов сушки разработчики во многих случаях недостаточно уделяли внимания рациональному расходу энергии. Задача создания системы энергосберегающего управления (СЭУ) динамическими режимами сушки с использованием несложных и доступных по цене микропроцессорных устройств, которые наряду с традиционными функциями автоматического регулирования могут в реальном масштабе времени синтезировать управляющие воздействия, минимизирующие затраты энергии в динамических режимах, является актуальной.

Важным этапом проектирования СЭУ является идентификация модели динамики объекта управления. Под идентификацией понимается получение или уточнение по экспериментальным данным модели объекта управления, выраженной в виде системы дифференциальных уравнений. Модели динамики, используемые в системах управления, имеют свои особенности, они должны удовлетворять ряду требований, в том числе противоречивых. К этим требованиям относятся: адекватность описания динамических режимов при всех состояниях функционирования, возможность их использования для синтеза оптимального управления в реальном времени и совмещенного синтеза, простота алгоритмов идентификации. Модель должна иметь допустимые характеристики быстродействия и компактности [1].

Объектом исследования является конвективная вальцеленточная сушильная установка (СВЛ), применяемая для сушки пигментов, входящих в состав типографской краски на ОАО «Пигмент» (г. Тамбов).

Для идентификации структуры модели объекта рассмотрим упрощенную схему n -секционной СВЛ (рис. 1).

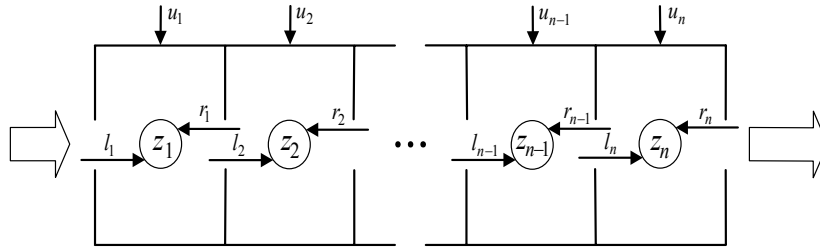


Рис. 1 Упрощенная схема n -секционной СВЛ

На данной схеме: $z_i, i = \overline{1, n}$ – температура в центре i -й секции ($^{\circ}\text{C}$); u_i – управляющее воздействие (степень открытия крана подачи пара, %); l_i, r_i – возмущающие воздействия со стороны соседних секций СВЛ слева и справа.

Исходя из конструктивных и технологических соображений каждая секция сушильной установки рассматривается как локальный многостадийный объект с сосредоточенными параметрами, описываемый системой дифференциальных уравнений с разрывной правой частью. Модель i -й секции записывается в виде:

$$M_i: \dot{z}_i = \begin{cases} A_i^1 z_i^1(t) + B_i^1 u_i^1(t) + C_i^1 l_i^1(t) + D_i^1 r_i^1(t), & z_i^1 \in [z_0^1, z_k^1]; \\ A_i^2 z_i^2(t) + B_i^2 u_i^2(t) + C_i^2 l_i^2(t) + D_i^2 r_i^2(t), & z_i^2 \in [z_0^2, z_k^2]; \\ \dots & \dots \\ A_i^{m_i} z_i^{m_i}(t) + B_i^{m_i} u_i^{m_i}(t) + C_i^{m_i} l_i^{m_i}(t) + D_i^{m_i} r_i^{m_i}(t), & z_i^{m_i} \in [z_0^{m_i}, z_k^{m_i}], \end{cases}$$

где $A_i^j, B_i^j, C_i^j, D_i^j, j = \overline{1, m_i}, i = \overline{1, n}$ – матрицы параметров для j -й стадии i -й секции; z_i^j – вектор фазовых координат; z_{i0}^j, z_{ik}^j – границы j -й стадии.

Возмущающие воздействия со стороны соседних секций рассчитываются по следующим формулам:

$$l_i^j(t) = z_i^j(t) - z_{i-1}^j(t); r_i^j(t) = z_i^j(t) - z_{i+1}^j(t).$$

Динамику всей СВЛ можно представить множеством моделей секций

$$\mathbf{M} = \{M_1, M_2, \dots, M_n\},$$

где $M_i, i = \overline{1, n}$ – модель i -й секции.

При выборе количества стадий m_i в модели необходимо учитывать, что при $m_i > 3$ можно достигнуть высокой точности модели, однако в последующем это ведет к сильному росту объема вычислений на этапе синтеза оптимального управления;

при $m_i \leq 3$, как правило, оперативность расчета оптимальных управляющих воздействий гарантируется.

Для определения видов моделей секций, числа стадий и оценки параметров был проведен эксперимент и сняты термограммы разогрева пятисекционной сушильной установки. В результате решения задачи структурной идентификации были выделены оптимальные структуры моделей динамики секций, основным критерием выбора был минимум максимального значения абсолютной погрешности модели. Результаты структурной идентификации приведены в табл. 1.

1 Структуры моделей динамики секций СВЛ

Номер секции	Вид модели
1	ДА+ДА
2	РДИ+А+А
3	ДИ+А+А
4	ДА+ДА
5	ДА+РДИ

Параметрическая идентификация и оценка погрешности моделей проводились при помощи программного модуля «Идентификация модели объекта управления» экспертной системы «Энергосберегающее управление динамическими объектами» [2].

В качестве примера рассмотрим двухстадийную модель (ДА+ДА) для четвертой секции СВЛ:

$$M_4 : \dot{z}_4 = \begin{cases} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ a_{41}^1 & a_{42}^1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_{41}^1(t) \\ z_{42}^1(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ b_4^1 \end{pmatrix} u_4^1(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ c_4^1 \end{pmatrix} l_4^1(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ d_4^1 \end{pmatrix} r_4^1(t), z_{41}^1 \in [z_{40}^1; z_{4к}^1]; \\ \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ a_{41}^2 & a_{42}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_{41}^2(t) \\ z_{42}^2(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ b_4^2 \end{pmatrix} u_4^2(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ c_4^2 \end{pmatrix} l_4^2(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ d_4^2 \end{pmatrix} r_4^2(t), z_{41}^2 \in [z_{40}^2; z_{4к}^2], \end{cases}$$

где $z_{41}^1(t), z_{41}^2(t)$ – температура в центре i -й секции; $z_{42}^1(t), z_{42}^2(t)$ – скорость изменения температуры для первой и второй стадий модели соответственно.

Значения параметров модели $a_{41}^j, a_{42}^j, b_4^j, c_4^j, d_4^j, j = 1, 2$, полученные при идентификации, и граничные значения вектора фазовых координат для первой $z_{40}^1, z_{4к}^1$ и второй $z_{40}^2, z_{4к}^2$ стадий приведены в табл. 2.

2 Параметры модели динамики четвертой секции СВЛ

	a_{41}^j	a_{42}^j	b_4^j	c_4^j	d_4^j	z_{40}^j	$z_{4к}^j$
$j = 1$	-0,2253	-2,3750	0,1772	0,1317	0,4508	20	58
$j = 2$	-0,1492	-1,0940	0,0516	-1,6720	1,0963	58	73,9

Надо заметить, что при переходе с одной стадии на другую могут изменяться не только параметры модели, но и размерность вектора фазовых координат (например, в трехстадийной модели ДИ+А+А).

Адекватность модели **M** для использования в СЭУ следует рассматривать шире, чем просто удовлетворение требованиям точности. Адекватная модель, кроме того, должна соответствовать возможностям алгоритмов синтеза оптимального управления и технических средств СЭУ, в частности, она должна иметь допустимые характеристики быстродействия для реализации алгоритмов управления в реальном времени.

Соответствие возможностям алгоритмов синтеза оптимального управления означает, во-первых, принципиальную возможность решения задачи оптимального управления с данной моделью и имеющимися алгоритмами; во-вторых, должна обеспечиваться определенная устойчивость решений задачи оптимального управления к незначительным изменениям параметров модели.

Очевидно, что полученная модель **M** вполне соответствует вышеперечисленным требованиям адекватности и пригодна для реализации в системе энергосберегающего управления динамическими режимами сушильной установки.

Список литературы

- 1 Муромцев, Д.Ю. Методы и алгоритмы синтеза энергосберегающего управления технологическими объектами : монография / Д.Ю. Муромцев. – Тамбов ; М. ; СПб. ; Баку ; Вена : Изд-во «Нобелистика», 2005. – 202 с.
- 2 Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 950464. Экспертная система «Энергосберегающее управление динамическими объектами» (EXPSYS).

*Г.С. Баронин¹, А.М. Столин², Д.О. Завражин¹,
Ю.В. Канищева¹, Д.В. Пугачев¹, К.В. Шапкин¹*

1 – ГОУ ВПО «Гамбовский государственный технический университет»,

2 – Институт структурной макрокинетики и проблем
материаловедения РАН (г. Черноголовка)

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНО-РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТВЕРДОФАЗНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ

Настоящая работа посвящена изучению нового перспективного энергосберегающего технологического метода переработки в твердой фазе полимерных композитов на основе АБС-сополимера и сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ).

При освоении новой технологии ставится важнейшая материаловедческая задача – целенаправленное физико-химическое конструирование полимерных композиционных материалов с требуемыми характеристиками структурно-механических, молекулярно-релаксационных и других эксплуатационных свойств. Твердофазная технология относится к энергосберегающим технологиям XXI в. и позволяет решить общую фундаментальную задачу по созданию новых композиционных материалов и изделий с улучшенными физико-механическими свойствами и широким классом применения в промышленности.

В настоящей работе рассматриваются вопросы установления взаимосвязи между показателями твердофазной технологии материала, физико-механическими характеристиками материала, прошедшего обработку давлением в режиме твердофазной экструзии, и особенностями структуры полимера.

Модифицирующими добавками АБС-сополимера и СВМПЭ являются TiB_2 и TiC производства Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, г. Черноголовка, углеродный наноматериал УНМ производства ИТЦ машиностроения, г. Тамбов. Исследования структурно-релаксационных свойств полимерных композитов проводили методом термомеханической спектроскопии (ТМС) Института проблем химической физики РАН, г. Черноголовка и методом линейной дилатометрии. Прочностные показатели композитов после жидкофазной экструзии (ЖФЭ) и твердофазной экструзии (ТФЭ) в условиях растягивающих и срезающих напряжений определяли при скорости приложения нагрузки на разрывной машине, равной 50 мм/мин. Величину деформационной теплостойкости и уровня остаточных напряжений в материале после ТФЭ оценивали в режиме изометрического нагрева на установке с аналогово-цифровым преобразователем АЦП-270 и ПЭВМ.

Рентгеноструктурные исследования (РСА) образцов АБС- и СВМПЭ-композитов проводили в режиме «на отражение» с использованием рентгеновского дифрактометра ДРОН-3.0.

Полученные экспериментальные результаты по твердофазной технологии объясняются структурными изменениями полимера, прошедшего обработку давлением в твердой фазе на основе данных ТМС и РСА. Проведенные исследования ТМС АБС-композитов показали, что после ТФЭ полимера происходит полная трансформация изотропной структуры в анизотропную с изменением степени кристалличности, массово-молекулярного распределения, увеличением кристаллического блока и распадом межзловых цепей полимера. Увеличение доли кристаллического блока с 0,20 в исходном АБС до 0,77 в полимере после обработки в режиме ТФЭ за счет распавшихся цепей свидетельствует о процессах ориентационной кристаллизации при обработке полимера давлением в твердой фазе.

Полученные экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что обработка полимерных композитов в твердой фазе формирует структуру полимера с повышенной прочностью, деформационной теплостойкостью и низким уровнем внутренних остаточных напряжений в материале. При этом отмечен экстремальный характер зависимости указанных эксплуатационных характеристик композита в области небольших количеств (до 2 м.ч.) модификатора TiC , TiB_2 и УНМ в полимерной матрице.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках аналитической ведомственной программы «Развитие научного потенциала высшей школы», код РНП. 2.2.1.1.5355.

М.Г. Барышев, С.С. Джимак, Н.Н. Куликова

Кубанский государственный университет (г. Краснодар)

СУШКА ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ПОМОЩИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КРАЙНЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

Различные виды электромагнитного излучения давно используются в деревообрабатывающей промышленности в основном для оценки свойств древесины. Лучи видимого света – для оценки наличия видимых пороков древесины, световое лазерное излучение – для выжигания деталей сложной конфигурации, ультрафиолетовые лучи – для определения качества древесины, рентгеновские лучи – выявления скрытых пороков и в других случаях. Известны методы сушки древесины инфракрасным и сверхвысокочастотным (СВЧ) электромагнитным полем (ЭМП). Однако данные методы требуют высоких затрат энергии, например, при СВЧ-сушке удельные энергозатраты составляют от 2 до 3 кВт · ч/кг. Поэтому актуальным направлением является поиск диапазонов частот, на которых сушка древесины будет осуществляться с меньшими энергозатратами. Нами было проведено исследование сушки различных пород дерева с помощью электромагнитного поля крайне низкочастотного диапазона (КНЧ) (3–30 Гц).

В основном все существующие способы сушки пиломатериалов основаны на испарении влаги, т.е. осуществляются при достижении критической точки перехода жидкости из одного агрегатного состояния в другое. При использовании электромагнитного поля для сушки древесины – процесс осуществляется без перевода жидкости через критическую точку.

Транспорт ионов водорода через мембрану клетки позволяет выводить воду из клетки, используя механизмы работы отдельной клетки, при этом важно, чтобы целостность мембранной оболочки клетки не нарушалась и не затрачивалась энергия на превращение воды в пар [1]. В процессе сушки электромагнитным полем процесс влагоотдачи осуществляется за счет градиенты влажности и температуры.

Предварительные опыты по нахождению частот, оказывающих ускоряющее действие на выход влаги из древесины, показали, что наибольший отклик исследуемых систем может быть получен для тополя на частоте 26,8 Гц, дуба – 16,2 Гц, сосны – 19,0 Гц при величине магнитной индукции 6 мТл. После этого проводилась серия экспериментов по воздействию ЭМП КНЧ на древесные породы тополя, сосны и дуба с целью уменьшения содержания влаги в них. Например, для тополя полученные данные представлены на рис. 1.

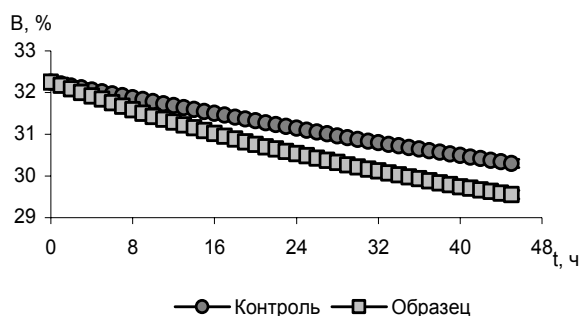


Рис. 1 Зависимость изменения влагосодержания (В, %) в образце тополя при обработке ЭМП КНЧ

Как видно из рис. 1 – процесс влагоотдачи проходит равномерно, с большей скоростью по сравнению с контрольными образцами и достаточно интенсивно на протяжении всего периода времени.

Список литературы

- 1 Биофизика / Ю.А. Владимиров, Д.И. Рошупкин, А.Я. Потапенко, А.И. Деев. – М. : Медицина, 1983.

А.Н. Богданов

Казанский государственный энергетический университет

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЫЛЕВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ПУСКЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Одним из основных видов топлива в энергетике является твердое топливо – уголь, торф и др., на котором работают пылеугольные котлы. Повышение надежности конструкций и получение оптимальных показателей работы технологических систем приводят к необходимости детального изучения протекающих процессов.

Одной из характерных особенностей протекания гидродинамических процессов является наличие эффектов нестационарности (режимы пуска-останова, маневровые режимы, выполняемые для выбора оптимальных режимов работы, функционирование средств автоматизации и др.). Нестационарность приводит к значительному отклонению параметров одно- и двухфазных течений и может существенно изменить протекание гидродинамических, тепловых, массообменных и химических процессов, а в ряде случаев нестационарные режимы определяют прочностные запасы конструкций.

Многофазные системы, состоящие из непрерывной (несущей) и дискретной (несомой) фаз, могут быть представлены в виде некоторой совокупности частиц, находящихся в непрерывном движении. Ввиду невозможности определения параметров для каждой из этих частиц используем осредненное описание их движения с введением понятия многоскоростного континуума и взаимопроникающего движения его составляющих [1]. В рамках континуального представления двухфазных потоков уравнения движения и неразрывности при отсутствии фазовых переходов можно записать отдельно для каждой фазы [2, 3].

В случае невысокой концентрации твердой фазы взаимодействием между частицами и стенкой можно пренебречь. При отсутствии массообменных процессов взаимодействие между фазами определяется в основном действующими на частицу аэродинамическими силами [2, 4, 5]. При этом система дифференциальных уравнений может быть представлена следующим образом:

а) уравнение движения для несжимаемой жидкости

$$\rho \frac{\partial w_x}{\partial t} + \rho w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + \rho w_r \frac{\partial w_x}{\partial r} = - \frac{dP}{dx} + \frac{1}{r} \frac{\partial r\tau}{\partial r} + \frac{\rho_s \beta_s}{\tau_s} (w_{sx} - w_x); \quad (1)$$

б) уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости

$$\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_r}{\partial r} = 0; \quad (2)$$

в) уравнение движения для «газа» частиц

$$\rho_s \frac{\partial w_{sx}}{\partial t} + \rho_s w_{sx} \frac{\partial w_{sx}}{\partial x} + \rho_s w_{sr} \frac{\partial w_{sx}}{\partial r} = \frac{\rho_s \beta_s}{\tau_s} (w_x - w_{sx}); \quad (3)$$

г) уравнение неразрывности для «газа» частиц

$$\frac{\partial w_{sx}}{\partial x} + \frac{\partial w_{sr}}{\partial r} = 0, \quad (4)$$

где $\tau_s = (2\rho_s + \rho)d_s^2/(36\mu)$ – время релаксации частиц; β_s – концентрация частиц.

При решении уравнений пограничного слоя воспользуемся параметрическими интегральными методами расчета, которые основываются на решении интегральных уравнений пограничного слоя с привлечением полуэмпирических зависимостей теории турбулентности.

Предполагая, что профиль скоростей в потенциальной части течения не деформируется под действием внешних факторов и имеет прямолинейную форму, после интегрирования дифференциальных уравнений (1) и (2) в пределах пограничного слоя получаем следующие интегральные зависимости:

а) соотношение импульсов

$$F_1 \frac{\partial \bar{Re}^{**}}{\partial t} + F_2 \frac{\partial \bar{Re}^{**}}{\partial X} = F_3 + F_4, \quad (5)$$

где

$$F_1 = \frac{2r_0 H}{w_{01}}; \quad (6)$$

$$F_2 = 4H \bar{Re}^{**} (2 + H) + 1; \quad (7)$$

$$F_3 = \frac{C_f}{2} (4H \bar{Re}^{**} + 1)^2 + \frac{\rho_s \beta_s}{\rho \tau_s w_{01}^2} (w_{s0} \delta_s^* - w_0 H \delta^{**}) - \frac{r_0}{w_{01}^2} (W_0 - 1) \frac{dw_{01}}{dt} - 4H \bar{Re}^{**2} (1 + H) \frac{\partial H}{\partial X}; \quad (8)$$

$$F_4 = \frac{r_0 \bar{Re}^{**}}{2\delta^{**} W_0} \left[\frac{2r_0}{w_{01}} \frac{\partial W_0}{\partial t} + \frac{2r_0}{w_{01}^2} W_0 \frac{dw_{01}}{dt} + W_0 \frac{\partial W_0}{\partial X} + \frac{1}{\rho w_{01}^2} \frac{dP}{dX} + \frac{2r_0 \beta_s}{\tau_s w_{01}} \left(\frac{w_{s0}}{w_{01}} - W_0 \right) \right]; \quad (9)$$

б) уравнение неразрывности

$$4H \bar{Re}^{**} = W_0 - 1. \quad (10)$$

В (5 – 10) принято

$$\bar{Re}^{**} = Re^{**} / Re_1; \quad (11)$$

$$\delta^{**} = \int_0^{r_0} \frac{w_x}{w_0} \left(1 - \frac{w_x}{w_0} \right) \left(1 - \frac{y}{r_0} \right) dy; \quad (12)$$

$$\delta^* = \int_0^{r_0} \left(1 - \frac{w_x}{w_0} \right) \left(1 - \frac{y}{r_0} \right) dy; \quad (13)$$

$$\delta_s^* = \int_0^{r_0} \left(1 - \frac{w_{sx}}{w_{s0}} \right) \left(1 - \frac{y}{r_0} \right) dy; \quad (14)$$

$$H = \delta^* / \delta^{**}; \quad (15)$$

$$W_0 = w_0 / w_{01}. \quad (16)$$

Допустим, что

$$\frac{\partial W_0}{\partial t} \approx \frac{1 + W_0}{w_{01}} \frac{dw_{01}}{dt}. \quad (17)$$

Тогда из (5), после соответствующих преобразований, уравнение импульсов принимает вид

$$\begin{aligned} & \left[4H \bar{Re}^{**} (2 + H) + 1 \right] \frac{d \bar{Re}^{**}}{dt} = \frac{C_f}{2} (4H \bar{Re}^{**} + 1)^2 + \frac{\rho_s \beta_s}{\rho \tau_s w_{01}^2} (w_{s0} \delta_s^* - \\ & - w_0 H \delta_s^{**}) - r_0 \frac{4H \bar{Re}^{**}}{w_{01} Re_1} \frac{d Re_1}{dt} - 4 \bar{Re}^{**2} (1 + H) \frac{\partial H}{\partial X} + \frac{r_0}{2} \frac{\bar{Re}^{**}}{\delta_s^{**} W_0} \times \\ & \times \left\{ \frac{2r_0}{w_{01}^2} (1 + 2W_0) \frac{dw_{01}}{dt} + W_0 \frac{\partial W_0}{\partial X} + \frac{1}{\rho w_{01}^2} \frac{dP}{dX} + \frac{2r_0 \beta_s}{\tau_s w_{01}} \left(\frac{w_{s0}}{w_{01}} - W_0 \right) \right\}. \end{aligned} \quad (18)$$

Уравнение импульсов в форме (18) описывает движение двухфазных потоков на начальном и стабилизированном участках цилиндрического канала. Если параметры внешнего по отношению к пограничному слою потока удовлетворяют интегралу Лагранжа-Коши в модифицированной для двухфазных потоков форме

$$\rho \frac{\partial w_0}{\partial t} + \rho w_0 \frac{\partial w_0}{\partial x} + \frac{dP}{dx} + \frac{\rho_s \beta_s}{\tau_s} (w_{s0} - w_0) = 0, \quad (19)$$

то уравнение импульсов (18) упрощается в результате равенства нулю выражения, записанного в фигурных скобках.

