

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ПАЙКИ ВОЛНОВОДНЫХ ТРАКТОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

С. К. Злобин¹, М. М. Михнев¹, В. Д. Лаптенко², Ю. Н. Серегин², А. Н. Бочаров²,
В. С. Тынченко², Ю. П. Дубец², Б. Б. Долгополов³

¹ ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва
Российская Федерация, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52
E-mail: tanat_1_@mail.ru

² Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: ius_bocharov@sibsau.ru

³ ООО «Эком»
Российская Федерация, 660048, г. Красноярск, ул. Брянская, владение 360, стр. 6
E-mail: ekomkras@ya.ru

Представляется автоматизированная технология и специализированное оборудование для индукционной пайки волноводных трактов из алюминиевых сплавов. Оборудование представляет собой индукционный генератор с набором индукторов для различных типоразмеров волноводов, управляемый от промышленного компьютера по информации от пирометров, контролирующей температуру вблизи зоны пайки на каждой из соединяемых деталей. В результате исследований распределения температурных полей в зоне пайки разработаны и оптимизированы конструкции индукторов, позволяющие приблизить зону максимального нагрева к зоне пайки. Определены требования к точности позиционирования волновода в индукторе, обеспечивающие равномерность нагрева деталей и выравнивание их температур. Разработано программное обеспечение автоматизированной системы, позволяющее осуществлять автоматизированную тарировку пирометров, программное управление нагревом деталей и стабилизацию температуры в узком диапазоне выше температуры плавления припоя, но ниже температуры плавления волновода, что позволило автоматизировать процесс пайки, повысить качество волноводов и исключить прожоги. Программный продукт разработан на языке C++ в системе программирования Borland C++ Builder 6.0 с применением объектно ориентированного подхода. Работа с аппаратным обеспечением реализована посредством COM-портов с использованием WinApi, работа с платой PC11710 – посредством сторонней библиотеки bdaqctrl.h, распространяемой бесплатно. Система имеет интуитивно понятный человеко-машинный интерфейс в стиле стандартных Windows-приложений, что позволяет работать с ней неподготовленному пользователю. Видеонаблюдение позволяет осуществлять дистанционное управление процессом и исключить электромагнитное воздействие на оператора. Разработан банк технологических режимов пайки волноводов, имеется возможность регистрации и документирования параметров процесса.

Ключевые слова: автоматизированное управление, волноводный тракт, индукционная пайка, бесконтактное измерение температуры, оптимизация технологии.

AUTOMATED EQUIPMENT AND TECHNOLOGY FOR SPACECRAFTS WAVEGUIDE PATH SOLDERING

S. K. Zlobin¹, M. M. Mikhnev¹, V. D. Laptenok², Yu. N. Seregin², A. N. Bocharov²,
V. S. Tynchenko², Yu. P. Dubets², B. B. Dolgopolov³

¹ JSC “Information satellite systems” named after academician M. F. Reshetnev”
52, Lenin st., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russian Federation
E-mail: tanat_1_@mail.ru

² Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
E-mail: ius_bocharov@sibsau.ru

³ LLC “Ecom”
360, building 6, Bryanskaya st., Krasnoyarsk, Russian Federation
E-mail: ekomkras@ya.ru

Automated technology and specialized equipment for induction soldering of spacecraft aluminum alloy waveguide path are presented. The equipment consists of induction generator and the set of inductors for different sizes of waveguide path. The equipment is controlled from the industrial computer by the information from pyrometers, which control the temperature near soldering zone. As a result of temperature field allocation research, the inductor designs are developed and optimized. This allows closing the maximum heating zone to the zone of soldering. The requirements for waveguide path positioning precision in the inductor are defined, which provides workpiece heating uniformity and its temperature aligning. The automated system software was developed, that provides pyrometers automated calibration, workpiece heating control and temperature stabilization in a narrow temperature range – lower than waveguide path melting and higher than solder melting. The software product is realized on the C++ language in the C++ Builder 6.0 programming system using object-oriented approach. The interface between software and hardware is realized by the COM-ports with WinApi, between software and PCI1710-card – by the third-party library bdaqctrl.h, which is distributed free of charge. The developed software has intuitively understandable man-machine interface in the standard Windows-application style, which allows inexperienced users to work with this system. The usage of this software let us to automate soldering process, to raise the waveguide path quality and to avoid of burnings. The video control provides the process remote control and electromagnetic impact avoidance. Also the bank of waveguide path soldering technological regimes was developed, that provides soldering process registration and documentation.

Keywords: automated control, waveguide path, induction soldering, induction brazing, contactless temperature measuring, technology optimization.