Список литературы

- 1 Нигматулин, Р.И. Основы механики гетерогенных сред / Р.И. Нигматулин. – М. : Наука, 1978. – 336 с.
- 2 Соу, С. Гидродинамика многофазных систем / С. Соу. – М. : Мир, 1971. – 536 с.
- 3 Сверхзвуковые двухфазные течения в условиях скоростной неравновесности фаз / Н.Н. Яненко, Р.И. Солоухин, А.Н. Папырин, В.М. Фомин. – Новосибирск : Наука, 1980. – 160 с.
- 4 Бусройд, Р. Течение газа со взвешенными частицами / Р. Бусройд. – М. : Мир, 1975. – 379с.
- 5 Фафурин, А.В. Двухфазный пограничный слой в трубах / А.В. Фафурин, Р.А. Муслимов // Тепло- и массообмен в хим. технол. –Казань, 1981. – С. 8 – 11.

*В.М. Дмитриев, Г.С. Баронин, А.Г. Ткачев,
С.А. Иванов, А.Ю. Крутов, Д.Е. Кобзев, Д.О. Завражин*

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ИНГРЕДИЕНТОВ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Современные полимерные материалы являются сложными композитами, содержащими наряду с основным полимером ряд ингредиентов, выбор которых определяется условиями эксплуатации готовых изделий. В частности, для улучшения прочностных характеристик готовых изделий в полимерные композиты в последнее время вводят малые (до 1–2 %) добавки наноматериалов. Наибольшее применение в этих целях находят углеродные наноматериалы с размером частиц 40–100 нм, что позволяет формировать полимерную матрицу с улучшенными прочностными характеристиками. Введение углеродных наноматериалов позволяет на 15–20 % увеличить прочностные характеристики готовых изделий. Как показывают исследования, прочностные показатели углеродных наноматериалов в существенной степени определяются площадью граничной поверхности между углеродным наноматериалом и полимерной матрицей и взаимодействием на этой поверхности.

Твердофазные технологии переработки полимерных композитов, основанные на пластической деформации в условиях высокого гидростатического давления, являются энергосберегающими технологиями. Наряду с этим твердофазные технологии переработки полимерных композитов позволяют существенно улучшить как прочностные, так и диффузионные показатели готовых изделий, что в целом ряде случаев делает указанную технологию незаменимой.

Полимерные композиты на протяжении всего технологического процесса изготовления контактируют с рядом низкомолекулярных соединений, которые необходимо удалять для обеспечения требуемого качества готовой продукции. Наиболее распространенным из них является вода. Особый интерес к проблеме взаимодействия полимеров и полимерных композитов с водой вызван практической значимостью вопроса, так как вода постоянно присутствует при реальных условиях изготовления и эксплуатации изделий.

Оптимальный выбор способа проведения и аппаратурного оформления процесса твердофазной экструзии невозможен без физического анализа тепломассопереносных свойств и гидродинамики исследуемых процессов в реальных условиях работы оборудования, математического описания и решения поставленных задач аналитическими или численными методами.

В работе исследованы композиционные полимерные материалы на основе углеродных наноматериалов и эксперимен-

тально получены температурно-влажностные зависимости коэффициента диффузии воды для композитов с легирующими ингредиентами. Полученные данные свидетельствуют о существенной температурно-влажностной зависимости коэффициента диффузии воды для полимерных материалов, влиянии новых ингредиентов на коэффициент диффузии. Анализ температурно-влажностной зависимости коэффициента эффективной диффузии воды для исследованной группы полимерных материалов показывает значительное влияние легирующих добавок на структуру полимерного материала и, соответственно, на прочностные характеристики изделий.

Полученные экспериментальные данные о существенном изменении диффузионных свойств полимерных материалов при добавлении даже малых количеств легирующих ингредиентов должны учитываться как при отработке технологических параметров твердофазной экструзии, так и при оценке эксплуатационных свойств полимерных композитов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках аналитической ведомственной программы «Развитие научного потенциала высшей школы», код РНП.2.2.1.1.5355.

О. П. Марфина

Казанский государственный энергетический университет

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУСКОВЫХ РЕЖИМОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В основу математической модели, описывающей нестационарное неизотермическое течение несжимаемого газа в осесимметричных каналах с теплообменом, могут быть положены уравнения движения, неразрывности и энергии, записанные в следующей форме:

$$\rho \frac{\partial w_x}{\partial t} + \rho w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + \rho w_r \frac{\partial w_x}{\partial r} = - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial(r\tau)}{\partial r}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho r}{\partial t} + \frac{\partial(\rho w_x r)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w_r r)}{\partial r} = 0; \quad (2)$$

$$\rho \frac{\partial h^*}{\partial t} + \rho w_x \frac{\partial h^*}{\partial x} + \rho w_r \frac{\partial h^*}{\partial r} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial(rq)}{\partial r} + \frac{\partial P}{\partial t}; \quad (3)$$

$$h^* = h_i + \frac{w_x^2}{2}; \quad h_i = \int_0^T C_{p_i} dT. \quad (4)$$

Система уравнений (1) – (4) совместно с заданными в форме (5) начальными и граничными условиями:

$$G = f(t);$$

$$T_0^* = f(t); \quad (5)$$

$$T_w = f(t, x);$$

$$\bar{r}_0 = \begin{cases} \bar{r}_0 = \text{const, если } X \leq X_m; \\ \bar{r}_0 = 1 - kX, \text{ если } X_m < X \leq X_k \end{cases}$$

и необходимыми замыкающими соотношениями (6) – (7) [1]

$$\sqrt{\frac{C_f}{2}} = \int_{\omega_1}^1 \sqrt{\rho/\rho_0} d\omega \left/ \int_{\xi_1}^1 \sqrt{\bar{\tau}/\bar{\tau}_0} \frac{\partial \xi}{\xi} \right.; \quad (6)$$

$$St = \sqrt{\frac{C_f}{2}} \int_{\vartheta_1}^1 \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} d\vartheta \left/ \int_{\xi_{1h}}^1 \frac{\bar{q}}{\bar{q}_0} \sqrt{\frac{\bar{\tau}_0}{\bar{\tau}}} \frac{d\xi_h}{\xi_h} \right. \quad (7)$$

полностью описывает нестационарное неизотермическое течение несжимаемого газа в осесимметричных каналах цилиндрической (X_T) и конфузорно-диффузорной (X_K) формы.

В рассматриваемом случае имеют место следующие возмущающие течение факторы: продольный градиент давления, неизотермичность, тепловая нестационарность, гидродинамическая нестационарность.

В основу аналитического исследования положен параметрический метод, разработанный в трудах Кутателадзе С.С. и Леонтьева А.И. [2]. Суть его заключается в изучении влияния конкретного воздействия на процессы трения и теплоотдачи с последующим синтезом явлений – изучением их совместного воздействия и установления корреляционных связей между ними.

Вспользуемся уравнениями (1) и (3) в виде, преобразованном к интегральным соотношениям импульсов

$$\frac{1}{\rho_0 w_0^2} \frac{\partial \rho_0 w_0 \delta^*}{\partial t} + \frac{\partial \delta^{**}}{\partial x} + \delta^{**} \left[(2+H) \frac{1}{w_0} \frac{\partial w_0}{\partial x} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho_0}{\partial x} + \frac{1}{r_0} \frac{\partial r_0}{\partial x} \right] = \frac{C_f}{2} \quad (8)$$

и энергии

$$\frac{1}{\Delta h w_0} \cdot \frac{\partial \Delta h \delta_h^*}{\partial t} + \frac{\partial \delta_h^{**}}{\partial x} + \frac{\delta_h^{**}}{w_0} \cdot \frac{\partial w_0}{\partial x} + \frac{\delta_h^*}{\rho_0} \cdot \frac{\partial \rho_0}{\partial x} + \frac{\delta_h^{**}}{\Delta h} \cdot \frac{\partial \Delta h}{\partial x} + \frac{\delta_h^{**}}{r_0} \cdot \frac{\partial r_0}{\partial x} = St. \quad (9)$$

Уравнение движения является уравнением первого порядка в частных производных. Для численной реализации уравнения движения

$$D \frac{\partial W_0}{\partial t} + E \frac{\partial W_0}{\partial X} = \mathcal{J} \quad (10)$$

используем метод характеристик. Это позволяет при переходе к новым характеристическим координатам в квазилинейном приближении представить уравнение (10) в виде системы дифференциальных уравнений в полных производных:

$$\begin{cases} \frac{dt}{D} = \frac{dX}{E}; & \frac{dt}{dX} = \frac{D}{E}; \\ \frac{dX}{E} = \frac{dW_0}{\mathcal{J}}; & \frac{dW_0}{dX} = \frac{\mathcal{J}}{E}, \end{cases} \quad (11)$$

где

$$\mathcal{J} = \text{Re}_1 \frac{C_{f_0}}{2} \Psi_{\Sigma} W_0^2 \bar{r}_0 - \left(\text{Re}^{**} W_0 + \text{Re}^{**} H W_0 - \frac{\text{Re}_1}{4} W_0^2 2 \cdot \bar{r}_0 \right) \frac{\partial \bar{r}_0}{\partial X}; \quad (12)$$

$$\begin{aligned} E = & \text{Re}^{**} \bar{r}_0 + W_0 \bar{r}_0 \frac{\partial \text{Re}^{**}}{\partial W_0} + \text{Re}^{**} H \bar{r}_0 + \text{Re}^{**} W_0 \bar{r}_0 \frac{\partial H}{\partial W_0} + \\ & + H W_0 \bar{r}_0 \frac{\partial \text{Re}^{**}}{\partial W_0} - W_0 \bar{r}_0^2 \frac{\text{Re}^{**}}{4}; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\frac{\partial \text{Re}^{**}}{\partial W_0} = \frac{L \mathcal{J} - K B}{N B + H \bar{r}_0 \mathcal{J}}; \quad (14)$$

$$L = \frac{\text{Re}_1}{4} \bar{r}_0^2 - \text{Re}^{**} \bar{r}_0 \frac{\partial H}{\partial W_0}; \quad (15)$$

$$K = \text{Re}^{**} \bar{r}_0 + \text{Re}^{**} H \bar{r}_0 + \text{Re}^{**} W_0 \bar{r}_0 \frac{\partial H}{\partial W_0} - W_0 \bar{r}_0^2 \frac{\text{Re}_1}{4}; \quad (16)$$

$$N = W_0 \bar{r}_0 + H W_0 \bar{r}_0; \quad (17)$$

$$\begin{aligned} B = & \left(\text{Re}^{**} H - \frac{\text{Re}_1}{2} W_0 \bar{r}_0 \right) \frac{\partial \bar{r}_0}{\partial X} - \frac{\text{Re}_1}{4} \bar{r}_0^2 \frac{2 \bar{r}_{01}}{w_{01}} \frac{1}{\rho_{01}} \frac{\partial \rho_{01}}{\partial t} - \\ & - \frac{\text{Re}^{**} H \cdot \bar{r}_0}{W_0} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1 - \varphi_h}{\varphi_h} \right); \end{aligned} \quad (18)$$

$$D = \text{Re}^{**} \bar{r}_0 \frac{2 r_{01}}{w_{01}} \frac{\partial H}{\partial W_0} + H \bar{r}_0 \frac{2 r_{01}}{w_{01}} \frac{\partial \text{Re}^{**}}{\partial W_0}. \quad (19)$$

Уравнение неразрывности

$$\frac{4 H \text{Re}^{**} \bar{r}_0}{\text{Re}_1} = W_0 \bar{r}_0^2 - 1. \quad (20)$$

Уравнение энергии

$$\begin{aligned} \frac{\partial \text{Re}_h^{**}}{\partial X} = & - \text{Re}_h^{**} \left[\frac{1}{h_0^* - h_w} \frac{\partial}{\partial X} (h_0^* - h_w) + \frac{1}{\bar{r}_0} \frac{\partial \bar{r}_0}{\partial X} \right] + \frac{\text{Re} St_0 \Psi_{\Sigma h}}{\bar{r}_0} + \\ & + \frac{1}{h_0^* - h_w} \frac{\partial}{\partial t} h_0^* \bar{\rho}_0 \bar{r}_0 \frac{\bar{r}_{01}}{2 w_{01}} \text{Re}_1, \end{aligned} \quad (21)$$

где

$$\text{Re} = \bar{\rho}_0 \bar{r}_0 W_0 \text{Re}_1; \quad (22)$$

$$\text{Re}_1 = \frac{\rho_{01} w_{01} 2r_{01}}{\mu_{01}}; \quad (23)$$

$$\bar{\rho}_0 = \frac{\rho_0}{\rho_{01}}; \quad W_0 = \frac{w_0}{w_{01}}; \quad \bar{r}_0 = \frac{r_0}{r_{01}}. \quad (24)$$

Заслуживает внимания временная производная в уравнении (22). Видно, что

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho r h^* = \frac{\partial}{\partial t} \rho_0 r_0 h_0^*, \quad (25)$$

т.е. комплекс величин $\rho r h$ изменяется во времени одинаково по всему сечению канала. Это довольно удобное свойство системы, так как существенно понижает сложность численной реализации уравнения (21), переводя его в класс обыкновенных дифференциальных уравнений, так как величина $\rho_0 r_0 h_0^*$ определяется начальными условиями для случая течения в коротких каналах.

Таким образом, соотношения (10–21), замыкающиеся зависимостями (6) и (7) для коэффициентов трения и теплоотдачи с начальными и граничными условиями (5), позволяют рассчитать значения коэффициентов трения и теплоотдачи, интегральных и тепловых характеристик и параметры течения с теплообменом несжимаемого газа в целом в осесимметричных каналах переменной геометрии с предвключенным участком цилиндрической трубы.

Список литературы

- 1 Володин, Ю.Г. Расчет коэффициентов трения и теплоотдачи при нестационарном неизотермическом течении несжимаемого газа в осесимметричных каналах / Ю.Г. Володин, О.П. Марфина // Изв. вузов. Машиностроение. – 2007. – № 3.
- 2 Кутателадзе, С.С. Турбулентный пограничный слой сжимаемого газа / С.С. Кутателадзе, А.И. Леонтьев. – Новосибирск: СО АН СССР, 1962. – 180 с.

С.Н. Мочалин

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭКСПРЕССНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ ВЛАГИ В КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛАХ*

В данной работе рассматривается математическая основа для экспресс-метода измерения коэффициента диффузии влаги в тонколистовых капиллярно-пористых материалах (КПМ). Сущность метода заключается в подаче импульса влаги в тонколистовой КПМ и регистрации времени появления максимального значения влагосодержания на заданном расстоянии r от точки подачи импульса.

При определенных допущениях математическая модель процесса диффузии в тонколистовом капиллярно-пористом материале запишется в виде:

$$\frac{\partial U(r, \tau)}{\partial \tau} = a_m \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \frac{\partial U(r, \tau)}{\partial r} \right] + \frac{W_n}{\rho_0} \delta(x) \delta(\tau), \quad \tau > 0, \quad 0 \leq r < \infty; \quad (1)$$

$$U(r, 0) = U_0^H; \quad (2)$$

$$\frac{\partial U(0, \tau)}{\partial r} = 0; \quad (3)$$

$$U(\infty, \tau) = U_0^H, \quad (4)$$

где $U(r, \tau)$ (кг вл./кг. сух. мат.) – влагосодержание в плоскости с координатой r (м) в момент времени τ (с); a_m (м²/с) – искомый коэффициент диффузии; $\delta(x)$, $\delta(\tau)$ – δ -функции Дирака; U_0^H – начальное влагосодержание в материале; ρ_0 (кг. сух. мат./м³) – плотность сухого материала; W_n (кг вл./м) – количество влаги в импульсе, отнесенное к толщине листа КПМ.

Решая задачу (1) – (4), получим [1]

$$U(r, \tau) = \frac{W_n}{4\pi a_m \rho_0 \tau} \exp \left[-\frac{r^2}{4a_m \tau} \right]. \quad (5)$$

В точке максимума функции выполняется условие

$$\frac{\partial U(r, \tau)}{\partial \tau} = 0. \quad (6)$$

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора С.В. Пономарева

С учетом (5) из условия существования экстремума (6) получим выражение для расчета коэффициента диффузии:

$$a_m = \frac{r^2}{4\tau_{\max}}, \quad (7)$$

где τ_{\max} – время появления максимума влагосодержания на расстоянии r от импульса влаги.

Данный метод не имеет подготовительной стадии, за счет чего и достигается быстрота измерения по сравнению с другими методами.

В докладе обсуждаются модификации метода, предусматривающие возможности вычисления коэффициента диффузии a_m по экспериментально измеренным значениям:

- момента времени τ_n , соответствующего точке перегиба на графике изменения влагосодержания образца во времени;
- момента времени τ_α , соответствующего заданному значению отношения $\alpha = \frac{(U(r, \tau_\alpha) - U(r, 0))}{(U(r, \tau_{\max}) - U(r, 0))}$.

Список литературы

1 Пономарев, С.В. Теоретические и практические аспекты теплофизических измерений : монография. В 2 кн. / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко, А.Г. Дивин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – Кн. 2. – 216 с.

Д.Ю. Муромцев, Р.В. Гребенников

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ МНОГОМЕРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

К многомерным относятся объекты, имеющие несколько входов и несколько выходов, причем при анализе функционирования здесь приходится учитывать явления взаимодействия и связности между группами входных и выходных сигналов. Такие объекты относят к классу МИМО-систем (Multi-Input Multi-Output).

Будем полагать, что динамика МИМО-систем в пространстве состояний описывается системой уравнений

$$\dot{z} = Az(t) + Bu(t); \quad z(t_0) = z_0; \quad y(t) = Cz(t) + Du(t),$$

здесь z – n -вектор состояния (фазовых координат); u – m -вектор управления; y – m_1 -вектор выхода ($m_1 \leq m$); A, B, C, D – матрицы соответствующих размерностей ($n \times n, n \times m, m_1 \times n, m_1 \times m$).

Если $m_1 = m$, то система называется квадратной. Вход $u_j(t)$ влияет на несколько компонент вектора выхода, а на компонент $y_j(t)$ вектора выхода воздействует несколько составляющих вектора входа. На практике не все составляющие вектора входа связаны с одинаковым использованием энергоресурсов. Например, в системе контроля свойств материалов $u_1(t)$ – напряжение, подаваемое на нагревательный элемент, а $u_2(t)$ – управляет частотой измерения температуры.

Для решения задач энергосберегающего управления предлагается использовать два подхода. Первый подход применим для квадратных систем на основе преобразования передаточной матрицы объекта

$$W_0(p) = \begin{pmatrix} W_{11}(p) & W_{12}(p) & \dots & W_{1m}(p) \\ W_{21}(p) & W_{22}(p) & \dots & W_{2m}(p) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ W_{m1}(p) & W_{m2}(p) & \dots & W_{mm}(p) \end{pmatrix}$$

в диагональную, при которой обеспечивается независимость каналов и имеет место

$$\begin{pmatrix} Y_1(p) \\ Y_2(p) \\ \vdots \\ Y_m(p) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_{11}^d(p) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & W_{22}^d(p) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & W_{mm}^d(p) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1(p) \\ U_2(p) \\ \vdots \\ U_m(p) \end{pmatrix},$$

здесь $W_{ij}(p)$ – передаточная функция объекта от компонента $U_j(p)$ входа к компоненту $Y_j(p)$ выхода (p – параметр преобразования Лапласа); $W_{ii}^d(p)$ – элемент диагональной передаточной матрицы объекта. Для получения диагональной матрицы на вход объекта включаются специальные устройства – компенсаторы. Передаточная функция компенсатора $W_k(p)$ определяется по формуле

$$W_k(p) = \text{diag } W_0(p) \cdot W_0^{-1}(p).$$

Затем задача энергосберегающего управления решается независимо по каждому каналу известными методами.

Второй подход основан на развитии идеи аналитического конструирования оптимальных регуляторов (АКОР) с функционалом

$$J(u) = \int_0^{\infty} (y^T(t) Q y(t) + u^T(t) R u(t) + 2y^T(t) N u(t)) dt,$$

где Q, R, N – матрицы весовых коэффициентов.

Для достижения эффекта энергосбережения здесь предлагаются два способа. Первый способ использует возможности придания больших весов для «энергетических» компонентов вектора управления. Второй способ основан на «двухшаговой» процедуре расчета управляющих воздействий и заключается в следующем. В векторе управления выделяется компонент $u_j^z(t)$, характеризующийся наибольшими энергозатратами, и составляющая $y_i^z(t)$, на которую он оказывает основное воздействие. На первом временном шаге для $u_j^z(t)$ реализуется энергосберегающее управление, рассчитанное по каналу $u_j^z(t) \rightarrow y_j^z(t)$, а по остальным компонентам вектора управления реализуются воздействия, полученные алгоритмом АКОР. На втором шаге для всех компонент реализуются воздействия АКОР. Далее эти шаги повторяются, пока объект не будет выведен на требуемый режим.

А.С. Ртищева, К.И. Артюхин

Ульяновский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЙ

Температура поверхности ограждающих конструкций, как известно, зависит от многих факторов. Установка датчиков температуры на поверхности стен, оконных и дверных проемов – очень трудоемкое и дорогостоящее мероприятие, поэтому для исследования теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций чаще всего используется тепловизор – прибор, позволяющий тепловое излучение объектов преобразовывать в цветное изображение, где определенному значению температуры соответствует свой характерный цвет, что делает исследование наглядным. К недостаткам использования тепловизора следует отнести отсутствие в настоящее время методик определения средних коэффициентов теплопроводности ограждающих конструкций здания, необходимых для сравнения с нормативными значениями, что в свою очередь дает информацию о возможностях проведения необходимых энергосберегающих мероприятий.

Оценить средний коэффициент теплопередачи для всего здания можно без привлечения тепловизора. Для этого достаточно снять данные о потребленном тепловом потоке с теплосчетчика и данные о температуре наружного воздуха. При этом средний коэффициент теплопередачи будет равен:

$$k = \frac{q}{(t_{в} - t_{н})}, \quad (1)$$

где $q = \frac{Q}{F}$ – удельный потребленный тепловой поток; Q – потребленный зданием тепловой поток (значения снимаются с теплосчетчика);

F – площадь поверхности здания; $t_{в}$ – температура внутреннего воздуха (фиксируется термометром или датчиком температуры); $t_{н}$ – температура наружного воздуха (фиксируется датчиком или берется из метеоданных).

Подобные исследования коэффициента теплопередачи не дают информацию о том, как и где именно необходимы утепления здания, и только на основе термограмм, полученных с тепловизора, можно сделать подробный анализ теплоизоляционных свойств здания. В качестве примера, было проведено исследование теплоизоляционных свойств здания главного учебного корпуса Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ). При этом получены следующие термограммы (рис. 1, 2). Необходимо отметить, что исследование проводилось в марте 2007 г. при температуре наружного воздуха -10°C .

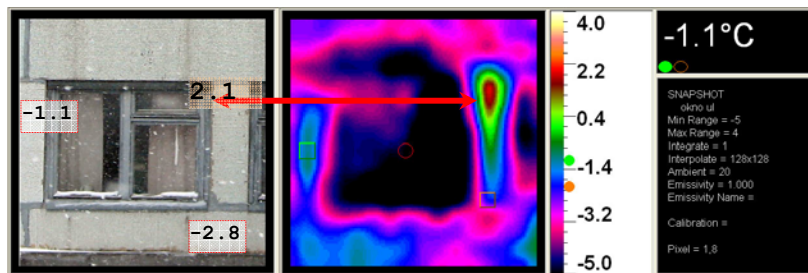


Рис. 1 Термограмма оконного проема здания

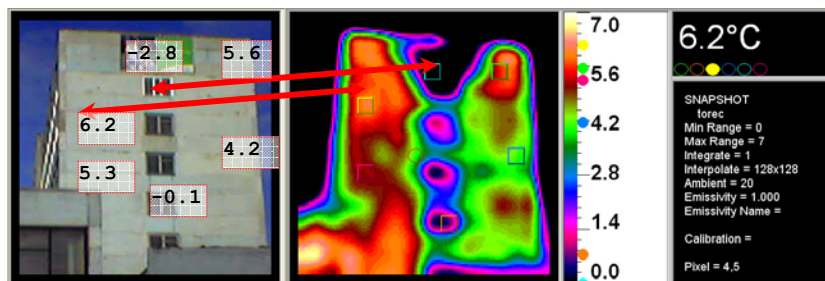


Рис. 2 Термограмма торцевой части здания

Из рис. 2 видно, что в на последнем этаже здания, где было установлено пластиковое окно температура поверхности значительно ниже, чем температура других частей здания. При этом, можно оценить коэффициент теплопроводности.

$$\lambda = \frac{q\delta}{(t_{в\text{стен}} - t_{н\text{стен}})}, \quad (2)$$

где $t_{в\text{стен}}$ – температура внутренней поверхности стен (обычно берется на 2 – 3 °С ниже температуры внутреннего воздуха или измеряется тепловизором); $t_{н}$ – температура наружной поверхности стен (измеряется тепловизором); δ – толщина ограждающих конструкций.

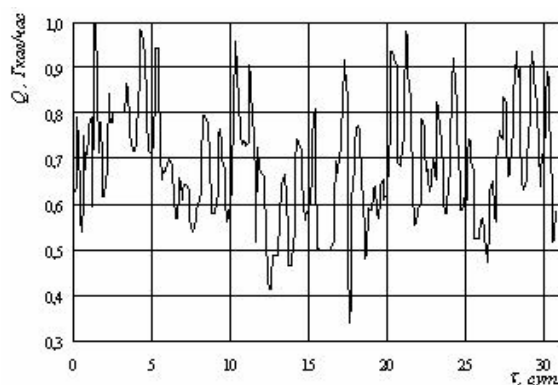


Рис. 3 Потребляемый тепловой поток за март

Исследования потребленного теплового потока (рис. 3) и температуры наружного воздуха за март месяц показали, что средний коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций здания УлГТУ в среднем равен $1,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ и превосходит нормативные значения более чем в 2 раза (рис. 4).

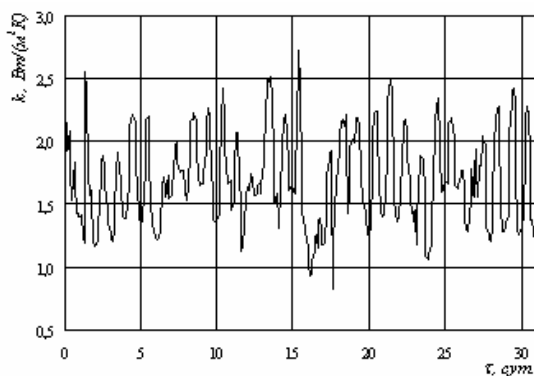


Рис. 4 Коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций

Тепловизионное исследование показало, что коэффициент теплопроводности ограждающих конструкций (особенно стыков стен при толщине 0,44 м) составляет (в некоторых областях термограмм с достаточно высокой температурой) $2,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$. Нормативные значения для бетонных конструкций составляют $1,5 - 1,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

**ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В УЗЛЕ КОНТАКТИРОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ
МОНОМЕТИЛАНИЛИНА**

В условиях современной рыночной экономики производство монометиланилина (ММА), используемого в качестве основного компонента высокоэффективных и конкурентоспособных антидетонационных добавок к моторному топливу, требует разработки новых энерго- и ресурсосберегающих технологий.

Обзор и анализ существующих технологических схем производства ММА позволил выделить ряд недостатков, среди которых немаловажную роль играет значительный расход греющего пара на стадии подготовки исходной анилино-метанольной смеси (АМС), а также большой расход оборотной воды при конденсации парогазовой смеси (ПГС) продуктов синтеза.

Использование вторичного тепла ПГС продуктов синтеза позволит существенно сэкономить теплоноситель (греющий пар) на стадии подогрева и хладагент (оборотная вода) на стадии парциальной конденсации смеси.

Организация процесса производства ММА по усовершенствованной схеме требует проведения теплового поверочного расчета ряда теплообменных аппаратов: подогреватель исходной АМС, предварительный подогреватель АМС (используется при пуске технологической схемы), конденсатор продуктов контактирования.

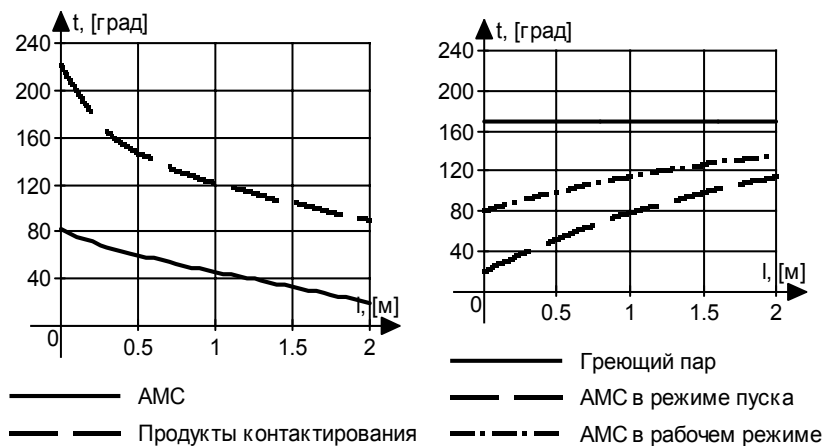
Сложность расчета заключается в том, что в каждом из перечисленных выше теплообменников хотя бы один из потоков представляет собой многокомпонентную смесь, компоненты которой частично совершают фазовое превращение. Для таких расчетов авторами предложена методика, описанная в [1]. На основе этой методики разработаны расчетные программы. В качестве исходных данных для расчета (табл. 1) используются режимные характеристики и геометрические размеры аппаратов, состав многокомпонентных смесей, теплофизические свойства веществ, входящих в рабочие смеси.

Результаты расчета – поля температур потоков по длине теплообменного аппарата (рис. 1) и количества сконденсированных компонентов многокомпонентных смесей (табл. 2).

1 Исходные данные для расчета теплообменных аппаратов

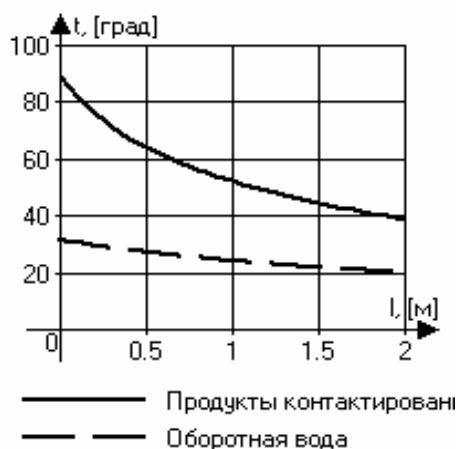
Аппарат		Подогреватель АМС	Предварительный подогреватель АМС	Конденсатор продуктов контактирования
Параметр				
Диаметр кожуха, м		0,6	0,4	0,8
Длина труб, м		2,0	2,0	2,0
Число труб		265	111	749
Внутренний диаметр трубы, м		0,021	0,021	0,016
Толщина стенки трубы, м		0,002	0,002	0,002
Наименование теплоносителя в трубном / межтрубном пространстве		АМС / продукты контактирования	АМС / греющий пар	продукты контактирования / оборотная вода
Массовый расход потока в трубном / межтрубном пространстве, кг/с		0,2056 / 0,2266	0,2056 / –	0,1226 / 3,000
Начальная температура потока в трубном / межтрубном пространстве, °С		20 / 220	20 или 80* / 170	89 / 20
Массовая доля вещества в потоке в трубном / межтрубном пространстве, кг/кг смеси	Анилин	0,636 / 0,023	0,636 / –	0,016 / –
	ММА	0,034 / 0,619	0,034 / –	0,338 / –
	Метанол	0,0326 / 0,174	0,0326 / –	0,314 / –
	Вода	0,003 / 0,132	0,003 / –	0,235 / –

* 20 °С – в момент пуска технологической схемы, 80 °С – при совместной работе подогревателей АМС



а)

б)



в)

Рис. 1 Температуры потоков по длине зоны теплообмена:
 а – подогреватель АМС; б – предварительный подогреватель АМС;
 в – конденсатор

2 Состав жидкой фазы потоков на выходе из аппарата

Наименование аппарата	Состав жидкой фазы	Компоненты смеси				
			Анилин	Метанол	Вода	ММА
Подогреватель АМС	продукты контактирования	W	61,61	2,40	3,56	70,42
		G	3,21	0,95	1,07	98,77
	исходная смесь	W	70,65	4,64	5,34	78,85
		G	92,38	3,11	0,03	5,51
Предварительный подогреватель АМС	исходная смесь*	W	31,64	0,19	0,82	38,63
		G	41,37	0,13	0,005	2,70
	исходная смесь**	W	12,36	0,01	0,18	15,51
		G	16,16	0,007	0,001	1,08
Конденсатор продуктов контактирования	продукты контактирования	W	97,30	48,80	29,10	98,90
		G	1,94	18,80	8,40	41,02

Примечание.

W – доля жидкой фазы от общего количества компонента, %; G – количество жидкой фазы компонента, г/с; * при работе технологической схемы в режиме пуска; ** при совместной работе подогревателей АМС.

По результатам выполненных расчетов осуществлена реорганизация технологической линии производства ММА в ОАО «Пигмент» (г. Тамбов). Общая экономия тепла и экономический эффект соответственно составили 743 ГДж/мес и 943 тыс. руб./год.

Список литературы

1 Филатова, Е.Ю. Расчет теплообменника для парциальной конденсации многокомпонентной паровой смеси / Е.Ю. Филатова, Е.Н. Туголуков, О.В. Ведищева // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. – Тамбов, 2006. – Т. 11. – Вып.3. – С. 310–313.

С.П. Хрущев, А.С. Клинков, М.В. Соколов

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВУХШНЕКОВЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ ПРИ МИНИМАЛЬНЫХ ЭНЕРГОЗАТРАТАХ

При конструировании рабочих органов смесителей типа СН возможно минимизировать потребляемую энергию на процесс смешения с помощью расчета технологических параметров процесса и геометрических параметров смесительных элементов [1].

Конкретная постановка задачи оптимизации процесса и оборудования смешения высоковязких композиций заключается в нахождении значений конструктивных и технологических параметров, при которых критерий оптимизации (полезная мощность N) стремится к минимуму

$$[F = N(\varphi, h, \omega, e, e_k)] \rightarrow \min \quad (1)$$

при выполнении условий в виде ограничений (2) – (4):

- прочность материала (жесткость, устойчивость) шнека

$$R(\varphi, h, \omega, e, e_k) \leq [\sigma]; \quad (2)$$

- производительность двухшнекового смесителя

$$Q_{\text{зад}} = Q(\varphi, h, \omega, e, e_k); \quad (3)$$

- диапазон изменения параметров управления

$$\varphi_l \leq \varphi \leq \varphi'; Dk_{hl} \leq k_h D \leq Dk_h'; \omega_l \leq \omega \leq \omega';$$

$$Dk_{el} \leq k_e D \leq Dk_e'; Dk_{ekl} \leq k_{ek} D \leq Dk_{ek}'; \quad (4)$$

где варьируемые величины – угол наклона винтовой линии шнека φ ; глубина винтового канала h ; угловая скорость ω ; ширина гребня шнека e ; ширина смесительных дисков (эксцентрикных насадок) e_k ; $\varphi_l, Dk_{hl}, \omega_l, Dk_{el}, Dk_{ekl}$ и $\varphi', Dk_h', \omega', Dk_e', Dk_{ek}'$ – соответственно, левая и правая границы изменения конструктивных (φ, h, e, e_k) и технологического (ω) параметров; $k_{hl}, k_{el}, k_{ekl}, k_h', k_e', k_{ek}'$ – соответственно, коэффициенты учитывающие левую, правую границы изменения и начальные значения конструктивных параметров (h, e, e_k); $Q_{\text{зад}}$ – заданное значение производительности двухшнековой машины; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение материала шнека (допускаемый прогиб).

Для решения уравнений (1) – (4) применялся метод скользящего допуска, реализованный программой на языке Basic [1] и получены расчетные зависимости (рис. 1).

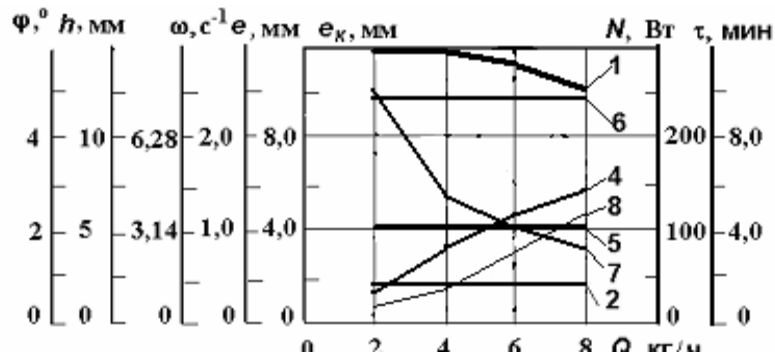


Рис. 1 Зависимость оптимальных конструктивных (1 – φ , 2 – h , 5 – e , 6 – e_k) и технологических (4 – ω , 8 – N , 7 – τ) параметров от производительности Q при $D = 0,04$ м

Расчеты проведены на примере смешения клеевой композиции (80 %-ная смесь натурального каучука «смокед-шитс» и растворителя «нефрас») со следующими физико-механическими и реологическими свойствами: $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$; $m_0 = 27,5 \text{ кПа} \cdot \text{с}^{n_r}$; $n_r = 0,49$ – плотность, мера консистенции и индекс течения клеевой композиции, соответственно; $T_{\text{вх}} = T_{\text{вых}} = T_{\text{пер}} = 293 \text{ К}$ – температура входа и выхода клеевой композиции; $\Delta P = 5 \text{ МПа}$ – перепад давления по длине рабочих органов (шнеков).

При усовершенствовании существующего оборудования принимались следующие исходные и начальные данные: $D = 0,04$ м; $\varphi = (4 \dots 6)^\circ$; $k_{h'} = 0,12$; $k_h' = 0,18$; $\omega = (1,05 \dots 10,5) \text{ с}^{-1}$; $k_{e'} = 0,02$; $k_e' = 0,1$; $k_{ek'} = 0,02$; $k_{ek}' = 0,1$; $\Delta P = 5 \text{ МПа}$; $\delta = 0,01D$ м; $\varphi_0 = 4^\circ$; $h_0 = 0,12D$ м; $\omega_0 = 1,05 \text{ с}^{-1}$; $e_0 = 0,02D$ м; $e_{k0} = 0,02D$; $z = 10$ – число витков винтовой нарезки; $n_k = 45$ – число пар смесительных дисков (кулачков); τ – время смешения.

Полученные зависимости конструктивных (φ , h , e , e_k) и технологических (ω , N) параметров позволяют проектировать смеситель при различной его производительности Q с учетом минимальных энергозатрат.

Список литературы

1 Автоматизированное проектирование и расчет шнековых машин : монография / М.В. Соколов, А.С. Клинков, О.В. Ефремов, П.С. Беляев, В.Г. Однолько. – М. : Издательство Машиностроение-1, 2004. –248 с.

Б.А. Арутюнов, А.В. Ситник

Московская государственная академия тонкой химической технологии
им. М.В. Ломоносова

МЕТОД РАСЧЕТА ТЕПЛОТЫ ПАРООБРАЗОВАНИЯ СМЕСИ

Для расчета теплоты парообразования бинарной смеси была разработана термодинамическая схема. Примем давление в системе постоянным и изобразим эту схему в I-T координатах (рис. 1).

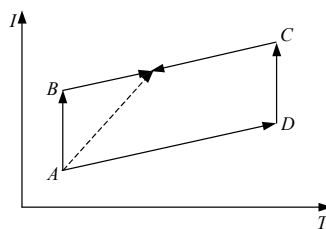


Рис. 1 Схема расчета теплоты парообразования бинарной смеси:

A – точка кипения низкокипящего компонента ($T_{\text{к нкк}}$); B – точка сухого насыщенного пара низкокипящего компонента; C – точка сухого насыщенного пара высококипящего компонента; D – точка кипения высококипящего компонента ($T_{\text{к вкк}}$); E – точка кипения смеси ($T_{\text{к см}}$)

Исходным состоянием в этой модели является точка кипения низкокипящего компонента (точка A на рис. 1). Для достижения температуры кипения смеси (точка E на рис. 1) нужно перевести низкокипящий компонент в сухой насыщенный пар (участок AB на рис. 1) и перегреть этот пар до температуры кипения смеси (участок BE на рис. 1), а высококипящий компонент нагреть до его температуры кипения (участок AD на рис. 1), перевести в сухой насыщенный пар (участок DC на рис. 1) и довести до температуры кипения смеси (участок CE на рис. 1).

Для совершения процесса AB к системе нужно подвести теплоту парообразования, которая определяется по формуле:

$$\Delta h_1 = x r_{\text{нкк}}, \quad (1)$$

где $r_{\text{нкк}}$ – теплота парообразования низкокипящего компонента при $T_{\text{к нкк}}$.

Для процесса BE подводят теплоту

где Y_{scale} – критическая составляющая модели; Y_{reg} – регулярная составляющая, $\tau = (T_c - T)/T_c$; C – регулируемые коэффициенты; α, β – критические показатели.

Форма Y_{scale} была подобрана в соответствии с положениями масштабной теории (МТ). Дополнительно было выбрано следующее граничное условие: Y_{scale} должна описывать опытные данные в интервале $0 < \tau < \tau_{scale} = 0,1$ с точностью эксперимента, при этом регулируемые параметры модели (1) вычисляются на основе обобщения опытных данных во всем экспериментально исследованном интервале температур, $10^{-4} < \tau < 0,5$. Роль регулярной части Y_{reg} состояла в том, чтобы компенсировать систематические отклонения критической части Y_{scale} от эксперимента, которые являются характерными для этих расчетных значений вдали от критического диапазона при $\tau \geq 0,1$. Для параметра порядка и среднего диаметра, $Y = (f_s, f_d)$, были рассмотрены зависимости [5, 6], которые имеют вид

$$f_s = B_{s0}\tau^\beta + B_{s1}\tau^{\beta+\Delta} + B_{s2}\tau^{\beta+2\Delta} + B_{s3}\tau^2 + B_{s4}\tau^3, \quad (2)$$

$$f_d = B_{d0}\tau^{1-\alpha} + B_{d1}\tau^{1-\alpha+\Delta} + B_{d2}\tau^{1-\alpha+2\Delta} + B_{d3}\tau^2 + B_{d4}\tau^3, \quad (3)$$

где $f_s = (\rho_l - \rho_g)/(2\rho_c)$, $f_d = (\rho_l + \rho_g)/(2\rho_c) - 1$, $C = ((B_{si}), (B_{di}))$ – амплитуды, $D = (\rho_c, T_c, \alpha, \dots)$ – критические характеристики.