Введение. Тонкостенные трубы прямоугольного сечения из алюминиевых сплавов применяются при изготовлении волноводных трактов в радиотехнических устройствах сантиметрового диапазона. В аэрокосмической промышленности основное целевое назначение волноводных систем состоит в обеспечении функционирования космического аппарата и его бортовой аппаратуры в соответствии с заданной программой, зафиксированной в технологических циклах.

При сборке элементов волноводных трактов из алюминиевых сплавов с улучшенными массогабаритными и электротехническими параметрами в ОАО «ИСС» применяется индукционная пайка [1]. Применение данного способа пайки позволяет получать паяные соединения волноводных труб с толщиной стенки от 0,5 мм с более массивными фланцами (толщиной до 7 мм), муфтами и уголками (рис. 1) [2].

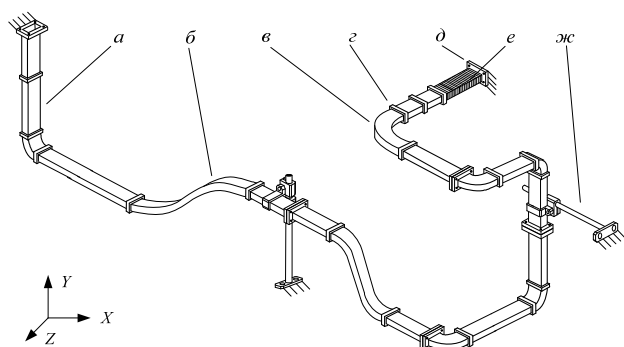


Рис. 1. Пример участка волноводно-распределительной системы: *а* – прямой элемент; *б* – криволинейный элемент с переменным радиусом кривизны; *в* – криволинейный элемент с постоянным радиусом кривизны; *г* – соединительная муфта; *д* – фланец; *е* – гибкая секция; *ж* – промежуточная опора

Однако ряд технологических особенностей, таких как низкая повторяемость неавтоматизированного, ручного процесса пайки, сложность, а порой и невозможность визуального контроля нагрева деталей из алюминиевых сплавов, негативное влияние человече-

ского фактора, поставили вопрос о необходимости модернизации имеющегося оборудования.

Постановка задачи. Индукционная пайка тонкостенных волноводных трактов из алюминиевых сплавов – сложный технологический процесс, обладающий рядом особенностей:

- малая разница температур плавления одного из применяемых силуминовых припоев (СвАК12, Castolin 190, BrazeTec L88/12) и температуры плавления основного материала паяемых волноводных труб, муфт и фланцев (АДЗ1Т1 ГОСТ 4784), при средней скорости индукционного нагрева 10–15 °С/с, требует точной отработки и воспроизведения технологических режимов процесса пайки [3];

- волноводная труба (рис. 1, *а*, *б*) и фланец (рис. 1, *д*) либо муфта (рис. 1, *г*) в процессе нагрева представляют собой две различные системы, и вплоть до момента расплавления припоя между ними практически отсутствует теплопередача за счет теплопроводности, следовательно, нагрев данных элементов происходит независимо друг от друга;

- разнотолщинность паяемых изделий, допуски на размеры применяемых особо тонкостенных волноводных труб (толщина стенок от 0,5 мм) приводят к разности по массе одноименных изделий до 25 % (для волноводных труб);

- применяемые для производства элементов волноводных трактов алюминиевые сплавы практически не изменяют цвет в процессе нагрева, что делает невозможным визуальное контролировать наличие локальных перегревов паяемых изделий и обуславливает применение современных средств пирометрии при отработке и автоматическом воспроизведении режимов пайки;

- из-за некоторых особенностей индукционного нагрева зоны с максимальной плотностью индуцированных вихревых токов, а следовательно, и зоны наибольшего тепловыделения в сечениях паяемых элементов волноводных трактов не совпадают с зонами пайки (рис. 2) [4–7];

– равномерный нагрев паяемых элементов обеспечивается за счет подбора оптимальных технических параметров оборудования, особенно это касается формы индукторов и рабочей частоты и мощности генератора [8; 9].

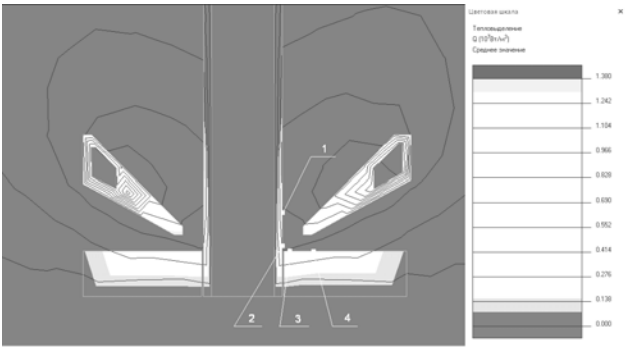


Рис. 2. Нагрев волноводной трубы и фланца. Действующее значение тепловыделения Q (10^7 Вт/м^3): 2, 3 – область пайки; 1, 4 – зоны максимального нагрева. Плотность тока в исследуемых точках : 1 – $5,2 \cdot 10^7 \text{ А/м}^2$; 2 – $4,8 \cdot 10^7 \text{ А/м}^2$; 3 – $4,7 \cdot 10^7 \text{ А/м}^2$; 4 – $5,6 \cdot 10^7 \text{ А/м}^2$