Критическая часть Y_{scale} представлена в (2, 3) в виде суммы первых трех слагаемых.

Комбинированные уравнения (2, 3) являются взаимосвязанными с аналогичными моделями для плотности, $Y = (\rho_l, \rho_g)$, в форме

$$\rho_l = (f_s + f_d + 1) \rho_c, \quad \rho_g = (f_s - f_d + 1) \rho_c. \quad (4)$$

В рамках исследования была разработана методика определения регулируемых параметров C и характеристик $D = (\rho_c, T_c, \alpha, \beta, B_{s0}, B_{d0})$ для моделей (2, 3, 4). Методика использует опытные ρ_l, ρ_g, T -данные, ряд критериев и пошаговую оптимизацию параметров модели, C, D . Был выбран критерий S_c в виде комбинации невязок S_1 (среднее квадратическое отклонение (СКО) экспериментальных данных ρ_l, ρ_g от Y_{scale} в интервале $0 < \tau < \tau_{scale}$) и S_2 (СКО экспериментальных данных от комбинированной модели Y в интервале $10^{-4} < \tau < 0,5$) в форме

$$S_c(D, C) = ((S_1^2 + S_2^2)/2)^{0,5}, \quad S_c(D_{opt}, C_{opt}) - S_c^{min} < \varepsilon, \quad (5)$$

где ε – допуск; S_c^{min} – нижняя граница критерия.

Методика использует: а) начальное приближение для критических характеристик D_0 , среди них соответствующие МТ значения $\alpha = 0,11$, $\beta = 0,325$, $\Delta = 0,5$, B_{s0}, B_{d0} , которые выбираются как литературные величины; б) итерационные шаги со смещением D , которые направлены на уменьшение невязок S_c . На каждом i -м шаге испытаний проверяется условие $S_c(D_i, C_i) - S_c^{min} < \varepsilon$. В итоге удается построить реализацию модели с характеристиками D_{opt}, C_{opt} , которые удовлетворяют условию: $S_c(D_{opt}, C_{opt}) - S_c^{min} < \varepsilon$.

Для давления P_s комбинированная модель выбрана нами в форме [5, 6], которая имеет вид

$$\ln(P_s / P_c) = B_{p0}\tau^{2-\alpha} + B_{p1}\tau^{2-\alpha+\Delta} + B_{p2}\tau^{2-\alpha+2\Delta} + B_{p3}\tau + B_{p4}\tau^5 + B_{p5}\tau^7 + B_{p6}\tau^9. \quad (6)$$

Критическая часть Y_{scale} для уравнения (6) представлена в виде суммы первых четырех слагаемых.

Для поиска регулируемых параметров $C = (B_{pi})$ и характеристик $D = (P_c, B_{p0})$ для модели (6) была разработана методика, которая является аналогичной методике, рассмотренной выше. Критические характеристики $D = (T_c, \alpha)$ выбраны такими же, как оптимальные значения, которые получены в моделях для описания плотности.

Комбинированные модели для описания свойств $Y = (\rho_l, \rho_g, f_s, f_d, P_s)$ были построены для ряда веществ: R134a, R143a, R236ea, вода, метанол и этанол. В качестве исходных данных выбраны надежные экспериментальные результаты для указанных свойств, в том числе новые данные Абдулагатова И.М. и сотрудников [7, 8] для метанола и этанола. Для построения моделей для свойств воды были приняты в качестве исходных международные стандартные данные [9]. Характеристики комбинированных моделей для описания плотности метанола представлены в табл. 1, а для воды – в табл. 2. В табл. 3 указаны характеристики комбинированного уравнения для описания давления насыщения воды.

Таблица 1

ρ_c , кг/м ³	T_c , К	α	β	Δ
275,07	512,777	0,138	0,3447	0,5
B_{s0}	B_{s1}	B_{s2}	B_{s3}	B_{s4}
2,272	-0,020456	-0,913819	-0,301729	1,272745
B_{d0}	B_{d1}	B_{d2}	B_{d3}	B_{d4}
0,495	2,125607	-2,482455	-0,371182	1,414382

Таблица 2

ρ_c , кг/м ³	T_c , К	α	β	Δ
321,915	647,18	0,1324	0,34594	0,5
B_{s0}	B_{s1}	B_{s2}	B_{s3}	B_{s4}
2,2234	0,337643	-1,560442	1,207544	-0,661614

B_{d0}	B_{d1}	B_{d2}	B_{d3}	B_{d4}
1,2095	0,020558	-1,243369	1,145864	-0,571786

Таблица 3

P_c , МПа	T_c , К	α	Δ	B_{p0}	
22,085	647,18	0,1324	0,5	1,21	
B_{p1}	B_{p2}	B_{p3}	B_{p4}	B_{p5}	B_{p6}
-7,71883072	-13,36575844	-1,65362355	-34,00483967	8,53648787	-64,89212821

Выполнено сравнение полученных моделей с известными уравнениями, которые описывают указанные свойства. Выявлено удовлетворительное согласование наших расчетных данных о свойствах воды и табличных значений [9].

Работа поддержана в рамках гранта РФФИ.

Список литературы

- 1 Анисимов, М.А. Термодинамика критического состояния индивидуальных веществ / М.А. Анисимов. – М. : Энергоиздат, 1990.
- 2 Wegner, C. Int. J. Thermophys. – 1985. – 11. – P. 421 – 429.
- 3 Рабинович В.А., Шелудяк Ю.Е. Теплофизика высоких температур. – 1995. – Т. 33, № 4. – С. 546 – 552.
- 4 Shimanskaya E.T., Shimansky Yu.I. and Oleinikova A.V. Int. J. Thermophys. – 1996. – 17. – P. 641 – 649.
- 5 A comparison of scaling models of thermodynamic properties along the coexistence curve including the critical point / E.E. Ustjuzhanin, I.M. Abdulagatov, P.V. Popov, V.A. Rykov, J. Jata // In Thesis's of Sixteenth Symposium on Thermophysical Properties. – Boulder, Colorado, USA, 2003. – July 29–August 5.
- 6 Устюжанин, Е.Е. Таблицы стандартных справочных данных. Хладон R-236ea. Термодинамические свойства на линиях кипения и конденсации в диапазоне температур 220.00 ... 412.45 К. ГСССД 210-05 / Е.Е. Устюжанин, В.А. Рыков, П.В. Попов. – Деп. в ФГУП «Стандартинформ» 10.06.2005 г. – № 811-05 кк.
- 7 PVT Measurement for Pure Ethanol in the Near-Critical and Supercritical Regions / A.R. Bazaev, I.M. Abdulagatov, E.A. Bazaev, A. Abdurashidova // Int. J. Thermophys. – 2006. – 27. – P. 87–93.
- 8 PVT Measures for pure Methanol in the Near-Critical and Supercritical Regions / A.R. Bazaev, I.M. Abdulagatov, J.W. Magee, E.A. Bazaev, A.E. Ramazanova // Int. J. Thermophys. – 2006.
- 9 Александров, А.А. Система уравнений IAPWS – IF 97 для вычисления термодинамических свойств воды и водяного пара в промышленных расчетах. 2. Дополнительные уравнения / А.А. Александров // Теплоэнергетика. – 1998. – № 10. – С. 64 – 72.

Секция 6

**ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ТЕПЛОФИЗИКЕ,
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ И
УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ**

**МОДЕЛИ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО АНАЛИТИЧЕСКОМУ КОНТРОЛЮ**

Нелинейные вольтамперные характеристики (ВАХ) отражают кинетику термодинамического равновесия большинства физических процессов, например, диффузионного тока и компенсирующего его потенциала, концентрацию носителей заряда и их работы выхода, градиента температур и термоэдс. Электрические параметры ВАХ позволяют оценить амплитуду напряжения и уровень давления, концентрацию влажности и температуру нагрева. Экспериментальную статическую характеристику аппроксимируют математическими моделями методов статистического анализа [1, 2], динамического равновесия [3 – 5] и синтеза электрических цепей [4 – 6].

Экспериментально нелинейная ВАХ представлена множеством точек, которые необходимо аппроксимировать непрерывной функцией (например, методами Гаусса [2], Лагранжа [1]), зависящей от аргумента и от неопределенных коэффициентов. Коэффициенты выбираются таким образом, чтобы отклонение функции было наименьшим, относительно известных точек в заданном диапазоне. При этом экспериментальная ВАХ аппроксимируется статистической моделью с произвольными коэффициентами, не отражающими физику процесса.

Метод термодинамического равновесия [3] основан на решении уравнения непрерывности при статистическом распределении зарядов в p - n -переходе. Результатом решения является идеальная математическая модель ВАХ p - n -перехода, основным недостатком которой является сложный алгоритм решения.

Классические методы электротехники являются прямыми методами аналогии [4, 5]. Интегрируя дифференциальное уравнение первого порядка, они синтезируют квазилинейную функцию в явном виде с информативными параметрами. Основное достоинство – простота алгоритма решения. При этом нелинейную ВАХ аппроксимируют усеченной идеальной моделью, полученной методом термодинамического равновесия.

Целью работы является нахождение математической модели ВАХ диода с более простым алгоритмом решения.

Для достижения указанной цели в работе поставлены следующие задачи:

1. Предложить электротехнический метод проектирования модели ВАХ диода, аналогичный квазилинейной функции.
2. Провести анализ технологичности методов синтеза математических моделей нелинейных ВАХ.

Рассмотрим синтез нелинейной ВАХ p - n -перехода, методом термодинамического равновесия [3]. Известно, что в зависимости от условий прохождения носителями заряда обедненного слоя процесс выпрямления рассматривают в приближении теорий тонкого или толстого перехода.

Рассмотрим ВАХ перехода в приближении теории тонкого перехода при следующих допущениях:

- а) рекомбинацией и генерацией носителей заряда в переходе можно пренебречь, так как $d \ll L$;
- б) внешнее напряжение полностью сосредоточено на переходе, поэтому падением напряжения на n и p -областях можно пренебречь, движение носителей заряда одномерное.

Ток электронов из n -области в p -область определяется диффузией их от правой границы перехода в глубь p -области и описывается дифференциальным уравнением первого порядка:

$$I_{nD} = eD_n \frac{dn_p(x)}{dx}, \quad (1)$$

где I_{nD} – ток электронов; D_n – коэффициент диффузии; n_p – концентрация ионов.

Рассмотрим собственный полупроводник. При температуре $T = 0$ К все энергетические уровни валентной зоны заполнены электронами, а уровни зоны проводимости – свободны. С повышением температуры некоторое количество электронов покидает валентную зону и переходит в зону проводимости. Распределение электронов и дырок по энергиям в твердом теле описывается статистикой Ферми – Дирака. Согласно этой статистике вероятность того, что состояние с некоторой энергией ξ при температуре T будет занято электроном, определяется функцией Ферми – Дирака:

$$f_n(\xi, T) = 1 / \left[1 + \exp\left(\frac{\xi - \xi_F}{kT}\right) \right], \quad (2)$$

где ξ – энергия, отсчитанная от произвольно выбранного уровня (обычно от уровня ξ_a); ξ_F – энергия Ферми, отсчитанная относительно того же уровня; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана.

Аналогично для дырок справедливо соотношение:

$$f_p(\xi, T) = 1 / \left[1 + \exp\left(\frac{\xi_F - \xi}{kT}\right) \right]. \quad (3)$$

Для получения решения уравнения в явном виде заменяют статистическое распределение Ферми – Дирака классической функцией распределения Максвелла – Больцмана:

$$f_n(\xi, T) = \exp[-(\xi - \xi_F)/kT], \quad (4)$$

$$f_p(\xi, T) = \exp[-(\xi_F - \xi)/kT]. \quad (5)$$

В полупроводнике, для носителей заряда, при условии $\xi - \xi_F = eU$ распределение примет вид:

$$n_p(0) = n_{p0} \exp(eU/kT), \quad (6)$$

$$p_n(0) = p_{n0} \exp(eU/kT). \quad (7)$$

Физически это означает, что средняя плотность заполнения энергетических состояний электронами и дырками f значительно меньше 1. Но при воздействии света, электрического поля и других факторов могут появиться неравновесные носители заряда.

Поведение неравновесных носителей заряда в полупроводниках описывается уравнением непрерывности:

$$\begin{cases} \frac{\partial n}{\partial t} = D_n \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} + E_x \mu_n \frac{\partial n}{\partial x} + g - \frac{n - n_0}{\tau_n}; \\ \frac{\partial p}{\partial t} = D_p \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + E_x \mu_p \frac{\partial p}{\partial x} + g - \frac{p - p_0}{\tau_p}. \end{cases} \quad (8)$$

Для стационарного случая, когда $dn/dt = 0$ и $dp/dt = 0$, при условии, что электрическим полем и генерацией носителей заряда можно пренебречь, решение системы (8) принимает вид:

$$\begin{cases} \Delta n = \Delta n_0 \exp(-x/L_n); \\ \Delta p = \Delta p_0 \exp(-x/L_p). \end{cases} \quad (9)$$

Подставим выражение (6) в первое уравнение системы (9), получим:

$$n_p(x) = n_{p0} + n_{p0} [\exp(eU/kT) - 1] \exp(-x/L_n).$$

Продифференцируем его по x и, подставляя $dn_p(x)/dx$ в (1), находим диффузионный ток электронов:

$$I_{nD} = e \frac{D_n}{L_n} n_{p0} [\exp(eU/kT) - 1], \quad (10)$$

где L_n – диффузионная длина электронов; e – заряд электрона.

Аналогично записывается выражение для диффузионного тока дырок:

$$I_{pD} = e \frac{D_p}{L_p} p_{n0} [\exp(eU/kT) - 1]. \quad (11)$$

Просуммировав уравнения (10) и (11), получим полный прямой ток:

$$I_{np} = I_{nD} + I_{pD} = e \left(\frac{D_n n_{p0}}{L_n} + \frac{D_p p_{n0}}{L_p} \right) \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right],$$

где
$$e \left(\frac{D_n n_{p0}}{L_n} + \frac{D_p p_{n0}}{L_p} \right) = I_0.$$

Диффузионный ток I_0 называется тепловым, так как он имеет тепловое происхождение и сильно зависит от температуры. После подстановки I_0 получаем математическую модель полупроводника, с учетом равенства $e/kT = 1/U_0$:

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{U}{U_0}\right) - 1 \right]. \quad (12)$$

Методом термодинамического равновесия получили модель (12) нелинейной ВАХ, которая является идеальной из-за множества допущений. Данный метод нерационален при проектировании электротехнических цепей, в которых для интегральных расчетов доминируют методы аналогии [4, 5].

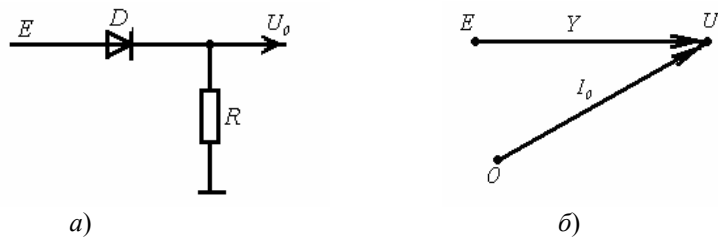


Рис. 1 Схемы делителя напряжения:
а – функциональная; б – на сигнальных графах

Рассмотрим нелинейный участок цепи (рис. 1, а), представленный в виде делителя напряжения из последовательного включения диода D и резистора сопротивлением R . Анализ схемы проведем методом узловых потенциалов по графу (рис. 1, б), используя правила Кирхгофа [5, 6]:

$$U_0 Y = EY + I_0.$$

Учитывая, что $Y = dI/dU$ – проводимость диода D , а $EY = I$ – ток через него, при $I(E=0) = I_0$ после подстановок получим дифференциальное уравнение первого порядка:

$$U_0 \frac{dI}{dU} - I = I_0. \quad (13)$$

Искомое решение данного уравнения можно представить в виде суммы токов $I(U) = I_1 + I_2$, частного I_1 и общего I_2 решения однородного уравнения:

$$U_0 \frac{dI_2}{dU} + I_2(U) = 0. \quad (14)$$

Для решения в экспоненциальной форме $I_2(U) = Ae^{pU}$, где A – произвольная постоянная, $p = 1/U_0$ – корень характеристического уравнения $U_0 p - 1 = 0$, находим $I_2(U) = Ae^{U/U_0}$ и $I_2(U) = I_1(U) + Ae^{U/U_0}$. Из последнего определим частное решение $I_1(U)$, если предположить $U = 0$:

$$I(0) = I_1 + Ae^{U/U_0},$$

откуда следует $I_1 = I(0) - A$.

Определим значение амплитуды A :

$$I(U) = I(0) - A + Ae^{U/U_0},$$

при $I(0) = 0$

$$I(U) = A \left(\exp \frac{U}{U_0} - 1 \right). \quad (15)$$

Вычислим производную функции (15)

$$I'(U) = \frac{A}{U_0} e^{U/U_0} \quad (16)$$

и подставим выражения (15) и (16) в уравнение (13), получим:

$$Ae^{U/U_0} - Ae^{U/U_0} + A = I_0.$$

После приведения подобных членов получим тождество

$$A = I_0. \quad (17)$$

Амплитуда A равна диффузионному току I_0 , определяемому соответствующим напряжением U_0 .

Подставляя тождество (17) в уравнение (15), получим вольтамперную характеристику нелинейного делителя:

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{U}{U_0} - 1 \right) \right], \quad (18)$$

которая является реальной математической моделью в явном виде с информативными параметрами I_0 , U_0 , отражающими физику процесса.

Тождественность выражений (12) и (18) доказывает эквивалентность идеальной и реальной модели. Следовательно, выводя функцию методом термодинамического равновесия и стандартным методом электротехники, получили ее в явном виде с минимумом информативных параметров, отражающем физику процессов.

Таким образом, доказано, что идеальная модель ВАХ диода, синтезируемая методом термодинамического равновесия при решении уравнения непрерывности по статистике Максвелла – Больцмана при упрощении распределения Ферми – Дирака, является реальной моделью нелинейного делителя напряжения, синтезируемой методами электротехники при интегрировании дифференциального уравнения первого порядка относительно нелинейной проводимости полупроводника.

Список литературы

- 1 Курганский, С.И. Вычислительные методы для физиков. Ч.1 : Аппроксимация функции, численное дифференцирование / С.И. Курганский, О.И. Дубровский, Л.А. Куркина. – Воронеж : Лаборатория оперативной полиграфии ВГУ, 1998. – 23 с.
- 2 Фарзани, Н.Г. Технологические измерения и приборы / Н.Г. Фарзани, Л.В. Илясов, А.Ю. Азим-заде. – М. : Высш. шк., 1989. – 459 с.
- 3 Коледов, Л.А. Микроэлектроника: Физические основы функционирования изделий микроэлектроники / Л.А. Коледов, О.В. Митрофанов, Б.М. Симонов. – М. : Высш. шк., 1987. – 168 с.
- 4 Гутников, В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах / В.С. Гутников – Л. : Энергоатомиздат, 1988. – 304 с.
- 5 Глинкин, Е.И. Схемотехника АЦП / Е.И. Глинкин. – Тамбов : ТГТУ, 2001. – 160 с.
- 6 Ныркова, Л.А. Методы контроля влажности по ВАХ / Л.А. Ныркова, О.А. Ныркова, Е.И. Глинкин // XI науч. конф. ТГТУ : сб. трудов. – Тамбов : ТГТУ, 2006. – Ч. 1. – С. 95 – 99.

**ПРАКТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ШКАЛЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ПОТЕНЦИАЛА ВЛАГОПЕРЕНОСА
В КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛАХ**

Природа процессов переноса влаги (массы) сложилась несколько иначе, чем природа процессов переноса тепла. Величину потенциала влагопереноса θ_m измерить на практике намного сложнее, чем величину влагосодержания U или влажности W вещества, характеризующих концентрацию влаги в этом веществе. Поэтому на практике вместо измерения потенциала влагопереноса θ_m предпочитают измерять концентрацию влаги в веществе, например, влагосодержание U или влажности W .

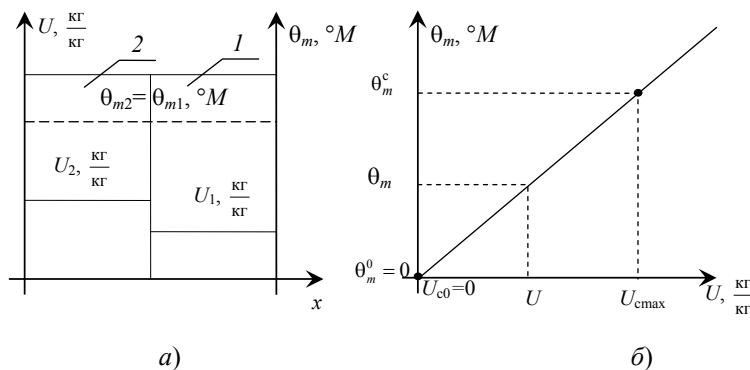


Рис. 1 К вопросу о построении шкалы для экспериментального определения потенциала влагопереноса θ_m по результатам измерения влагосодержания U эталонного вещества:
 а – схема взаимодействия эталонного вещества 1 с контролируемым материалом 2; б – к определению уравнения, связывающего значение измеренного влагосодержания U с вычисляемым значением θ_m потенциала влагопереноса

Рассматриваемый подход основан (см. рис. 1, а) на использовании эталонного вещества 1, приводимого в контакт (соприкосновение) с контролируемым материалом 2. Понятно, что после наступления термодинамического равновесия (по истечению большого промежутка времени после приведения эталонного вещества 1 в контакт с контролируемым материалом 2) потенциалы влагопереноса θ_{m1} и θ_{m2} эталонного вещества 1 и контролируемого материала 2 станут равны друг другу $\theta_{m2} = \theta_{m1} = \theta_m$.