Перечисленные выше факторы значительно усложняют отработку и последующее воспроизведение технологического процесса индукционной пайки, оказывают влияние на стабильность качества выпускаемой продукции, требуют высокой квалификации задействованного в производстве персонала.

Анализ перечисленных выше особенностей индукционной пайки выявил необходимость модернизации и автоматизации используемого оборудования, создания системы программного управления процес-

сом, системы пирометрии и интеграции их в единый комплекс, позволяющий точно воспроизводить и, при необходимости, автоматически вносить корректировки в процесс индукционной пайки элементов волноводных трактов.

В целом, постановка задачи по модернизации оборудования для индукционной пайки тонкостенных волноводных трактов сводится к следующим пунктам:

1. Разработка силовой части оборудования (генератор, согласующее устройство, индуктор), позволяющей выполнять концентрированный нагрев тонкостенных волноводных труб с более массивными фланцами и соединительными муфтами из алюминиевых сплавов.
2. Создание системы бесконтактной пирометрии, позволяющей осуществлять контроль изменения температуры на нагреваемых объектах из алюминиевых сплавов.
3. Создание системы видеонаблюдения, позволяющей осуществлять дистанционное слежение за процессом пайки.
4. Создание программного управления комплексом оборудования, позволяющего осуществлять изменение мощности, подаваемой на индуктор, в зависимости от показаний системы пирометрии (обратная связь по температуре).

Решение задачи. Разработка силовой части оборудования. Созданный комплекс автоматизированного оборудования для индукционной пайки включает в себя силовую часть и стенд управления, позволяющие с необходимой точностью воспроизводить требуемые технологические параметры нагрева. Структурная схема комплекса приведена на рис. 3.

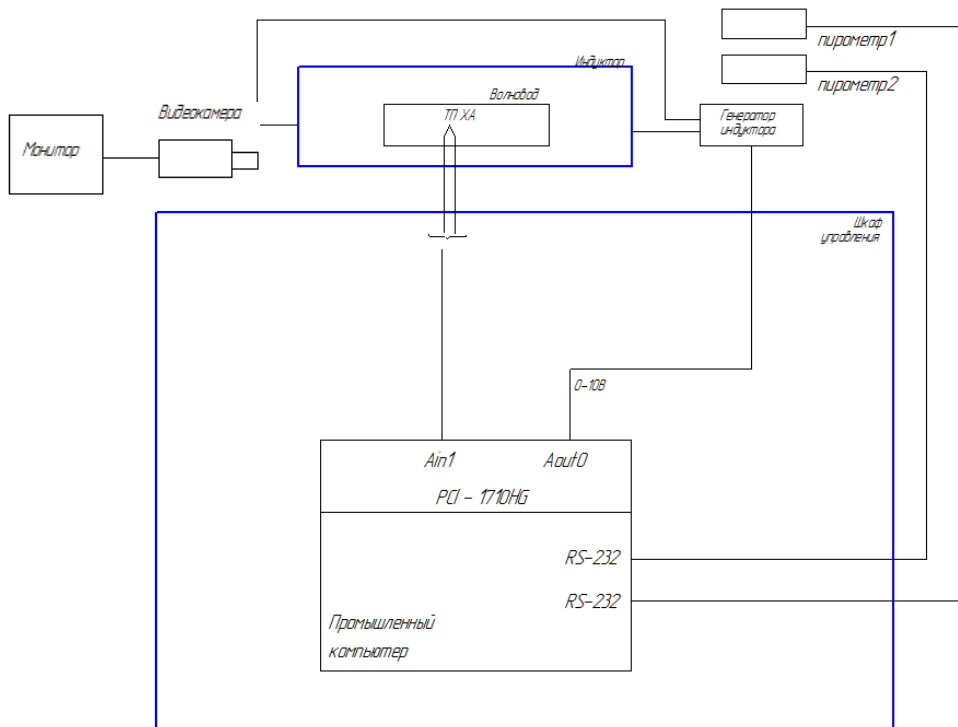


Рис. 3. Структурная схема комплекса автоматизированного оборудования и технологии пайки волноводных трактов с использованием индукционного нагрева

В состав силовой части установки СЧУ-16 входит высокочастотный бестрансформаторный генератор с рабочей частотой 66 КГц (ВБГ-16), модернизированное согласующее устройство СУ(М), комплект индукторов с рабочими окнами различных сечений.

Основу стенда управления составляет промышленный компьютер IPPC-9171G-07BTO, имеющий компактную, помехозащищенную конструкцию, позволяющий использовать для соединения с внешними устройствами ввода/вывода информации интерфейсную плату PCI-1710 и дополнительные разъемы RS-232. Так же компьютер оборудован сенсорным экраном, что делает работу оператора более удобной.

Разработка системы бесконтактной пирометрии и видеонаблюдения. Ранее в ОАО «ИСС», при использовании оборудования без систем обратной связи и бесконтактной пирометрии, сбор данных об изменении температуры в исследуемых областях нагреваемых объектов происходил при помощи термопар ХА [10]. Обработка и отображение данных происходила при помощи блока АСУ установки пайки. Задача отработки технологии сводилась к определению оптимальных режимов пайки:

- величина зазоров h_1 , h_2 , h_3 (рис. 4);
- мощность, подаваемая на индуктор.

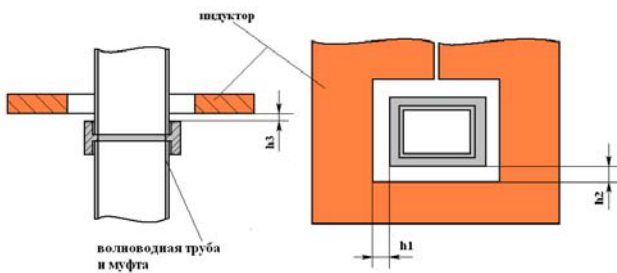


Рис. 4. Технологические зазоры между индуктором и волноводными элементами при пайке

Оптимальным считался такой режим, при котором графики изменения температуры исследуемой области на фланце 2 и графики изменения температуры на трубе 1, контролируемые с помощью термопар, сходные в одной точке, расположенной в области рабочей температуры пайки (577–600 °С) (рис. 5) [11].

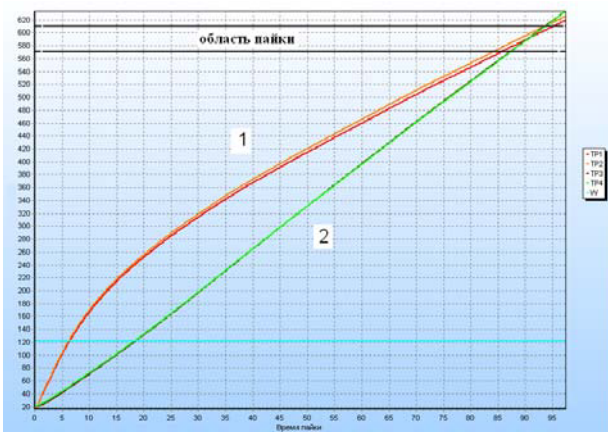


Рис. 5. Графики изменения температуры на нагреваемых волноводных трубе 1 и фланце 2

Применение термопар в процессе пайки волноводов невозможно. Попытки воспроизведения программы управления мощностью нагрева без контроля температуры приводило к отрицательному результату, потому что даже незначительные отклонения по массе паяемых изделий, отклонения от значений определенных технологических зазоров между паяемым изделием и индуктором приводили к выводу точки схождения графиков 1 и 2 из области пайки (рис. 5).

При создании модернизированного комплекса оборудования было принято решение об использовании бесконтактных пирометрических датчиков. При выборе пирометров исходили из следующих условий:

- погрешность контроля температуры не должна превышать 0,5 % от измеряемой величины;
- диаметр контролируемой области не должен превышать 1,5 мм для обеспечения возможности контроля температуры волновода в зазоре индуктор–волновод;
- пирометр должен обладать помехозащищенностью в условиях действия электромагнитных полей, сопутствующих индукционной пайке.

Исходя из перечисленных условий, были выбраны пирометры ASTA250, работающие в требуемом диапазоне температур с погрешностью 0,3 % и диаметром зоны обзора 1 мм на расстоянии 200 мм. Оптическая головка соединена с электронным блоком световолоконным кабелем длиной 3 м, поэтому на пирометр не действуют электромагнитные поля индукционного генератора.

Для тарировки пирометров в состав автоматизированной системы управления введен блок контроля температуры с помощью термопары. В экспериментальный образец из материала волновода в месте контроля температуры зачеканивают термопару. На область контроля вблизи термопары с помощью лазерных указателей наводят пирометры. По программе тарировки пирометров, входящей в состав программного комплекса АСУ «Пайка», управляют процессом нагрева экспериментального образца по каналу Aout 1 и устанавливают коэффициенты пирометров, соответствующие измеренной температуре с помощью термопары. Далее эти коэффициенты фиксируются.