В этом случае, если нам известен потенциал влагопереноса $\theta_{m1} = \theta_m$ эталонного вещества 1, можно считать известным и потенциал влагопереноса $\theta_{m2} = \theta_{m1} = \theta_m$ контролируемого материала 2.

На практике чаще всего осуществляют измерение значения влагосодержания $U = \frac{m}{M_0}, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$, представляющего собой отношение массы влаги m к массе абсолютно сухого вещества M_0 . Если экспериментально измерено значение влагосодержания U , то на основании

$$\theta_m = \theta_m(c_m, U) = \frac{1}{c_m} U = k_m U, \quad (1)$$

по известному влагосодержанию U можно вычислить искомое значение потенциала влагопереноса θ_m , где $k_m = \frac{1}{c_m}$ – коэффициент пропорциональности, представляющий собой величину, обратную удельной изотермической влагоемкости c_m .

К вопросу о выборе эталонного вещества при построении шкалы потенциала переноса

Обычно в качестве эталонного вещества берется фильтровальная бумага, анализ изотерм сорбции которой показывает [1], что ее относительное равновесное влагосодержание

$$U_{\text{отн}} = \frac{U_p}{U_{c \max}} = F(\varphi)$$

при температурах до 80 °С почти не зависит от температуры T и при этом является практически однозначной функцией от-

носительной влажности φ воздуха, где U_p – фактическое равновесное влагосодержание фильтровальной бумаги; $U_{\text{сmax}}$ – максимально возможное сорбционное влагосодержание фильтровальной бумаги при $\varphi = 100\%$; $U_{\text{отн}}$ – относительное равновесное влагосодержание; F – функция. На основании изложенного выше, в [1, 2] был сделан вывод, что потенциал $\theta_{m \text{ эксп}}$ фильтровальной бумаги в гигроскопической области зависит только от φ . Зависимость

$$\theta_{m \text{ эксп}} = f(\varphi),$$

полученная из изотерм сорбции фильтровальной бумаги [1, 2], представлена на рис. 2. На этом рисунке, заимствованном из [2], потенциал влагопереноса $\theta_{m \text{ эксп}}$ выражен в условных массообменных градусах $[\text{°M}]$.

Выбор фильтровальной бумаги в качестве эталонного вещества (аналога термометрической жидкости) обусловлен также тем, что целлюлоза весьма гигроскопична и содержит влагу всех видов связи:

- адсорбционно связанную влагу;
- капиллярно связанную влагу;
- осмотически удержанную влагу.

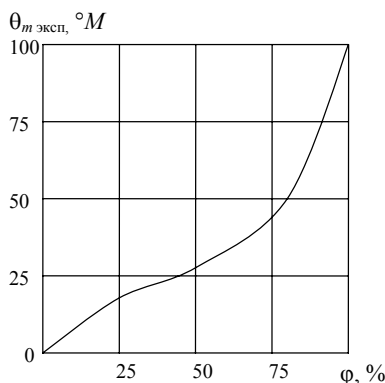


Рис. 2 Зависимость экспериментального потенциала массопереноса $\theta_{m \text{ эксп}}$ от относительной влажности φ окружающего воздуха для фильтровальной бумаги при $273 < T < 373 \text{ K}$ по данным [2]

Отметим, что максимальное сорбционное влагосодержание фильтровальной бумаги при $T = 298 \text{ K}$ равно $U_{\text{сmax}} = 0,277 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$.

Процедура построения экспериментальной шкалы потенциала влагопереноса

Академик А.В. Лыков предложил следующий порядок опытного определения потенциала влагопереноса [1, 2]. Полый цилиндр заполняют наполовину листами фильтровальной бумаги известного влагосодержания. Вторую половину полого цилиндра заполняют испытуемым материалом. После этого цилиндр герметически закрывают, взвешивают (для определения плотности контролируемого материала) и помещают в термостат. По истечении большого промежутка времени, достаточного для достижения термодинамического равновесия, обычным способом измеряют влагосодержание U фильтровальной бумаги. При этом значение потенциала влагопереноса θ_m можно вычислить по формуле

$$\theta_m = \frac{1}{c_m} U,$$

если известно значение c_m удельной изотермической влагоемкости фильтровальной бумаги.

По аналогии с тем, как для эталонной калориметрической жидкости (воды) удельная теплоемкость c в XIX веке была принята равной

$$c = 1 \frac{\text{кал}}{\text{г} \cdot \text{°C}} = 1 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{°C}},$$

академик А.В. Лыков в книге [1] рекомендовал принять удельную изотермическую влагоемкость c_m эталонного вещества (фильтровальной бумаги) равной

$$c_m = \frac{1}{100} U_{\text{сmax}}, \frac{\text{кг}}{\text{кг} \cdot \text{°M}},$$

т.е. равной одной сотой от максимально возможного сорбционного влагосодержания $U_{\text{сmax}}$ фильтровальной бумаги, достигаемой при относительной влажности окружающего воздуха $\varphi = 100\%$.

Обсудим подробнее процедуру построения шкалы для определения потенциала влагопереноса θ_m по результатам измерения влагосодержания U эталонного вещества (фильтровальной бумаги), обозначенного позицией 1 на рис. 1, а. В рамках выполнения такой процедуры необходимо сделать следующее:

1. Фильтровальную бумагу 1 следует в течение достаточного большого промежутка времени выдержать в атмосфере с относительной влажностью воздуха $\varphi = 100\%$. После наступления термодинамического равновесия надо измерить, например,

методом высушивания, влагосодержание $U_{\text{сmax}}$ фильтровальной бумаги, представляющее собой максимально возможное сорбционное влагосодержание фильтровальной бумаги, достигаемое при $\varphi = 100\%$.

Полученному значению $U_{\text{сmax}}$, которое по приведенным выше данным [1, 2] равно $U_{\text{сmax}} = 0,277 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$, следует поставить в соответствие значение потенциала влагопереноса $\theta_m^c = 100 \text{ }^\circ\text{M}$, равное ста влагообменным (массообменным) градусам.

Полученную точку с координатами $(U_{\text{сmax}}, \theta_m^c)$ следует обозначить (см. рис. 1, б) на плоскости с координатными осями U и θ_m . С учетом изложенного выше эта точка имеет координаты:

$$U_{\text{сmax}} = 0,277 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}, \quad \theta_m^c = 100 \text{ }^\circ\text{M}.$$

2. Для получения второй точки, которую необходимо обозначить на рис. 1, б, следовало бы провести второй опыт, в результате которого получить точку с координатами $(U_{\text{с0}}, \theta_m^0)$. Однако из физических соображений очевидно, что в качестве координат такой точки можно принять состояние абсолютно сухой фильтровальной бумаги, когда $U_{\text{с0}} = 0 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ и $\theta_m^0 = 0 \text{ }^\circ\text{M}$. Это означает, что влагосодержанию $U_{\text{с0}} = 0 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ поставлено в соответствие значение потенциала влагосодержания $\theta_m^0 = 0 \text{ }^\circ\text{M}$, равное нулю влагообменных градусов.

3. Две получившиеся точки с координатами $(U_{\text{с0}}, \theta_m^0)$ и $(U_{\text{сmax}}, \theta_m^c)$ следует изобразить на плоскости с координатными осями U и θ_m так, как это представлено на рис. 1, б. В соответствие с теоретическими результатами аналитической геометрии, уравнение прямой линий, проходящей через эти две точки на плоскости с координатными осями U и θ_m , имеет вид

$$\theta_m - \theta_m^0 = \frac{\theta_m^c - \theta_m^0}{U_{\text{сmax}} - U_{\text{с0}}} \cdot (U - U_{\text{с0}}). \quad (2)$$

Приняв во внимание, что $U_{\text{с0}} = 0 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$, $\theta_m^0 = 0 \text{ }^\circ\text{M}$, $U_{\text{сmax}} = 0,277 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$, $\theta_m^c = 100 \text{ }^\circ\text{M}$, из формулы (2) следует соотношение

$$\theta_m = \frac{100}{0,277} U \quad \text{или} \quad \theta_m = 361 U. \quad (3)$$

Из соотношения (3) следует, что при влагосодержании фильтровальной бумаги $U = 1 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ ее потенциал влагопереноса $\theta_m = 361 \text{ }^\circ\text{M}$. Аналогично влагосодержанию $U = 0,277 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ соответствует потенциал массопереноса (влагопереноса) $\theta_m = 100 \text{ }^\circ\text{M}$ и т.д.

Примечания:

1. Формулы (2) и (3) позволяют вычислять значения потенциала влагопереноса θ_m не только в диапазоне $0 < \theta_m < 100 \text{ }^\circ\text{M}$, но и за пределами этого диапазона при $\theta_m > 100 \text{ }^\circ\text{M}$.

2. Рассмотренная процедура на сегодня является единственной применяемой на практике процедурой построения шкалы для измерения потенциала влагопереноса θ_m .

Если бы у нас была возможность легко и просто измерять значения потенциала влагопереноса θ_m , то теория процессов переноса влаги (при увлажнении и сушке) полностью и во всех деталях повторяла бы теорию теплопроводности, использующую температуру T в качестве потенциала теплопереноса. Однако природа процессов переноса влаги сложилась таким образом, что мы лишены возможности легко и просто определять величину потенциала влагопереноса θ_m , но при этом имеем возможность значительно легче измерять влагосодержание U влажных материалов. Поэтому в настоящее время математическая теория процессов переноса влаги сформулирована с использованием либо влагосодержания U , либо влажности W веществ и материалов.

Список литературы

- 1 Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М. : Энергия, 1968. – 472 с.
- 2 Гинзбург, А.С. Массообменные характеристики пищевых продуктов / А.С. Гинзбург, И.М. Савина. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 280 с.

УЧАСТИЕ СТУДЕНТОВ В ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТАХ – ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА*

При приеме врач-педиатр обязан заполнять большое количество различной документации, проводить измерения антропометрических данных (рост, вес, силу кисти и др.), вести поиск по различным таблицам и справочникам, позволяющим определять уровень развития ребенка, давать рекомендации по кормлению и др. До настоящего времени этот процесс не автоматизирован, проводится вручную.

Для того, чтобы сократить время на выполнение рутинных операций, которые обязан выполнять врач, и уделять больше времени общению с ребенком и родителями разработан АРМ врача-педиатра «Здоровый ребенок».

Задачи, решаемые комплексом: автоматизация измерений антропометрических данных, сокращение времени на подготовку документации, оценка и прогнозирование дальнейшего развития ребенка, быстрый и гибкий поиск информации в электронной базе данных, возможность передачи цифровой информации между врачами, автоматизация отчетов, доступ к мировым ресурсам медицинской информации (Интернет, телемедицина).

Комплекс включает в себя аппаратную и программную части. Аппаратная часть представлена персональным компьютером, электронными измерительными приборами (ростомер, весы, силомер), устройствами ввода-вывода медицинских документов (сканер, принтер), устройствами ввода-вывода аудио- и видеoinформации (микрофон, аудио-колонки, веб-камера), широкополосным подключением к Интернету.

Программное обеспечение комплекса работает под управлением операционной системы Windows XP. Так как в ЛПУ отсутствуют высококвалифицированные программисты, способные обслуживать редко встречающиеся программные продукты, и требуется высокая скорость разработки программного обеспечения комплекса, была выбрана широко распространенная СУБД MS Access из пакета MS Office.

Программное обеспечение включает подсистему подготовки печатной документации, пользовательский интерфейс, базу данных, подсистему расчетов и выдачи рекомендаций, подсистему телемедицинских консультаций, подсистему взаимодействия с оборудованием.

Подсистема подготовки печатной документации предназначена для печати электронных форм, результатов измерений, оценочных данных, а также сводных графиков и таблиц, отражающих состояние ребенка за определенный временной интервал. Данная подсистема также позволяет составить в соответствии с действующими шаблонами и распечатать электронную версию медицинской карты ребенка.

Основой пользовательского интерфейса являются специально разработанные формы. Формы созданы на базе широко распространенных медицинских документов: карточки истории ребенка, и других документов. Вместе с тем был учтен опыт врачебной деятельности, в систему добавлены поля для хранения данных, которые не были предусмотрены в стандартных документах.

Важной частью системы является реляционная база данных, содержащая информацию по всем детям, закрепленным за участковым врачом. Также в базе данных хранятся таблицы для подсистемы расчета и выдачи рекомендаций. Эта подсистема включает факторы, обуславливающие и характеризующие здоровье новорожденных детей, физическое развитие, нервно-психическое развитие (НПР), резистентность, функциональное состояние органов и систем, определение группы здоровья у детей, рекомендации по наблюдению за состоянием здоровья детей, профилактику пограничных состояний, диагностику готовности ребенка при поступлении в детские учреждения.

Для осуществления телемедицинского врачебного консультирования предусмотрена связь с телемедицинскими центрами (ТМЦ) крупных федеральных медицинских центров. Основным каналом связи служит Интернет на основе бесплатной программы Skype. Для обеспечения успешной работы и связи на основе Skype к компьютеру комплекса «Здоровый ребенок» подсоединяются следующие устройства: принтер; сканер; микрофон; колонки; веб-камера.

Подсистема взаимодействия с оборудованием представляет собой программный модуль, реализующий интерфейс с подключаемым оборудованием. Получение данных от устройств комплекса (аппаратной части) и последующая передача в среду СУБД Access происходит в автоматическом режиме, благодаря специально разработанной программе Terminal.

На данный момент большинство медицинских учреждений не компьютеризированы. Возникает проблема не только с закупкой оборудования, но и с программным обеспечением. Разработанный комплекс устраняет все эти проблемы.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора С.В. Фролова

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛОГИЧЕСКОГО
УСТРОЙСТВА ПРИ ИЗУЧЕНИИ АРХИТЕКТУРЫ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Логическое устройство (ЛУ) является центральным элементом, мозгом микропроцессора. Избыточная адресация ассоциативных связей матричной структуры инициирует гибкую архитектуру логического устройства [1, 2] для организации коммуникабельных программируемых систем теплофизического контроля.

Функциональная полнота ЛУ обеспечена параллельным включением многомерных матриц И, НЕ-И, последовательно соединенных с матрицей ИЛИ при реализации адресного пространства в НДФ $F(1)$. Структура ЛУ в единичном логическом пространстве $F(1)$ приведена на рис. 1. Преобразуемый сигнал A поступает на информационные входы матриц конъюнкции И-НЕ, И, код операций которых программируется векторами α^* , α в $n \times m$ -мерном адресном пространстве ПЛМ. На выходе матриц умножения формируется конъюнктивная функция C , преобразуемая матрицей ИЛИ в дизъюнкцию F , управляемую в $m \times l$ -м поле адресов вектором β . Полный код операции ПЛМ программного управления данными $A = \{A_{ij}\}_0^n$ для создания функции $F = \{f_k\}_0^l$ представлен многомерным вектором $N = \{\alpha, \alpha^*, \beta\}$, где $\alpha = \{\alpha_{ij}\}_{0,0}^{n,m}$, $\alpha^* = \{\alpha_{ij}\}_{0,0}^{n,m}$, $\beta = \{\beta_{jk}\}_{0,0}^{m,l}$.

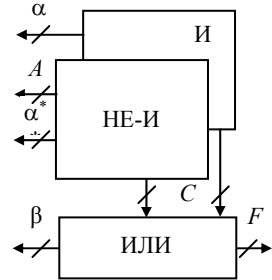


Рис. 1 Структура ЛУ

Для вывода математической модели ЛУ преобразуем структуру ПЛМ к схеме замещения (рис. 2) в виде последовательного соединения мультиплексора НЕ ($MUX \bar{\&}$), конъюнктора И ($\&$) и мультиплексора ИЛИ ($MUX 1$). Это отражает физический смысл коммутаторов прямого A и инверсного \bar{A} входных сигналов ij -х ячеек конъюнктивных матриц; j -х столбцов вентилях, выполняющих логическое умножение; а также коммутаторов конъюнктивных сигналов $C = \{c_j\}_0^m$ суммирующей матрицей

ИЛИ. Декомпозиция структуры ПЛМ сводит сложную задачу в векторной форме к итерационному решению типовых логических переключателей НЕ, И, ИЛИ, систематизированных в таблице [2].

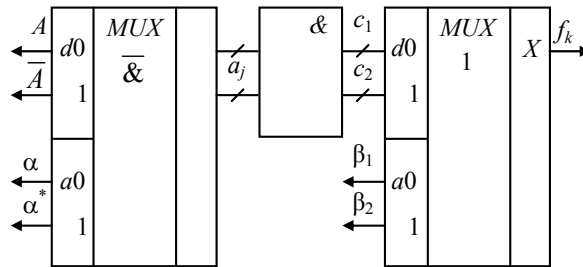


Рис. 2 Схема замещения

Мультиплексор $MUX \bar{\&}$ коммутирует сигналы A и \bar{A} в вектор $a = \{a_{ij}\}$ при задании значений $\{0, 1\}$ адресов α и α^* , комбинации возможных состояний которых систематизированы в векторную таблицу $1F(T)$ мультиплексора. Физика коммутации сигналов требует формирования на выходе a прямого A и инверсного \bar{A} сигналов при адресации $\{\alpha, \alpha^*\}$ соответственно $\{1, 0\}$ и $\{0, 1\}$, обнуления переключателя при активизации адресов логическими единицами $\{1, 1\}$ и высокого потенциала единичного уровня $a_0 = 1$ при отсутствии потенциалов по адресу $\{0, 0\}$. По таблице $F(T)$ синтезируем структурные формулы мультиплексора в единичном $F(1)$ и нулевом $F(0)$ логических пространствах.

По правилам НДФ алгебры Буля единичная функция $F(1) = a$ мультиплексора НЕ состоит из суммы произведения минтермов:

$$a = \bar{\alpha}\bar{\alpha}^* + \alpha\bar{\alpha}^*A + \bar{\alpha}\alpha^*\bar{A}. \quad (1)$$

Используя аксиому дизъюнкции ($A + \bar{A} = 1$), создадим четное число слагаемых для минимизации структурной формулы (1) при объединении подобных членов:

$$a = \bar{\alpha}\bar{\alpha}^*(A + \bar{A}) + \alpha\bar{\alpha}^*A + \bar{\alpha}\alpha^*\bar{A},$$

что соответствует

$$a = \bar{\alpha}\bar{A}(\bar{\alpha}^* + \alpha^*) + \bar{\alpha}^*A(\bar{\alpha} + \alpha).$$

Применив аксиому дизъюнкции, находим формулу $a(1)$ в НДФ:

$$a(1) = \bar{\alpha}^*A + \bar{\alpha}\bar{A}. \quad (2)$$

Для определения функции $a(0)$ в НКФ применим дважды теорему Деоргана:

$$a(0) = \overline{a(1)} = \overline{(\alpha^* + \overline{A})(\alpha + A)}$$

или после перемножения

$$a(0) = \overline{\alpha^* \alpha + \alpha^* A + \alpha \overline{A} + A \overline{A}}.$$

Учитывая аксиому конъюнкции ($\alpha \alpha^* = 0$ и $\overline{A \overline{A}} = 0$) и после повторного преобразования по Деморгану, получим выражение

$$a(0) = (\overline{\alpha^* + \overline{A}})(\overline{\alpha + A}). \quad (3)$$

Структурные формулы (2) и (3) в векторной форме $1F(\Phi)$ выразим в матричной форме для ij -го мультиплексора:

$$\begin{cases} a_{ij}(1) = \overline{\alpha_{ij}^* A_i + \alpha_{ij} \overline{A_i}}; \\ a_{ij}(0) = (\overline{\alpha_{ij} + A_i})(\overline{\alpha_{ij}^* + \overline{A_i}}). \end{cases} \quad (4)$$

Для двух ячеек a_1 и a_2 j -го столбца справедлива таблица $2F(T)$ конъюнкции, для которой истинное $C = 1$, если и a_1 и a_2 истинны $a_1 = a_2 = 1$. По таблице $F(T)$ двух переменных несложно в НДФ записать структурную формулу

$$C = a_1 a_2. \quad (5)$$

По методу индукции, заменяя двухвходовой конъюнктор функции (5) на многовходовой конъюнктор $F(R)$, запишем в матричной форме логическое умножение $F(\Phi)$ i -х мультиплексоров НЕ j -го столбца

$$c_j = \prod_{i=0}^{n-1} a_{ij}. \quad (6)$$

После подстановки в выражение (6) зависимостей (4) находим формулы j -го столбца конъюнктора $F(R)$ в НДФ и НКФ:

$$\begin{cases} c_j(1) = \prod_{i=0}^{n-1} (\overline{\alpha_{ij}^* A_i + \alpha_{ij} \overline{A_i}}); \\ c_j(0) = \prod_{i=0}^{n-1} (\overline{\alpha_{ij} + A_i})(\overline{\alpha_{ij}^* + \overline{A_i}}). \end{cases} \quad (7)$$

Мультиплексор ИЛИ $3F(R)$ для двух переменных c_1 и c_2 k -й строки суммирующей матрицы управляется двумя адресами β_1 и β_2 . Его таблица истинности $F(T)$ обнулена при отключенных адресах $\beta_1 = \beta_2 = 0$, а при их активизации ($\beta_j = 1$) пропускает на выход f сигнал c_j по адресам $\{\beta_1, \beta_2\}$ равным $\{1, 0\}$ и $\{0, 1\}$. Если активизированы $\beta_1 = \beta_2 = 1$, то по адресу $\{1, 1\}$ на выходе f мультиплексора ИЛИ появляется суммарный сигнал $f_3 = c_1 + c_2$. Используя метод структурных формул, синтезируем в НДФ по таблице $F(T)$ функцию мультиплексора $F(R)$ для двух переменных:

$$f = \beta_1 \beta_2 c_1 + \beta_1 \beta_2 c_2 + \beta_1 \beta_2 (c_1 + c_2).$$

Объединяя подобные слагаемые

$$f = \beta_1 c_1 (\overline{\beta_2} + \beta_2) + \beta_2 c_2 (\overline{\beta_1} + \beta_1),$$

с учетом аксиомы дизъюнкции, находим решение для двухвходового коммутатора:

$$f = \beta_1 c_1 + \beta_2 c_2. \quad (8)$$

При замене двух- на многовходовый мультиплексор получим по методу индукции формулу $F(\Phi)$ m -мерного сумматора:

$$f_k = \sum_{j=0}^{m-1} \beta_{jk} c_j. \quad (9)$$

Подставляя в формулу (9) выражения (7), запишем в матричной форме математическую модель схемы замещения ПЛМ (см. рис. 2), адекватную структуре логического устройства:

$$\begin{cases} f_k(1) = \sum_{j=0}^{m-1} \beta_{jk} \prod_{i=0}^{n-1} (\overline{\alpha_{ij}^* A_i + \alpha_{ij} \overline{A_i}}); \\ f_k(0) = \sum_{j=0}^{m-1} \beta_{jk} \prod_{i=0}^{n-1} (\overline{\alpha_{ij} + A_i})(\overline{\alpha_{ij}^* + \overline{A_i}}), \end{cases} \quad (10)$$

где код операции $N = \{\alpha_{ij}, \alpha_{ij}^*, \beta_{jk}\}$ программирования ij -го коммутатора матриц умножения по адресам α_{ij} – прямого сигнала A_i , соответственно α_{ij}^* – инверсного $\overline{A_i}$, а также управления jk -ми ключами матрицы ИЛИ за счет активизации β_{jk} -х адресов

выходной функции $F = \{f_k\}_0^l$. Примеры реализации различных алгоритмов по модели (10) приведены в книге [1].