Комплекс автоматизированного оборудования предназначен не только для автоматизации процесса индукционной пайки, но и для выработки оптимальных технологических решений и режимов. Автоматическая регистрация температур, контролируемых пирометрами, позволила осмысленно принимать решения по конструкции индукторов, анализировать распределения температур деталей волноводов в процессе пайки, исследовать режимы нагрева и определять их оптимальные параметры.

При отработке конструкции индукторов использовалось четыре пирометра. Для автоматизации процесса индукционной пайки достаточно два пирометра, один из которых направлен на фланец волновода, а другой на волноводную трубу. При отработке конструкции индукторов важно, чтобы зона максимального нагрева была приближена к зоне пайки, т. е. к месту соединения паяемых деталей. Важно также, чтобы разброс температуры по контуру прямоугольного сечения трубы был минимальным.

Для оценки допустимой погрешности позиционирования волновода в индукторе были проведены экспериментальные исследования влияния градиента температуры в волноводной трубе от смещения волновода относительно индуктора. Экспериментальный график зависимости градиента температуры волноводной трубы от смещения волновода относительно индуктора представлен на рис. 6. Из этого графика следует: чтобы градиент температуры в волноводной трубе не превышал 10 °С, погрешность позиционирования волновода в индукторе не должна превышать 0,3 мм.

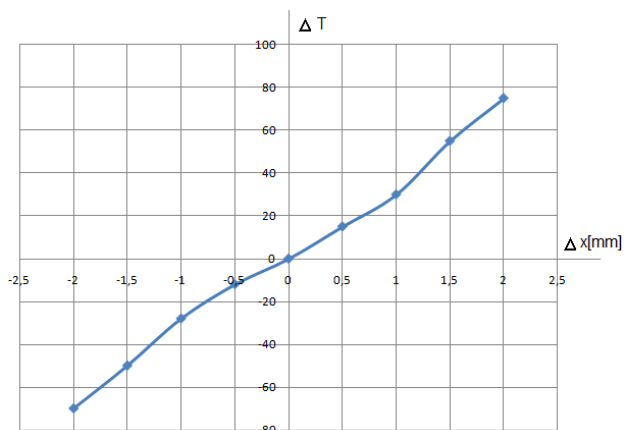


Рис. 6. Зависимость градиента температуры волноводной трубы от смещения волновода относительно индуктора

Поскольку толщина фланца в несколько раз больше толщины трубы, градиент температуры во фланце должен быть незначительным, что и подтверждено экспериментально. Поэтому для автоматизации процесса индукционной пайки достаточно использовать два пирометра, один из которых направлен на волноводную трубу, а другой на фланец. Схема контроля температуры представлена на рис. 7.

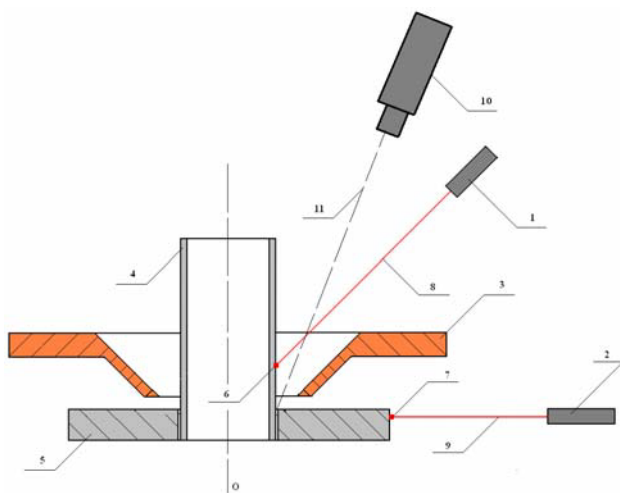


Рис. 7. Схема расположения пирометрических датчиков и видеокамеры: 1 – пирометр для контроля нагрева волноводной трубы; 2 – пирометр для контроля нагрева фланца (муфты); 3 – индуктор; 4 – волноводная труба; 5 – фланец (муфта); 6 – точка контроля нагрева волноводной трубы; 7 – точка контроля нагрева фланца (муфты); 8 – луч пирометра 1; 9 – луч пирометра 2; 10 – видеокамера; 11 – ось видеозахвата

Система видеонаблюдения собрана на базе устройств, выпускаемых фирмами для видеонаблюдения и систем безопасности. Необходимый размер изображения достигается посредством использования длиннофокусного объектива, что позволило разместить видеокамеру в более удобном для эксплуатации месте.

Для подавления в изображении бликового эффекта необходимо, чтобы видеокамера имела возможность работать в расширенном динамическом диапазоне, иметь автоматическое регулирование усиления.

Предложенное устройство и способ видеонаблюдения позволяют расширить технологические возможности оператора. Система видеонаблюдения используется для контроля и управления процессом пайки. Кроме того, систему видеонаблюдения можно использовать при проведении подготовительных работ и настройке установки.

Разработка программного обеспечения стенда управления. Программирование процесса пайки заключается в задании линейного закона нарастания температуры волноводной трубы с последующей стабилизацией её температуры в характерной точке, ниже температуры плавления. Расстояние от индуктора до фланца выбирается таким, чтобы в процессе нагрева при температуре пайки температуры трубы и фланца были близкими. Для каждого типоразмера волновода расстояние от волновода до фланца должно быть фиксированным и устанавливаться с погрешностью, не превышающей 0,3 мм.

Другим технологическим параметром является скорость нарастания температуры. Она не должна быть слишком высокой для выравнивания температур. Минимальное значение скорости нарастания температуры ограничивается временем активности флюса.

Программный продукт, предлагаемый для автоматизации процесса индукционной пайки, представляет собой Windows-приложение, работа которого возможна в операционных системах Windows XP/7/8/8.1 [12].

Программный продукт разработан на языке C++ в системе программирования Borland C++ Builder 6.0 с применением объектно ориентированного подхода [13; 14].

Работа с COM-портами реализована посредством WinApi, работа с платой PCI1710 – посредством сторонней библиотеки bdaqctrl.h, распространяемой бесплатно [15].

В системе реализован один пользовательский класс – класс пирометра Pygo. Данный класс хранит всю информацию о подключении пирометра, а также его параметры.

С использованием данного класса возможно производить: включение лазера пирометра; выключение лазера пирометра; запрос состояния лазера пирометра (0 – выключен, 1 – включен); запрос серийного номера пирометра; запрос минимальной температуры, воспринимаемой пирометром; запрос максимальной температуры, воспринимаемой пирометром; запрос текущей температуры, измеряемой пирометром; запрос коэффициента эмиссии в пирометре; установку коэффициента эмиссии в пирометре; автоматическое вычисление коэффициента эмиссии.

Структурная схема программного продукта представлена на рис. 8.

Проект программной системы состоит из пяти файлов исходного кода:

1) `soldering.cpp` – содержит главную функцию программы `WinMain()`, которая реализует запуск программной системы;

2) `mainform.cpp` – содержит алгоритмы работы главного окна приложения;

3) `pyroform.cpp` – содержит алгоритмы работы формы с информацией о пирометрах;

4) `bdaqctrl.h` – содержит алгоритмы работы интерфейса платы `PCI1710`, по которой осуществляется обработка данных термопар и управление уставкой мощности;

5) `Pyro_class.cpp` – содержит описание класса пирометров `Pyro`, алгоритмы взаимодействия с ними, а также алгоритмы настройки пирометров.

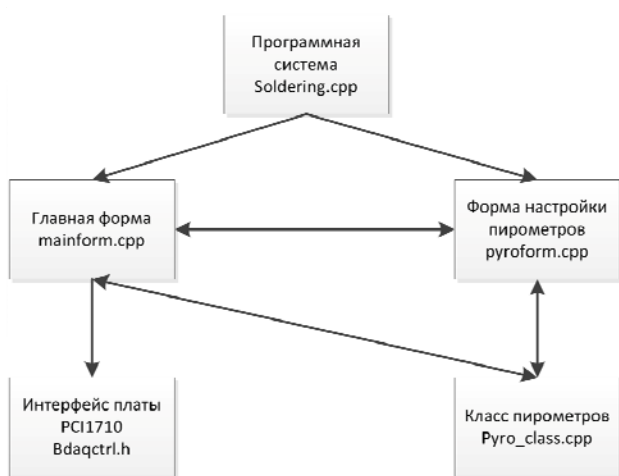


Рис. 8. Схема программного продукта

Запуск программы происходит путем открытия исполняемого файла `soldering.exe`. При запуске программы открывается главное окно системы, изображенное на рис. 9.

В данном окне пользователю предоставлен ряд возможностей.

Во-первых, это просмотр графика температуры изделия с двух пирометров:

– первый пирометр – «Низ фланца / муфта», направлен при пайке фланцев на фланец снизу, а при пайке муфтовых соединений – на муфту сбоку; данный пирометр подключен к порту `SOM2` компьютера;

– второй пирометр – «Верх трубы», направлен на выступающую часть трубы над фланцем/муфтой; данный пирометр подключен к порту `SOM4` компьютера.