Анализ математических моделей (10) показывает их универсальность в $n \times m \times l$ -мерном адресном пространстве, что инициирует гибкую архитектуру логического устройства с избыточной адресацией ассоциативных связей матричной структуры.

Список литературы

1 Герасимов, Б.И. Микропроцессорные аналитические приборы / Б.И. Герасимов, Е.И. Глинкин. – М. : Машиностроение, 1989. – 248 с.

2 Глинкин, Е.И. Схемотехника микропроцессорных средств / Е.И. Глинкин, М.Е. Глинкин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 148 с.

В.М. Панорядов

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ПРОЦЕССНЫЙ И СИСТЕМНЫЙ ПОДХОДЫ В ОРГАНИЗАЦИИ ПРАКТИКИ СТУДЕНТОВ

Сложившаяся в течение длительного времени групповая система организации практики студентов в современных условиях перестала соответствовать пожеланиям студентов и требованиям предприятий. Это обусловлено следующими причинами:

- стремлением студентов закрепиться на предприятии в период обучения и, как следствие, желанием студентов специализироваться «под задачу» в ходе обучения;
- сокращением предприятий с большим плановым объемом выпускаемой продукции и содержащих структурные подразделения, предназначенных для выполнения специальных функций.

Практика, являясь обязательным элементом учебного процесса вуза, для кафедр остается делом хлопотным, отличающимся сложностью ее организации. В целях совершенствования организации практики и повышения ее эффективности на кафедре «Автоматизированные системы и приборы» в течение трех лет проводилась внутренняя исследовательская работа.

В качестве объекта исследования выбрана практика студентов очной формы подготовки по специальности «Стандартизация и сертификация». Студенты указанного направления подготовки в течение обучения проходят два вида практик: учебную и производственную. Они разделены на этапы: ознакомительный и учебный, технологический, конструкторско-технологический и преддипломный. Первые четыре этапа практики завершают процесс обучения студента на соответствующем курсе, а преддипломный этап – процесс обучения в университете.

В ходе анализа практик выявлено, что знания и навыки, полученные студентами на практиках первых трех этапов, не всегда находят применение в ходе плановых учебных занятий и, как следствие, теряют свою актуальность для студентов. Только в девятом и десятом семестрах знания и навыки, полученные на практике, реализуются в курсовой работе и при разработке дипломного проекта. Все это приводит к особому отношению студентов к практикам первых трех этапов и не обеспечивает накопления навыков у студентов по направлению подготовки.

С целью совершенствования организации практики были выявлены основные причины, вызывающие подобное состояние, это:

- неверное представление о потребителе результатов практики;
- отношение к практике как к учебному мероприятию, а не как к процессу;
- размытость задач конкретного этапа практики и неосведомленность студентов о возможном использовании результатов практики в ходе последующих периодов обучения;
- нечетко обозначенный системный подход к выполнению процедур организации и прохождения практики студентами.

Традиционно считалось, что потребителем результатов практики является только студент, который решает личные задачи при обучении в университете. Вместе с тем, более глубокое изучение вопроса показало, что потребителей значительно больше, к ним относятся также: предприятия, кафедра и преподаватель.

В ходе консультаций с руководителями 36 ведущих предприятий г. Тамбова выявлена их заинтересованность в подготовке будущих специалистов, но не все имеют возможность предоставления мест для практики большим группам студентов одного направления подготовки. Руководители предприятий отметили, что практики, пройденные студентом на различных предприятиях, не могут обеспечить в должной мере процесс формирования специалиста «под задачу».

Кафедра, являясь организатором практики студентов, также относится к потребителям результатов практики и использует их для решения следующих задач:

1. Укрепление связей с предприятиями (организациями);
2. Развитие с предприятиями (организациями) взаимного обмена опытом организационно-управленческой, научной, изобретательской и рационализаторской работы;
3. Уточнение направлений совершенствования учебного процесса на кафедре. В этом случае потребителем результатов практики становится преподаватель, ведущий занятия по установленным учебным дисциплинам.

В государственном образовательном стандарте на подготовку специалиста практика представлена как учебное мероприятие, проводимое в запланированные вузом сроки.

Более глубокое изучение места практики в системе подготовки специалиста указывает на ее особое место. Каждый вид практики студентов и каждый ее этап предлагается рассматривать как «узловой» процесс подготовки специалиста, который имеет свои цели и задачи.

Учебный, технологический и конструкторско-технологический этапы практики должны организовываться в интересах отдельных дисциплин или групп дисциплин, как правило, общепрофессиональных и специальных в целях закрепления знаний и приобретения и совершенствования практических навыков с учетом направления подготовки студентов «под задачу». Преддипломная практика должна проводиться с целью апробации разработанных в курсовых проектах методик и технологий, а также приобретения студентами опыта для исполнения должностных обязанностей по направлению подготовки. Деление учебной практики на два этапа не представляется целесообразным, так как на втором курсе продолжается изучение общесистемных учебных дисциплин, которые, как правило, мало ориентированы на специализацию студента «под задачу» подготовки.

Проведенная апробация процессного подхода к организации практики на направлении подготовки студентов по специальности «Стандартизация и сертификация» показала свою целесообразность и эффективность. Ее реализации предшествовала работа по замене группового метода проведения практики индивидуальным и внесения изменений в рабочие программы общепрофессиональной учебной дисциплины «Сертификация» и специальной – «Контроль физико-химических свойств веществ».

Особое место в рабочих программах этих дисциплин заняли задания для каждой темы на самостоятельную внеаудиторную работу студентов. Практическая часть задания связана с использованием данных, полученных студентом в ходе практики, что позволило:

- повысить самостоятельность труда студентов и активизировать их деятельность по изучению законодательной и нормативной базы «под задачу» подготовки;
- снизить тиражирование однотипных работ.

С введением индивидуального метода организации практики пересмотрены цели этапов практики. Общие задачи практики согласованы с требованиями дисциплин, подлежащих изучению в последующих семестрах. Конкретизируются задачи этапа практики руководителем от кафедры в индивидуальном задании студенту.

Задачи в рабочей программе практики сформированы с расчетом накопления и совершенствования знаний и навыков на каждом этапе практики. Особое место в рабочей программе заняла задача по сбору данных для применения на практических занятиях изучаемых в последующих семестрах обучения учебных дисциплин и для выполнения курсовых работ. С этой целью студентам накануне убытия на практику выдаются учебно-методические материалы к дисциплинам, в которых результаты практики применяются как исходные.

Подобная постановка задач практики заставила студентов работать планомерно и накапливать практические навыки «под задачу», а также позволяет преподавателю выявить системность работы студента и предложить ему направления совершенствования.

Наиболее сложным элементом практики при реализации индивидуального метода явился процесс ее организации. Для устранения возникших трудностей разработано учебно-методическое пособие, прошедшее апробацию. Основной составной частью учебно-методического пособия является единая процедура организации практики для студентов всех курсов. На эффективность применения единой процедуры указывает уменьшение срывов в организации практики за три года приблизительно в 10 раз.

Процесс организации практики разделен на пять этапов, в ходе которых выполняются в установленные сроки единые мероприятия.

Выявлено, что к организации практики необходимо приступать с информирования студентов о предстоящей практике за 90 дней до ее начала, а приказ на практику должен быть оформлен за 30 дней. Отводимые для организации практики 60 дней не расхолаживают студентов, но их вполне достаточно, чтобы без ущерба для учебного процесса выполнить следующие действия:

- определиться с местом прохождения практики;
- организовать взаимодействие с должностными лицами предприятий и кафедры;
- оформить необходимые документы.

Ход выполнения запланированных мероприятий контролирует назначенный из числа профессорско-преподавательского состава кафедры ответственный исполнитель, он же осуществляет и оперативное управление.

Первичным звеном в подготовке индивидуальной информации является староста учебной группы. Он обрабатывает информацию о базах практики, поступающую от студентов, и формирует обобщенные данные за учебную группу. Некачественно подготовленные старостами данные, как правило, приводит к серьезным ошибкам. Поэтому перед началом практики со старостами учебных групп проводится инструкторско-методическое занятие. Вместе с тем, опыт показал, что проведенные занятия со студентами первого курса в последующем требуют лишь доведения возникающих изменений и консультаций.

Внедренный системный подход в организацию практики позволил:

- готовить студентов «под задачу» на примере конкретного производства;
- повысить ответственность студентов за отработку учебных задач в следующем за практикой семестре обучения;
- накапливать студентам опыт деятельности должностного лица по организации мероприятий;
- стабилизировать процесс организации практики на предприятиях.

Н.Д. Бурова, С.П. Кудрявцев

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

**РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
МАКСОМ ПЛАНКОМ**

Макс Планк родился 23 апреля 1858 г. в Киле, в семье профессора юриспруденции Кильского университета Вильгельма и Эммы Планк. В 1867 году семья переехала в Мюнхен, где молодой Планк учился в классической гимназии, после окончания которой вплотную занялся изучением физики и математики. Во время обучения в университете Планк заинтересовался трудами Р. Клаузиуса. Вспоминая этот период своей жизни, Планк писал: «Так случилось, что в мои руки попали работы Рудольфа Клаузиуса по механической теории тепла, доступный язык и ясность которых произвели на меня сильное впечатление, и я углублялся в них со все большим воодушевлением».

В своей диссертации Планк также обосновал фундаментальное значение понятия энтропии, которая была открыта и названа так Клаузиусом.

В это время, благодаря работам Максвелла и Герца, на передний план выдвинулась и вызвала большой интерес электродинамика. Планк поставил перед собой задачу – применить методы термодинамики к электродинамическим процессам, а тепловое излучение – это как раз то явление, в котором осуществляется непосредственная связь между термодинамическими и электродинамическими процессами: нагретые тела излучают электромагнитные волны. Свою заинтересованность этим вопросом Планк объяснял так: «Тем временем в области теплового излучения я натолкнулся на неизведанную целину. Уже в 1860 г. Кирхгоф обнаружил, что в пустой полости, со всех сторон замкнутой отражающими стенками и содержащей совершенно произвольные излучающие и поглощающие тела, со временем благодаря необратимым процессам устанавливается стационарное состояние излучения, зависящее от одной-единственной переменной, общей для всех тел – температуры... Прямым путем к этой цели, как мне представлялось, вела электромагнитная теория света Максвелла, которая несколькими годами ранее одержала окончательную победу благодаря великому открытию Герца» [1].

Планк вплотную приступил к проблеме излучения в 1897 г. До этого наибольших успехов в решении этой задачи добился В. Вин. Но, во-первых, вывод Вина с теоретической точки зрения не был безупречным, и Рэлей писал в 1900 г., что «с теоретической стороны этот результат представляется мне немногим более, чем догадкой»; во-вторых, – и это главное – формула Вина хорошо оправдывалась в области высоких частот (коротких волн), но в измерениях с инфракрасными волнами, выполненными Рубенсом и Курльбаумом, «обнаружилось совершенно отличное от закона Вина поведение».

Во всяком случае, Планк пошел своим путем. Он исходил из того факта, что в полости с идеально отражающими стенками, в которой помещены любые тела при определенной температуре, в стационарном состоянии должно существовать электромагнитное излучение, распределение энергии которого совпадает с распределением энергии абсолютно черного тела. Планк рассматривал модель черного тела, представлявшую собой совокупность электромагнитных осцилляторов, излучающих и поглощающих электромагнитную энергию каждый определенной частоты. Введя гипотезу «естественного излучения», Планк привел эту систему в соответствие с необратимостью термодинамических процессов, несмотря на то, что излучение описывается обратимыми уравнениями электродинамики. 15 мая 1899 г. Планку удалось найти соотношение между объемной плотностью излучения и средней энергией осциллятора. Планк установил соотношение между энергией и энтропией осциллятора, в основе которого, по-видимому, лежит закон Вина. Но как раз в это время измерения Рубенса и Курльбаума показали неприменимость закона Вина для длинных волн, и это поставило Планка перед трудной проблемой. Планк построил из связи энтропии и энергии некоторую величину R , которая в области применимости закона Вина оказывается пропорциональной энергии. Однако в областях длинных волн следовало принять R пропорциональной квадрату энергии.

«Таким образом, – вспоминал Планк, – первыми опытами для функции R было установлено два простых предельных вида: при малых энергиях R пропорциональна энергии, а при больших энергиях – квадрату энергии ... Дело теперь состояло в том, чтобы найти точное выражение для R , которое давало бы закон распределения энергии, совпадающий с экспериментально установленным. Теперь ничего другого не оставалось, как приравнять в общем случае величину R сумме двух членов – одного линейного, а другого квадратного по энергии, так что при малых энергиях решающее значение имел первый член, а при больших – второй.

При этом была найдена новая формула для излучения, которую я представил на заседании Берлинского физического общества 19 октября 1900 г. и рекомендовал проверить» [1].

Формула, найденная Планком, имела вид:

$$\rho(\nu, T) = \frac{c_1 \nu^2}{e^{\frac{c_2 \nu}{T}} - 1}.$$

Рубенс немедленно после заседания начал сравнивать формулу Планка с данными его измерений. Утром он пришел к Планку и сообщил, что повсюду было найдено удовлетворительное совпадение его формулы с опытом. Но, как признавался Планк, метод нахождения формулы придавал ей «только формальный смысл удачно угаданного закона» [2]. И здесь Планк впервые обратился к статистике, с которой Михельсон начал поиски закона излучения, используя идеи Больцмана о

связи энтропии и вероятности.

При проведении этих расчетов был получен следующий весьма примечательный результат. Выяснилось, что правильное выражение для энтропии, вытекающее из экспериментально установленного закона излучения, может быть получено только при одном определенном условии. А именно, нужно предположить, что энергия осцилляторов может быть только кратной целому числу квантов энергии, которое, кроме того, еще и различно для осцилляторов различной частоты. Если ν — частота какого-нибудь осциллятора, то его излучение должно состоять из отдельных порций энергии, величина каждой из которых равна $h\nu$, где h вначале была неизвестной универсальной константой. Это предположение находится в явном противоречии с классической теорией, по которой энергия осцилляторов при излучении или поглощении электромагнитных волн изменяется непрерывно, т.е. может принимать любые значения [2].

Планк был вынужден, таким образом, выдвинуть гипотезу, что энергия осциллятора с частотой ν может быть только целым кратным величины $h\nu$. Эта гипотеза, известная под названием квантовой гипотезы Планка, является исходным пунктом для всей современной атомной физики.

Постоянная h имеет размерность энергии, умноженной на время, и была названа Планком элементарным квантом действия, о котором он говорил следующее: «Гораздо труднее было истолковать значение второй универсальной постоянной закона излучения, которую я назвал элементарным квантом действия, так как она представляет произведение энергии и времени, равное по первому вычислению $6,55 \cdot 10^{-27}$ эргам в секунду. Она была совершенно необходима для получения правильного выражения энтропии, так как только при ее помощи можно было установить величину «элементарных областей» вероятности; однако она упорно не поддавалась никаким попыткам уместить ее в каком-нибудь подобающем виде в рамки классической теории» [1].

«Таким образом, – писал Планк, – и для излучения было установлено существование энтропии как меры вероятности в больцмановском смысле» [3].

Однако при подсчете вероятности Планку пришлось отойти от метода Больцмана, и только значительно позже выяснился смысл этого отхода: статистика квантов не является больцмановской. 14 декабря 1900 г. Планк доложил Берлинскому физическому обществу о своей гипотезе и новой формуле излучения:

$$\rho(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{e^{kT} - 1}.$$

Из этой формулы, справедливой во всех областях спектра, получались и закон Стефана-Больцмана, и закон смещения Вина

История закона излучения продолжалась еще и в XX в. Сам Планк как-то пытался ввести свою гипотезу в русло классических представлений. Однако это ему не удалось.

Гипотеза квантов захватывала все новые и новые области, став «царицей» современной физики [3].

В 1919 г. Планк был удостоен Нобелевской премии по физике за 1918 г. «в знак признания его заслуг в деле развития физики благодаря открытию квантов энергии».

Список литературы

- 1 Планк, М. Избранные труды. Термодинамика. Теория излучения и квантовая теория. Теория относительности. Статьи и речи / М. Планк. – М. : Наука, 1975. – 788 с.
- 2 Планк, М. Сборник статей / М. Планк ; под ред. А.Ф. Иоффе и А.Т. Григоряна. – М. : Издательство академии наук СССР, 1958. – 280 с.
- 3 Кудрявцев, П.С. Избранное / П.С. Кудрявцев, С.П. Кудрявцев. – Тамбов : Пролетарский светоч, 2004. – 392 с.

Н.В. Денисов, А.М. Уваров

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНЫХ ПОСОБИЙ*

Основной смысл книги во все времена ее существования связан с распространением информации и знаний. «Книги (писал Ф. Бэкон) – корабли мысли, странствующие по волнам времени и бережно несущие свой драгоценный груз от поколения к поколению». Книгу можно рассматривать как некое транспортное средство, предназначенное для перемещения во времени и в пространстве нематериальных объектов (мыслей) из пункта отправления (мозга автора) в пункт прибытия (мозг читателя). Транспортное средство в первую очередь характеризует скорость и стоимость, в данном случае скорость и затраты доставки информации от автора к читателю. Эволюция книги известна – сначала были рукописные свитки, затем пришли книги в виде кодексного блока, затем печатные книги и уже в наше время неотвратимо наступают электронные книги, способные транспортировать груз мыслей автора несравненно быстрее и дешевле, чем бумажные.

Осознание этой тенденции означает, что в ближайшем предвидимом будущем рейтинг и экономическое благополучие

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора С.В. Фролова

каждого университета, научного института и научного издательства будет все больше зависеть от их способности создавать, рекламировать, использовать и продавать на мировом рынке знаний свою продукцию в виде цифровых изделий – электронных гиперкниг и проблемно-ориентированных библиотек электронных гиперкниг.

Бумажные книги имеют существенный недостаток – трудный поиск нужной информации, порой, чтобы найти нужную формулу или определение приходится перечитать несколько глав. Электронные издания устраняют эти недостатки, несколькими нажатиями клавиш мыши мы легко найдем нужную информацию, а используя специальный словарь, можно узнать смысл встретившегося слова, не закрывая текст.

Электронные учебники, справочники, журналы и т.п. произведения интеллектуального труда имеют огромный потенциал. Для их издания не нужны типографии, не нужна бумага (берегутся леса), не нужны склады для хранения и транспорт для перевозки, экономятся энергоресурсы, удешевляется и расширяется доступ к источникам знания.

Использование компакт-дисков позволяет ученому, преподавателю, студенту, писателю, журналисту, любому работнику интеллектуального труда иметь и дома и на рабочем месте богатую электронную библиотеку. Библиотеку, несоизмеримо более дешевую и занимающую несоизмеримо меньше места, чем печатная. Использование такой «компакт-библиотеки» сокращает время на посещение традиционных библиотек; упрощает, облегчает и ускоряет поиск информации; делает интеллектуальный труд более комфортным и производительным (достаточно протянуть руку, вставить компакт-диск в дисковод, найти нужный фрагмент и использовать его для текущей работы).

Обычный «повествовательный» текст в электронном формате, надлежащим образом структурированный, оснащенный гипертекстовыми связями, позволяющими изучать его в различных дидактических последовательностях и с быстродействующим механизмом информационного поиска приобретает свойства, которыми тексты, напечатанные на бумаге, не обладают и обладать не могут. Главные – ассоциативность и быстродействие (экономия времени).

Целью проекта электронный учебник «Биология человека и животных» является создание электронного учебника с простым пользовательским интерфейсом, позволяющим оперативно получить доступ к нужной информации, с помощью программы Natata eBook Compiler.

Для создания электронного учебника применяются доступные каждому пользователю программы, с простым интерфейсом, не требующие для создания книг особых знаний в области программирования, но несмотря на все вышесказанное электронная книга получается высоко качественным продуктом.