График имеет возможность масштабирования – при зажатии левой кнопки мыши и выделении фрагмента графика слева направо и сверху вниз. Для возврата графика к первоначальному масштабу необходимо выделить фрагмент справа налево и снизу вверх.

Также в окне имеется ряд управляющих элементов, сгруппированных по функционалу. Они выделены на рис. 9 рамками и отмечены цифрами 1 и 2. Первая группа – элементы управления параметрами пайки.

Здесь представлены следующие элементы: максимальная мощность в процентах от общей мощности генератора; скорость нагрева заготовки в градусах Цельсия в секунду; время стабилизации в секундах – время выдержки заготовки в расплавленном состоянии припоя; температура стабилизации в градусах Цельсия – температура, при которой происходит расплав припоя.

Вторая группа – кнопки управления лазерами пирометров. Здесь представлены следующие элементы: кнопка «Включить лазеры» – включает лазеры всех пирометров; кнопка «Выключить лазеры» – выключает лазеры всех пирометров.

Кроме описанных выше элементов управления дополнительно предусмотрены следующие:

1. Кнопка «Выход» в левой части окна – производит завершение программы. Данная кнопка является альтернативой стандартному способу завершения `Windows`-приложения. При выходе из программы происходит сброс мощности индуктора в ноль.

2. Кнопка «ПУСК ПРОЦЕССА» в левой нижней части окна – запускает процесс пайки.

3. Кнопка «СТОП» – используется для экстренного завершения процесса пайки.

Сам процесс пайки можно разделить условно на четыре этапа:

1. Перед основным процессом пайки производится предварительный прогрев спаиваемых деталей волновода для испарения жидкости, содержащейся во флюсе. Этот процесс непродолжительный – занимает 10 с. В течение этого времени спаиваемые детали прогреваются на небольшой мощности индуктора – около 2 кВт. Затем в течение еще 10 с детали остывают для более равномерного распределения температурного поля.

2. Первая часть основного этапа пайки – это нагрев заготовок до 300 °С, так как пирометры имеют диапазон измеряемых температур 300–1800 градусов. На этом этапе происходит нагрев заготовок на максимальной мощности индуктора – 12 кВт.

3. При превышении температуры спаиваемых деталей 300 °С запускается подпрограмма контроля нагрева, которая автоматически корректирует используемую мощность индуктора для выдержки заранее заданной скорости.

4. На последнем этапе при достижении заданной температуры стабилизации система выдерживает спаиваемые детали на достигнутой температуре в течение заданного оператором времени и выключает процесс пайки.

Кроме основного функционала по спаиванию заготовок в программной системе предусмотрена возможность просмотра информации о пирометрах, а также их настройки (рис. 10).

При нажатии на кнопку «Настроить автоматически» начинается процесс подбора коэффициента излучательной способности материала на соответствующем пирометре, блок-схема которого представлена на рис. 11.

Данный процесс требует подключения хотя бы одной термопары к системе. Среднее время автоматической настройки варьируется от 40 до 50 с.