Книга состоит из разделов: «Организм – живая биологическая система», «Химическая организация клетки», «Строение и функции клетки», «Биология размножения и развития», «Основы генетики», «Гистология»; 8 разделов, посвященных различным системам организма человека, а также разделов «Общие механизмы возникновения патологий» и «Современные методы исследования организма человека».

При создании учебника были использованы пакеты ПО: Microsoft Office FrontPage и программа для создания ехе-книг Natata eBook Compiler.

Простота создания, доступный интерфейс и в то же время много-функциональный интерфейс книги являются главными инновациями в области электронных учебников, которые были использованы в проекте: электронный учебник «Биология человека и животных».

А.В. Завьялов

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ РАБОТЕ НА ПРЕССАХ ВУЛКАНИЗАЦИИ

На современном этапе экономического развития страны особое значение приобретают вопросы, связанные с функционированием промышленных предприятий и организаций в условиях рыночной конкуренции. Такая ситуация приводит к необходимости повышения требований, предъявляемых к уровню подготовки или переподготовки персонала в специализированных условиях: высокая оперативность, ограниченные затраты, разные сферы труда при различном начальном уровне подготовки.

Актуальной является разработка автоматизированных информационных систем (АИС), реализующих специализированное обучение и применяемых для различных сфер профессиональной деятельности.

Основную трудность при разработке таких АИС представляет создание аналитических и процедурных моделей как в составе оболочки АИС, так и для предметной области, учитывающих особенности решения задач специализированного обучения.

Поскольку процесс специализированного обучения представляет собой сложную совокупность параллельных и последовательных информационных процессов разнообразной информации, естественным кажется его рассмотрение с позиций информационных процессов и систем, для формализации и управления которыми можно использовать методы системного анализа. Но до последнего времени подход к обучающим системам был такой же, как к информационно-поисковым системам, т.е. практически отсутствовало управление по обратной связи в системе обучения. В последние годы делались попытки подойти к процессу обучения как к процессу управления познавательной деятельностью объекта подготовки (специалиста), но он в лучшем случае моделировался как некая случайная система. Объекту подготовки, если под ним будем понимать человека, скорее присуща неопределенность, чем случайность. В настоящем докладе предлагается подход, позволяющий рассматривать подготовку специалиста как процесс управления информационной системой, где взаимодействие подготавливаемого и учителя интерпретируется как совместное функционирование объекта управления и управляющего устройства, реализующего заданную программу управления (подготовки). Такой подход позволяет использовать методы системного анализа и теории управления в организации процесса специализированного обучения.

Способ управления сложными системами был известен еще в древности: разделяй и властвуй. Будем использовать при формализации процесса специализированного обучения объектно-ориентированный подход (т.е. декомпозицию исходной задачи по принадлежности ее элементов к различным абстракциям данной предметной области) [1]. При этом отдельная часть исходной задачи представляет собой объект некоторого класса, входящего в состав иерархии классов.

В процессе специализированного обучения специалист приобретает известную сумму знаний и умений, при этом он осуществляет известную систему целенаправленных действий, позволяющих ему принять и переработать необходимое количество информации.

Перед АИС ставятся самые различные задачи: первоначальное обучение специалистов, их переучивание и тренировки по поддержанию навыков, профессиональный отбор, решение задач проектирования, исследования оборудования и систем управления объектами, отработка методик управления ими, а также методик и программ подготовки специалистов [2].

На основании этого аппаратный и программный составы и структура АИС должны обеспечивать:

- принципиальную возможность обеспечения режима коллективного пользования большей частью ее ресурсов;
- заданную полноту воспроизведения условий моделируемой обстановки и обеспечения решения самых разнообразных новых задач, направленных на дальнейшее повышение качества подготовки специалистов, достижение более высокой эффективности использования аппаратных и программных средств и сокращение сроков ввода новых АИС;
- высокую живучесть программного обеспечения, достаточный уровень контроля и диагностики;
- моделирование в реальном масштабе времени динамики объекта в штатных и нештатных ситуациях, а также логики работы подсистем объекта управления в штатных и нештатных режимах работы;
- функционирование различных подсистем объекта управления и факторов внешней среды;
- управление процессом специализированного обучения;
- автоматизированную объективную оценку деятельности специалистов во время тренировок;
- необходимый уровень защиты информации;
- создание и ведение архива необходимой информации (БД);
- автоматизированный оперативный контроль и регистрацию функционирования программных и аппаратных средств АИС.

С учетом требований к АИС была разработана информационная модель, которая обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными:

1) в отличие от традиционных систем в данной системе разбиение на модули ведется не по категориям пользователей АИС (например, подсистемы «Специалист», «Диспетчер», «Автор» и т.д.), а по функциональным блокам («Формализация предметной области», «Обучающая подсистема» и т.д.);

2) обеспечивает ответ на все три вопроса дидактики, определяя цель, содержание, методы и объект специализированного обучения;

3) в данной системе отсутствует разделение по объекту подготовки.

Список литературы

1 Буч, Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения : пер. с англ. / Г. Буч. – М. : Конкорд, 1992. – 519 с.

2 Земской, Н.А. Разработка структуры информационной системы для обучения операторов технологических процессов / Н.А. Земской // Информационные системы и процессы : сб. науч. тр. – Тамбов, 2004. – Вып. 2. – С. 108–116.

Л.Н. Кольцова

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ В ТЕПЛОФИЗИКЕ*

Измерения в теплофизике занимают важное место в изучении свойств объекта, закономерностей протекающих в нем процессов в норме и при различных видах воздействия. Средства измерений метрологического назначения – большой класс специальных измерительных устройств, предназначенных для применения в технических учреждениях и лабораториях, отвечающих теплофизическим требованиям. Понятно, что от точности, надежности аппаратных средств и единства измерений в теплофизике во многом зависит достоверность получаемых результатов.

Каждая теплофизическая система должна быть проверена на точность и надежность функционирования, при этом наибольший эффект достигается за счет применения средств автоматизации данного процесса. Экономически автоматизация поверки и испытаний теплофизических приборов приносит немалые выгоды. Особенно уменьшаются затраты времени на испытания в случае, если измерительный прибор (ИП) является серийно выпускаемым изделием, а также если оцениваются одинаковые параметры различных ИП и испытания ИП проводятся в одном центре. В качестве поверочных средств используются генераторы (как стандартные, так и специализированные) и поверочное коммуникативное устройство (ПКУ).

Функциональные генераторы предназначены для исследования, настройки, испытаний, поверки систем и приборов, они воспроизводят испытательные сигналы требуемых форм, частоты и напряжения, записанные на носителях информации – постоянных запоминающих устройствах (ПЗУ).

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук С.В. Григорьевой

В теплофизике с целью поверки измерительных приборов наиболее применимы функциональные генераторы, таким генератором является ГФ-05.

Малогобаритный переносной многофункциональный и программируемый генератор ГФ-05 предназначен для исследований, настройки, испытаний, поверки систем и приборов, используемых в медицине (электрокардиографы, электроэнцефалографы, миографы, фонокардиографы, реографы и др.), биофизике, радиоэлектронике, автоматике, приборостроении, работающих в области инфранизких и низких частот.

При проверках, контроле, испытаниях аппаратуры теплофизического и общетехнического назначения генератор ГФ-05 (вес 3 кг, габариты 253×200×86 мм) заменяет набор приборов в количестве 6 шт. (генератор, вольтметр, источник калибровочного напряжения, мост сопротивления, частотомер, осциллограф) общим весом около 100 кг, габаритами 1000×500×1600 мм, сокращает затраты времени на проведение испытаний в 2-3 раза.

По требованиям ГОСТов для применения измерительных приборов, в частности генераторов, в теплофизике можно использовать не только ГФ-05, но и генератор «Диадест» для проведения первичной и периодичной поверки, функциональный генератор МТХ 3240. Все они отвечают требованиям для поверки теплофизических приборов. Однако среди них можно выделить «Диадест». Отличительными особенностями этого генератора являются: простота и удобство в эксплуатации; содержит весь набор необходимых сигналов; встроенное питание (2 элемента питания по 1,5 В); графический дисплей; небольшая масса (не более 300 г) и габариты (150×80×35 мм).

Благодаря своим малым габаритам и весу он не привязывает пользователя к определенному месту, его можно использовать при выезде на место эксплуатации теплофизических приборов. В основе формирования сигнала генератора «ДИАТЕСТ» лежит прецизионное цифроаналоговое преобразование кодового образа, находящегося в постоянной памяти микроконтроллера. Графический дисплей, кнопочная клавиатура, а также несколько режимов работы позволяют легко проводить качественную поверку приборов как отечественных, так и импортных производителей. Дополнительные каскады усиления и ослабления приводят выходные сигналы в соответствие с требуемыми нормами.

С.П. Кудрявцев, И.С. Переславцев

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

РОЛЬ ДЖ. ДЖ. ТОМСОНА В РАЗВИТИИ ФИЗИКИ, МЕТРОЛОГИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ

Выдающийся английский физик Джозеф Джон Томсон родился 18 декабря 1856 г. в Четхеме, предместье Манчестера. Курс средней школы и предварительный университетский курс Томсон прошел в своем родном городе Манчестере.

В Оуэн-колледже Томсон как лучший ученик получал стипендию. Учителя пробудили в нем интерес к физике, математике, к научным исследованиям, и после пяти лет учебы, по совету математика Баркера, он держит экзамен на право получения стипендии в знаменитый Тринити-колледж. Славу этому колледжу создали его выдающиеся питомцы Ньютон и Максвелл. Первая попытка поступить в Тринити-колледж кончилась для Томсона неудачно. Только на следующий год он получил наименьшую из назначаемых стипендий в 75 фунтов в год, а вместе с ней и возможность обучения в Тринити-колледже.

Через два года после избрания Томсона членом колледжа он стал ассистентом кафедры математики в Тринити-колледже. Педагогические обязанности его заключались в чтении лекций по математике и индивидуальных занятиях со студентами. Томсон прекрасно справлялся с педагогической работой и подготовил ряд отличников-выпускников Кембриджа.

Почет и слава, которыми он стал окружен в своей стране, несколько не изменили черты его характера, и он всегда оставался простым и скромным человеком. Томсон был безгранично предан науке. Когда в 1825 г. его ученик Макс Борн приехал навестить учителя в Кембридж, то сын «Джи Джи» (так называли Томсона близкие люди) повел Борна к отцу. И первыми словами ученого были: «Здравствуйте! Посмотрите, вот этот спектр...».

В 1918 г. Томсон получил высокий пост президента Тринити-колледжа. Томсон умер 30 августа 1940 года. Он был похоронен в Вестминстерском аббатстве, там же, где его великие соотечественники – Ньютон, Кельвин, Дарвин.

Обратимся к научному творчеству Томсона. В 1881 г. в апрельском номере «Philosophical Magazine» была опубликована статья Томсона о движении заряженной сферы. Из этого исследования родилось важное открытие – понятие электромагнитной массы. В 1894 г. Томсон приступил к экспериментам с катодными лучами. До Томсона подобными исследованиями занимались Гиторф, Крукс, Гольдштейн и др., открывшие многие важные свойства этих лучей, но еще не был решен главный вопрос – о природе этих лучей. Гольдштейн, как и большинство немецких физиков, придерживался мнения, что катодные лучи – это волны в эфире. Английские ученые Варлей (1871) а также Крукс (1879) отождествляли эти лучи с заряженными частицами, вырывающимися с катода под прямым углом к его поверхности и движущимися с большой скоростью. Эту точку зрения поддерживали и многие другие английские физики. Противниками и сторонниками этих двух теорий ставились многочисленные эксперименты с целью опровергнуть одну и подвергнуть другую точку зрения.

Многие эксперименты Томсона подтвердили корпускулярную природу катодных лучей (по крайней мере, до 1927 г., когда были открыты волновые свойства этих лучей). Затем Томсон приступает к определению скорости и удельного заряда этих частиц. Он обобщает опыты Шустера, определявшего e/m по отклонению катодных частиц в магнитном поле, используя для определения этого отношения как магнитное, так и электрическое поля.

Данные экспериментов Томсона показали, что значения e/m для различных газов, в пределах экспериментальных ошибок, одинаково. Томсон писал, что «постоянство значения e/m для ионов, составляющих катодные лучи, есть поразительный контраст изменчивости соответствующих величин для ионов, которые несут ток в электролитах... Если мы сравним значение $e/m = 7,7 \cdot 10^6$ для ионов в катодных лучах с соответствующими величинами для ионов, которые несут ток в электролитах, мы придем к очень интересному заключению: наибольшее значение e/m в случае электролиза будет при водородном ионе, в этом случае $e/m = 10^4$.

Когда мы рассматриваем электрический заряд, несомый ионом в катодных лучах, мы, принимая, что он равен по модулю заряду, несомому водородным ионом при электролизе, заключаем, что масса водородного иона должна быть в 770 раз больше массы иона в катодных лучах; следовательно, носитель отрицательного электричества в этих лучах должен быть очень малым по сравнению с массой водородного атома».

Томсон назвал эти частицы корпускулами. Однако это название не удержалось в науке. По предложению ирландского физика Дж. Стонея частицу, несущую элементарное количество электричества, стали называть электроном.

Первое сообщение об открытии электрона Томсон сделал 29 апреля 1897 г. на заседании Королевского института, затем последовала публикация выдержки из этой лекции в журнале «Electrician» 21 мая 1897 г., и более полно она была опубликована в «Philosophical Magazine» в октябре этого же года.

Стало ясно, что электроны являются составными частями атомов всех веществ. Сам Томсон построил электромагнитную модель атома, предположив, что положительное электричество «размазано» по сфере, в которую вкраплены, как изюм в пудинг, электроны. В простейшем атоме водорода электрон находится в центре положительно заряженной сферы. При смещении из центра на электрон действует квазиупругая сила электростатического притяжения, под действием которой электрон совершает колебания. Частота этих колебаний определяется радиусом сферы, зарядом и массой электрона, и если радиус сферы имеет порядок радиуса атома, частота этих колебаний совпадает с частотой колебания спектральной линии атома. В многоэлектронных атомах электроны располагаются по устойчивым конфигурациям, рассчитанным Томсоном. Томсон считал каждую такую конфигурацию определяющей химические свойства атомов. Он предпринял попытку теоретически объяснить периодическую систему элементов Д. И. Менделеева. Эту попытку Бор позднее назвал «знаменитой» и указал, что со времени этой попытки «идея о разделении электронов в атоме на группы сделалась исходным пунктом и более новых воззрений». Отметив, что теория Томсона оказалась несовместимой с опытными фактами, Бор тем не менее считал, что эта теория «содержит много оригинальных мыслей и оказала большое влияние на развитие атомной теории».

Научно-педагогическая деятельность Томсона неразрывно связано с Кавендишской лабораторией, в которую он пришел работать сразу после получения научной степени в 1880 г. Свои первые исследования в Кавендишской лаборатории он провел под руководством доктора Рэлея. Они относились в основном к области электромагнетизма. В них Томсон выступает как последователь и продолжатель дела Фарадея – Максвелла. За свои научные достижения он уже весной 1884 г. был выбран членом Лондонского королевского общества, а в конце года, после ухода Рэлея с поста главы Кавендишской лаборатории, руководителем этой знаменитой лаборатории. Томсон превращает ее в крупный научный центр. Для него самого годы, проведенный в Кавендишской лаборатории, были вершиной его научных и педагогических достижений. В 1896 г. его классические исследования электропроводности газов были удостоены Нобелевской премии.

Многие ученики Томсона стали крупными учеными, а пять из них – Ч. Баркла, Г. Брэгг, Ч. Вильсон, Э. Резерфорд, О. Ричардсон – нобелевскими лауреатами. Томсон избирался президентом Лондонского Королевского общества, президентом Британской ассоциации содействия прогрессу наук, был награжден правительственными орденами и медалями различных научных обществ (орден «За заслуги», медали Копли, Юза, Ходкинса, и др.). Он являлся членом многих академий наук, в том числе академии наук СССР.

Томсон разработал и методы изучения положительно заряженных частиц. Вышедшая в 1913 г. его монография «Лучи положительного электричества» положила начало масс-спектропии. Развивая методику Томсона, его ученик Астон построил первый масс-спектрометр и разработал метод анализа и разделения изотопов. В лаборатории Томсона начались первые измерения элементарного заряда из наблюдения движения заряженного облака в электрическом поле. Этот метод был в дальнейшем усовершенствован Милликенем (1868–1953) и привел к измерениям заряда электрона.

В лаборатории Кавендиша начала свою жизнь и знаменитая камера Вильсона, построенная учеником и сотрудником Томсона Вильсоном в 1911 г.

Таким образом, роль Д. Д. Томсона и его учеников в становлении и развитии атомной и ядерной физики очень велика.

Список литературы

- 1 Кудрявцев, П.С. Избранное / П.С. Кудрявцев, С.П. Кудрявцев. – Тамбов : Пролетарский светоч, 2004. – 392 с.
- 2 Price, D.J. The Cavendish laboratory archives. – Note and Records of the Royal Society of London, 1953.
- 3 Thomson, J.J. On the determination of the number of electrostatic units in the electromagnetic unit of electricity / J.J. Thomson // Philosophical Transactions. – 1883.
- 4 Thomson, J.J. On the electric and magnetic effects produced by the motion of electrified bodies / J.J. Thomson // Philosophical Magazine. – 1881.
- 5 Шустер, А. Прогресс физики / А. Шустер. – ПГ. : Естествоиспытатель, 1915.

*В.М. Поликарпов, В.С. Быстрицкий, Ю.М. Головин,
В.Н. Холодилин*

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

НОВЫЙ ОРИГИНАЛЬНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА

Современные требования к выпускникам высшей школы, независимо от того, где они будут работать после окончания вуза, включают в себя знание новых информационных технологий и умение их применять в своей дальнейшей практической деятельности.

В полной мере это относится к выпускникам естественных факультетов классических университетов, а также технических вузов, дальнейшая профессиональная деятельность которых невозможна без подобных знаний и умений. Особенно это касается студентов, которые после окончания вузов намерены продолжить свое обучение в аспирантуре, так как научные изыскания на современном научном уровне невозможны в настоящее время без знания информационных технологий. Студенты должны обучаться компьютерным технологиям не только на специализированных занятиях по информатике, но и на занятиях естественно-научного профиля (физика, химия и т.д.), при подготовке курсовых, дипломных работ, а также при проведении любых научно-исследовательских работ.

К сожалению, проблеме эффективного использования компьютерной техники на занятиях естественно-научного цикла не уделяется должного внимания. Зачастую это связано не только с недостаточным обеспечением учебных и научных лабораторий вычислительной техникой и специализированными программами, но и с недостаточным уровнем знаний и умений у самих преподавателей или недооценкой ими новых информационных возможностей.

Современное проведение любого эксперимента требует применения компьютерной техники при обработке, анализе и выводе обработанных данных на печать. Это в полной мере относится как к научным лабораториям, так и учебным. Использование новых компьютерных технологий позволяет проводить дистанционное обучение, что является одним из приоритетных направлений в современной методике образования.

Одной из часто возникающих проблем является проблема изучения температурных зависимостей от времени, используя персональный компьютер. Часто для этого используется аналогово-цифровой преобразователь, но из-за высокой стоимости подобное устройство не всегда доступно. Предлагаемый нами метод оценки температурных изменений основывается на принципе преобразования термоЭДС в частоту, а устройство представляет собой генератор прямоугольных импульсов, в звуковом диапазоне управляемый напряжением (термоЭДС) от термоэлемента. В данном приборе используется хромель-копелевый термоэлемент, с рабочим диапазоном температур от комнатной температуры до 90 °С, при этом частота на выходе прибора линейно изменяется от 4 кГц до 15 кГц, с дискретизацией 12 Гц/С. В заданном интервале температур хромель-копелевый термоэлемент изменяет термоЭДС от 1 мВ до 30 мВ, этот сигнал затем поступает на операционный усилитель, а уже усиленный сигнал поступает на генератор, управляемый напряжением, выполненный на операционном усилителе и таймере. Схема питается от сети 220 В 50Гц, снабжена биполярным стабилизированным блоком питания, имеет экранированный кабель со стандартным разъемом для подключения к звуковой плате компьютера. Монтаж схемы выполнен на односторонней печатной плате из стеклотекстолита. Ввиду высокой чувствительности электронных компонентов к электромагнитным помехам и изменению влажности окружающей среды плата имеет контурную экранировку, покрыта изоляционным лаком и помещена в пластмассовый корпус.

Полученная частота подается на звуковую плату персонального компьютера, с последующим анализом экспериментальных данных программными средствами. Одной из наиболее используемых компьютерных программ на сегодняшний день является программа Excel, входящая в состав стандартной поставки пакета Microsoft Office. Однако данная программа может использоваться в основном для вывода экспериментальной информации (график, таблица и т.д.), без ее дальнейшего компьютерного анализа. Как показал наш опыт, программы подобные Excel могут использоваться лишь на начальном этапе обучения, а в дальнейшем нужно применять более эффективные программные средства, позволяющие в полной мере использовать преимущества современных программных продуктов при обработке получаемой экспериментальной информации. Одной из наиболее удачных программ (с точки зрения авторов), предназначенных для численной обработки экспериментальных результатов, стала программа ORIGIN, которая широко используется для анализа экспериментальных результатов. Она получила широкое распространение как в России, так и во всем мире. Программа ORIGIN позволяет систематизировать данные, обрабатывать их с использованием различных стандартных функций, а при необходимости – с использованием функций, создаваемых пользователями.

Любое экспериментальное исследование, касается это учебных занятий или научно-исследовательской работы, можно разделить на два основных этапа:

- 1) непосредственное получение экспериментальных данных;
- 2) обработка полученных экспериментальных данных, включающая в себя анализ данных, с последующим выводом полученных данных в удобном и понятном представлении.

К концу обучения в вузе студенты должны уметь проводить экспериментальное исследование, анализируя полученные результаты с помощью современных компьютерных технологий. Полученные знания и умения должны проявиться в полной мере при выполнении дипломных исследований студентами и научных изысканий аспирантами.

Полученное устройство отличается надежностью, достаточной чувствительностью и низкой себестоимостью. Универсальность и простота применяемого метода позволяют использовать данную систему для решения широкого круга учебных и научных задач.

Т. С. Соколова, Л. Ю. Иванова

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ*

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам формирования специалистов, занятых менеджментом, сервисным обслуживанием и ремонтом сложных медицинских приборов, систем и комплексов.

При подготовке специалистов данного направления образовательные стандарты предусматривают использование при-

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента Е.А. Леонтьева

боров разного назначения на учебных занятиях.

На кафедре БМТ ТГТУ среди приборов, систем и комплексов в учебном процессе используются приборы для измерения внутриглазного давления (ВГД). Существующие приборы для измерения ВГД основаны на использовании различных методик, имеют разное приборное оформление и в значительной мере различаются метрологическими характеристиками, что создает определенные трудности в работе специалистов.

В данной работе ставится и решается задача модификации вибрационного метода измерения ВГД.

В рамках поставленной задачи выполнено следующее:

- дан анализ современного состояния проблемы измерения ВГД;
- дан сравнительный анализ разных по организации и приборному оформлению методов измерения ВГД;
- показано, что наиболее перспективным, с точки зрения минимизации синфазных помех, является вибрационный метод;
- дано обоснование дополнительного измерения сигнала в опорной точке;
- разработано метрологическое обеспечение модифицированного метода и прибора для измерения ВГД;

Важным показателем состояния глаз является внутриглазное давление (ВГД).

До настоящего времени существует два основных метода измерения ВГД – аппланационный и импрессионный. Тонометр Маклакова (аппланационная тонометрия) состоит из плоской круглой площадки, контактирующей с глазом. Вес тонмометра 10 г. Ошибка тонмометра в зоне нормального ВГД достигает 3–6 %, а на краях диапазона увеличивается еще больше.

Тонмометры (импрессионный метод) оказывают на глаз давление с помощью рабочей среды (сжатый воздух или жидкость), подводимой к глазу через специальный наконечник. Но в связи с большой силой давления на глаз (10–60 г) и сложностью методики тонометрии массового применения такие тонмометры не получили.

Известен способ измерения ВГД, основанный на получении ответа от глаза при воздействии на него механического вибратора. Для использования устройства необходим стол, совмещенный с подставкой для головы пациента, что ведет к удорожанию как метода, так и устройства.

Наиболее перспективным является способ, в котором приближают вибрирующий датчик к глазу до наступления контакта с ним и воздействуют на глаз с небольшим усилием до момента исчезновения сигнала с датчика, отводят вибрирующий датчик от глаза и при этом измеряют на нем максимальную амплитуду, по которой судят об офтальмотонусе.

Способу свойственны недостатки:

- характеристики механического вибрирующего датчика не стабильны во времени, требуют подстройки частоты и амплитуды колебаний перед каждым измерением, что вносит дополнительную погрешность в результат измерения;
- характеристики механического вибрирующего датчика в значительной мере подвержены влиянию окружающей среды (температуры, влажности, сил трения, электрических полей), что приводит к изменению усилий в колебательной системе и, следовательно, вносит дополнительную погрешность в результат измерения;
- известно, что частота вынужденных акустических колебаний в исследуемой среде (глаз) не зависит от параметров среды, однако их амплитуда зависит от массы, механического сопротивления и других показателей, характеризующих общее состояние среды;
- максимальное значение амплитуды будет на частоте механического резонанса;
- резонансные явления появляются при совпадении частот звуковых колебаний с частотами мод колеблющихся оболочек клеток и составляющих цитоплазмы клеток, а также молекул и других элементов и структур.

Эффективность модифицированного метода и приборного оформления получается в результате вычитания опорного сигнала из измерительного сигнала. При этом происходит компенсация синфазных помех и формирование сигнала измерительной информации.

Е.Г. Талалаева, С.А. Тарамышева

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ МИКРОСКОПА*

Известно техническое решение – монокулярный микроскоп, который используется для различных лабораторных исследований в теплофизике и аналитическом контроле при оценке количественных характеристик и контроле качественных показателей. Монокулярный микроскоп состоит из тубусодержателя, револьверного устройства, монокулярной насадки и объектива.

Недостатком устройства является то, что оно не в состоянии обеспечить необходимым освещением и точностью измерений.

Также известно техническое решение – бинокулярный микроскоп, который в своем устройстве также содержит тубусодержатель, револьверное устройство и объектив, но вместо монокулярной насадки используется бинокулярная насадка, которая позволяет компенсировать ошибку глаза наблюдателя от 5 до –5 дптр. Но это не устраняет основных недостатков: низкую точность, недостаточное освещение.

За прототип принято устройство для наблюдения изображений, которое отличается от аналогов тем, что в своей структуре имеет конденсор в виде отражающего элемента с возможностью вращения, который обеспечивает освещение полей на объекте.

Недостатком устройства является невысокая точность, а также необходимость повышенной концентрации внимания,

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, профессора Е.И. Глинкина

что приводит к быстрой утомляемости лаборанта. Соответственно, снижается точность измерений. Кроме того, устройство для наблюдения изображений недостаточно информативно, полученные данные сложно обрабатывать.

Предлагаемое устройство состоит из револьверного устройства и бинокулярной насадки, соединенных с тубусодержателем, а также конденсора, связанного с насадкой и объективом, который в свою очередь соединяется с револьверным устройством, в отличие от известных решений содержит web-камеру, которая с помощью адаптера подсоединяется к насадке и персональному компьютеру при помощи усилителя. Такая структура позволяет повысить точность результатов, а также сократить время диагностики.

Револьверное устройство обеспечивает установку объектива. Тубусодержатель необходим для установки револьверного устройства, которое располагается непосредственно на тубусодержателе. Объектив предохраняет от повреждения препарат и линзы объектива при фокусировании на поверхность препарата.

Конденсор обеспечивает необходимое освещение объекта.

Бинокулярная насадка обеспечивает визуальное наблюдение изображения объекта и позволяет компенсировать ошибку глаза наблюдателя от 5 до –5 дптр. Web-камера необходима для получения и визуализации информации. Адаптер обеспечивает передачу изображения с web-камеры на усилитель, который необходим для дальнейшей передачи информации с адаптера на персональный компьютер, который, в свою очередь, обеспечивает синтез, анализ и хранение полученной информации.

Сопряжение с персональным компьютером обеспечивает высокую точность проводимых измерений и сокращает время диагностики. Точное измерение сложных компонентов достигается за счет высокого контраста и разрешения оптического изображения. Кроме того, приведенная конструкция позволяет быстро выводить на экран изображения структур исследуемых образцов, благодаря web-камере, также позволяет определить количество элементов крови с помощью счетчика в любой момент времени, что приводит к повышению точности измерений, т.е. исключает возможность ошибок. Все результаты диагностики сохраняются в памяти компьютера и могут быть распечатаны в заданной форме представления или хранения на жестких дисках памяти с целью использования результатов в долгосрочных прогнозах состояния пациента и его лечения.

Устройство используется для самых ответственных и сложных измерений, оставаясь при этом простым в эксплуатации.

Бинокулярный микроскоп универсален и может применяться при различных лабораторных работах в области медицины и химии или электроники и теплофизики.

А.А. Чернякова, А.Е. Пьяных

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ «ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ»

В процессе изучения методов, способов и устройств измерения артериального давления (АД) установлено, что сложно самостоятельно разобраться во всем многообразии измерительных приборов. Поэтому необходимо создание методического пособия, систематизирующего необходимую информацию для измерения АД.

Цель работы – расширение эффективности методов, способов и устройств измерения АД.

Задача – разработка инновационных методов, способов и устройств измерения АД за счет систематизации и анализа перспективных решений при создании электронного пособия по измерению АД.

Первая часть методички посвящена одной из самых актуальных медицинских проблем России на данный момент – заболеваниям, связанным с изменением параметров АД. Успех в лечении и профилактике таких заболеваний прежде всего зависит от их раннего выявления и постоянного контроля.

Вторая часть анализирует прямые (инвазивные) и косвенные (неинвазивные) методы измерения АД, а также систематизирует инновации в этой области.

Инвазивные методы реализуют прямую технику измерения АД путем введения в одну из артерий катетера, содержащего датчик давления на конце или подключаемого к внешнему датчику давления.

Неинвазивные методы включают аускультативный и ультразвуковой, осциллометрический и тахоосциллографический методы.

Аускультативный основан на аускультации артерии (метод Н.С. Короткова). Метод хорошо известен и основан на прослушивании с помощью фонендоскопа тонов Короткова при декомпрессии манжеты, наложенной на плечо пациента, на сегодняшний день признается официальным эталоном неинвазивного измерения АД для диагностических целей и при проведении верификации автоматических измерителей АД.

При определении артериального давления с помощью ультразвукового датчика используется чрескожный доплеровский датчик, позволяющий регистрировать движение стенок кровеносного сосуда при различных уровнях давления в окклюзионной манжете.

Осциллометрический метод регистрирует небольшие пульсации объема конечности, расположенной под окклюзионной манжетой, во время компрессии или декомпрессии. Для регистрации пульсаций артерии ниже манжеты и давления в манжете применяют чувствительный детектор. В качестве детектора используются ультразвуковые, пьезоэлектрические, фотоэлектрические, электроакустические, термометрические, электрокардиографические, реографические приборы и датчики.

Предложенный Н.Н. Савицким тахоосциллометрический (ТО) метод определения артериального давления отличается тем, что в нем регистрируется скорость объемных изменений размеров сосуда, а не сами изменения. Этот метод позволяет достаточно точно определить диастолическое давление и перспективен для инновационных решений.

Оригинальный ТО метод измерения основан на определении давления по максимуму. В данном методе с целью повышения точности измерения используются одновременно сигнал объемного изменения давления тахосигнала и его производная для фиксации конечной и начальной (базовых) точек пульсового импульса и коррекция дрейфа пульсовых импульсов на кривой объемного изменения давления. При этом повышают надежность и упрощают схемную реализацию цифровой части

обработки электрического сигнала.

Новый (ТО) метод измерения давления во время компрессии манжеты позволяет регистрировать истинные объемные осцилляторные сигналы, которые полностью отражают закономерность процессов, протекающих при формировании осциллограмм артериальных сосудов под действием нарастающего давления в пережимной измерительной манжете, и сохраняют неискаженными амплитудно-временные соотношения. Это приводит к тому, что осциллограмма приобретает вид контура, который можно обвести прямыми линиями и объективно измерить величины диастолического и среднего динамического артериального давлений. При этом также появляется возможность не доводить величину давления в пережимной измерительной манжете до величины, превышающей систолическое артериальное давление обследуемого.

Третья часть иллюстрирует информацию об имеющихся видах устройств тонометров. Сегодня на рынке представлены три основных вида тонометров: механические, полуавтоматические и автоматические; классифицирует различные технологии и функции, управляющие процессом измерения.

Заключительная часть содержит важные рекомендации по самостоятельному измерению артериального давления. Методическое пособие позволит получить важную информацию об артериальном давлении, методах, способах и устройствах его измерения, а также важные указания по технической эксплуатации тонометра и рекомендации по самостоятельному измерению артериального давления.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 3

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА

Лекции

- Дивин А.Г., Пономарев С.В., Баронин Г.С., Смолин А.М., Ткачев А.Г., Завражин Д.О., Мозгова Г.В.* Информационно-измерительная система для определения теплофизических характеристик полимерных материалов 4
- Лонцаков О.А., Шарафеев Р.Ф., Гумеров Ф.М.* Применение информационно-измерительных систем в исследованиях теплообмена при конденсации бинарных смесей паров 7
- Чудинов Ю.В., Ищук И.Н., Фесенко А.И.* Средство технического контроля качества тепловой защиты аэрокосмических аппаратов 11

Устные доклады

- Дмитриев А.О., Дмитриев С.О.* Интегрированная информационно-измерительная система исследования свойств полимерных композитов в процессе отверждения 15
- Никулин С.С., Бородавкин Д.Г., Сундуков М.С., Майникова Н.Ф.* Метод неразрушающего контроля структурных превращений в полимерах 19
- Чех А.С., Rogov И.В., Жуков Н.П.* Оценка адекватности модели распространения тепла от линейного нагревателя реальному тепловому процессу 22

Стендовые доклады

- Завьялов А.В.* Разработка информационных моделей температурных полей при вулканизации резинотехнических изделий 26
- Коробова И.Л., Дьяков И.А.* Информационное обеспечение подсистемы синтеза текста при автоматизированном проектировании технологических объектов 27
- Никулин С.С., Бородавкин Д.Г., Rogov И.В.* Измерительная система неразрушающего теплофизического контроля 31

- Селиванова З.М., Ибрахим Ияд Ахмад* Информационная модель стратегического партнерства при разработке и эксплуатации информационно-измерительных систем контроля свойств материалов 35

- Селиванова З.М., Самохвалов А.А., Князев В.А., Хоруб Хазем Халед* Задача выбора метода контроля свойств материалов в интеллектуальных информационно-измерительных системах 37

Секция 4

МЕТРОЛОГИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Лекции

- Авдеев А.В., Начинов Д.С., Авдеева А.А.* Графоаналитический метод определения терморежимов сушки зерна высокой влажности в плотном неподвижном и гравитационно перемещаемом слоях 42
- Мищенко С.В., Злобин Э.В., Кирисов С.В.* Подход к реализации решений, направленных на улучшение 47

<i>Промтов М.А., Авсеев А.С.</i> Исследование нагрева газойля и α -олифеинов в роторном импульсном аппарате	51
Устные доклады	
<i>Антипов Д.В., Хмелькова О.И.</i> Всеобщее обслуживание оборудования при внедрении бережливого производства в действующую систему менеджмента качества	57
<i>Битюков В.К., Сидорин В.В.</i> Мониторинг во внутривузовской системе менеджмента качества	60
<i>Гоник М.М., Боевкин В.И., Гоник М.А.</i> Программно-аппаратный комплекс для управления свойствами выращиваемых кристаллов методом ОТФ	63
<i>Котов И.О., Дмитриев Д.А., Чернышов В.Н.</i> Фазорный метод измерения комплексной диэлектрической проницаемости капиллярно-пористых материалов	67
<i>Панов А.А., Казьмин А.И., Федюнин П.А.</i> Алгоритм интроскопии и идентификации неоднородностей покрытий на металле микроволновым методом поверхностных волн	71
<i>Сидорин А.В.</i> Внутривузовская система менеджмента качества на основе информационных компьютерных технологий	77
<i>Щипанов В.В., Чернова Ю.К.</i> Управление качеством процессов на основе метрики «б сигм»	81
Стендовые доклады	
<i>Барсуков В.И., Емельянов А.А., Барсуков Д.Ю.</i> Изучение характера изменения дисперсности аэрозоля, используемого в пламенной фотометрии	85
<i>Волков Д.С., Беляев В.П., Забавников М.В.</i> Повышение качества дорожного покрытия при применении серобитумного вяжущего	89
<i>Голощапов А.А.</i> Оптимизация моделей метрологических средств	91
<i>Злобин Э.В., Кирисов С.В.</i> Мероприятия по управлению организационными изменениями	95
<i>Микита Г.И., Гусев Д.А.</i> Экономическая эффективность использования волнового метода контроля температурного коэффициента линейного расширения материалов	97
<i>Озаренко А.В., Брусенцов Ю.А.</i> Температурная коррекция интегральных тензопреобразователей	98
<i>Полушкин Д.Л., Клинков А.С., Соколов М.В., Шашков И.В.</i> Валково-шнековая технология вторичной переработки термопластов с заданным качеством	101
<i>Потапов Е.С., Беляев В.П., Маликов О.Г.</i> Повышение качества дорожного битума путем его модификации отходами полимерной тары и упаковки	103
<i>Соколов М.В., Клинков А.С., Беляев П.С., Туляков Д.В.</i> Расчет оборудования для экструзии резинотехнических изделий заданного качества	105
<i>Соколова Л.И.</i> Формирование подсистемы измерения удовлетворенности преподавателей и их вовлеченности в процессы системы менеджмента качества образовательной организации	107
<i>Трофимов А.В., Пекина С.С.</i> Методика проведения и оценки результативности процесса «Внутренний аудит» машиностроительного предприятия	109
<i>Чепурнова Е.Е.</i> Система менеджмента качества и сбалансированная система показателей: противоречие или единство?	112

Секция 5

СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕПЛОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, СУШКА И ТЕРМОВЛАЖНОСТНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

Лекции

Джаватов Д.К. Вопросы повышения эффективности систем геотермального теплоснабжения на основе комбинированного регулирования отпуска тепла 118

Дмитриев О.С., Мищенко С.В., Дмитриев А.О.,

Кириллов В.Н. Энергосберегающая технология производства крупногабаритных изделий из полимерных композиционных материалов 123

Малков И.В., Лосев А.В. Термоимпульсное формование полимерных композиционных материалов 127

Устные доклады

Дмитриев С.А., Федюнин П.А., Дмитриев Д.А. Измерительно-вычислительный комплекс измерения влажности капиллярно-пористых материалов 132

Дмитриев С.А., Федюнин П.А., Дмитриев Д.А. Микроволновой контроль влажности капиллярно-пористых материалов 136

Муромцев Ю.Л., Мачихин А.И. Алгоритм оперативного решения задачи оптимального энергосберегающего управления комплексом электропечей 140

Стендовые доклады

Артемова С.В., Грибков А.Н., Ерышов А.Е. Модель динамических режимов многосекционной сушильной установки и ее реализация в системе энергосберегающего управления 144

Баронин Г.С., Столин А.М., Завражин Д.О.,

Канищева Ю.В., Пугачев Д.В., Шапкин К.В. Структурно-механические и молекулярно-релаксационные характеристики полимерных композитов, полученных энергосберегающей твердофазной технологией 148

Барышев М.Г., Джимак С.С., Куликова Н.Н. Сушка древесины при помощи магнитного поля крайне низкочастотного диапазона 149

Богданов А.Н. Математическое моделирование пылевоздушных потоков при пуске теплоэнергетического оборудования 151

Дмитриев В.М., Баронин Г.С., Ткачев А.Г., Иванов С.А., Крутов А.Ю., Кобзев Д.Е., Завражин Д.О. Исследование влияния легирующих ингредиентов на свойства полимерных композитов 155

Марфина О.П. Математическое моделирование пусковых режимов энергетических установок 156

Мочалин С.Н. Математическая модель экспрессного метода измерения коэффициента диффузии влаги в капиллярно-пористых материалах 160

Муромцев Д.Ю., Гребенников Р.В. Энергосберегающее управление многомерными объектами 162

Ртищева А.С., Артюхин К.И. Исследование теплоизоляционных характеристик зданий 164

<i>Филатова Е.Ю., Туголуков Е.Н.</i> Энерго- и ресурсосбережение в узле контактирования при производстве монометиланилина	167
<i>Хрущев С.П., Клинков А.С., Соколов М.В.</i> Расчет технологических и конструктивных параметров двухшнековых смесителей при минимальных энергозатратах	171
<i>Арутюнов Б.А., Ситник А.В.</i> Метод расчета теплоты парообразования смеси	173
<i>Устюжанин Е.Е., Абдулагатов И.М., Попов П.В., Рыков В.В., Шишаков В.В.</i> Комбинированные модели для описания термодинамических свойств на пограничной линии в широком интервале температур, включая критическую область	175
 Секция 6	
ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ТЕПЛОФИЗИКЕ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ И УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ	
 Лекции	
<i>Матвеева Т.В., Глинкин Е.И.</i> Модели вольтамперных характеристик при подготовке специалистов по аналитическому контролю	180
<i>Пономарев С.В., Мищенко С.В.</i> Практический подход к построению экспериментальной шкалы для измерения потенциала влагопереноса в капиллярно-пористых материалах	186
<i>Фролова М.С., Фролов С.В., Лоскутов С.А., Бакулина В.С., Быкова О.А.</i> Участие студентов в инновационных проектах – основа повышения качества образовательного процесса	191
 Устные доклады	
<i>Глинкин М.Е., Глинкин Е.И.</i> Математическая модель логического устройства при изучении архитектуры теплофизических систем	194
<i>Панорядов В.М.</i> Процессный и системный подходы в организации практики студентов	198
 Стендовые доклады	
<i>Бурова Н.Д., Кудрявцев С.П.</i> Развитие теории теплового излучения Максвеллом Планком	203
<i>Денисов Н.В., Уваров А.М.</i> Новые технологии создания электронных учебных пособий	207
<i>Завьялов А.В.</i> Разработка информационной системы обучения работе на прессах вулканизации	209
<i>Кольцова Л.Н.</i> Применение генераторов в теплофизике	211
<i>Кудрявцев С.П., Переславцев И.С.</i> Роль Дж. Дж. Томсона в развитии физики, метрологии и стандартизации	213
 <i>Поликарпов В.М., Быстрицкий В.С., Головин Ю.М., Холодильник В.Н.</i> Новый оригинальный метод получения и изучения температурных зависимостей с помощью персонального компьютера	217
<i>Соколова Т.С., Иванова Л.Ю.</i> Сопоставительный анализ	

способов аналитического контроля давления	219
<i>Талалева Е.Г., Тарамышева С.А.</i> Повышение качества измерения теплофизических свойств при модернизации микроскопа	221
<i>Чернякова А.А., Пьяных А.Е.</i> Методическое пособие «Измерение давления»	223

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**ТЕПЛОФИЗИКА В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ
И УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ**

МАТЕРИАЛЫ ШЕСТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ

Часть II

Редактор Т.М. Глинкина
Компьютерное макетирование Е.П. Постниковой

Подписано в печать 3.09.2007
Формат 60 × 84 / 16. 13,48 усл. печ. л.
Тираж 400 экз. Заказ № 529

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14