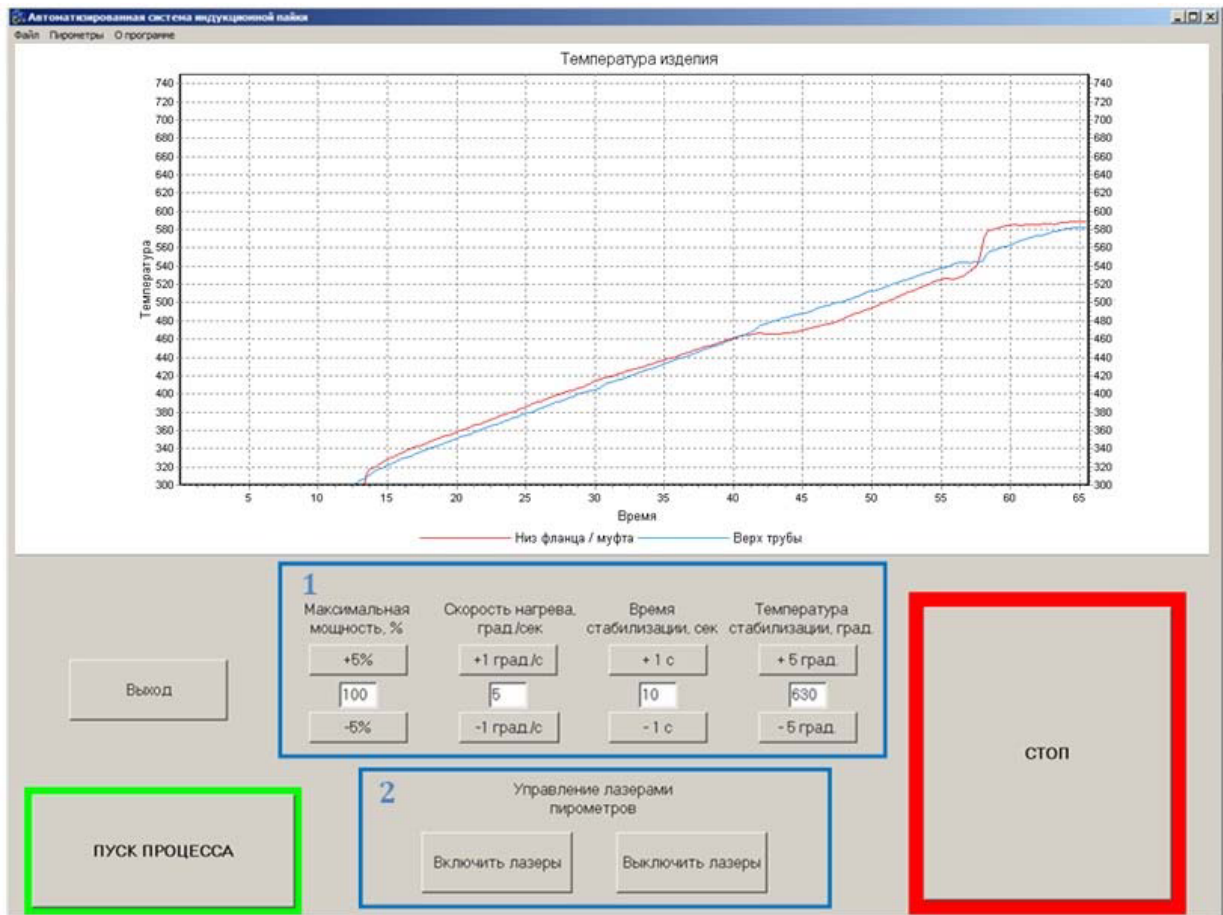


Рис. 9. Главное окно программной системы

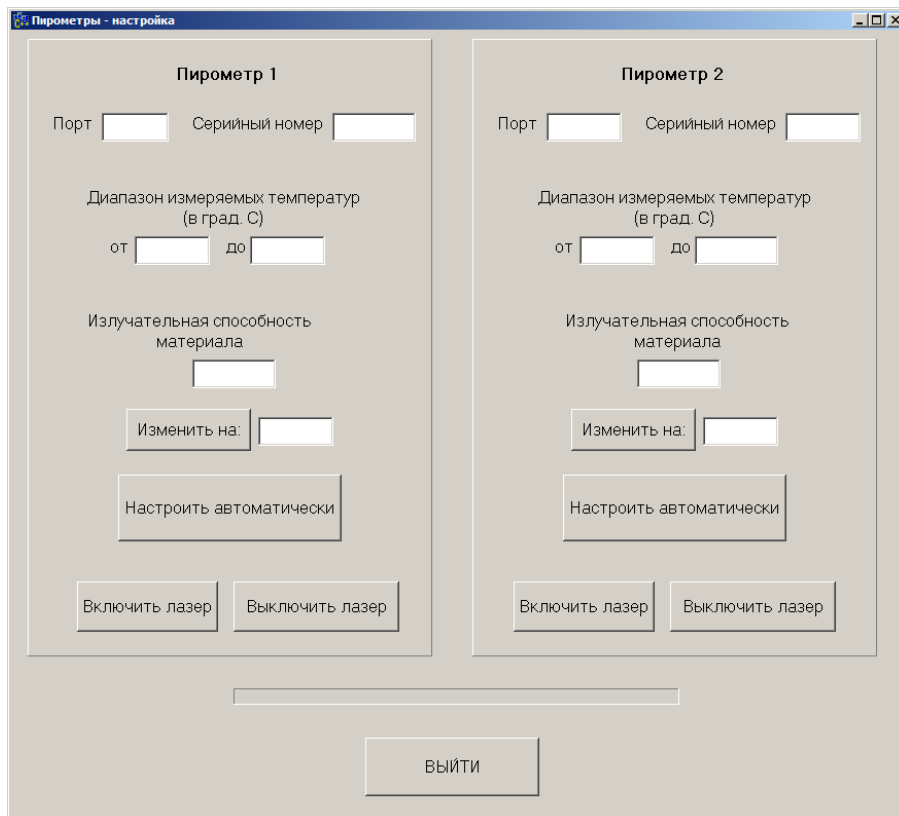


Рис. 10. Окно информации о пирометрах



Рис. 11. Блок-схема вывода алгоритма подбора коэффициента излучательной способности материала на пирометре (начало)

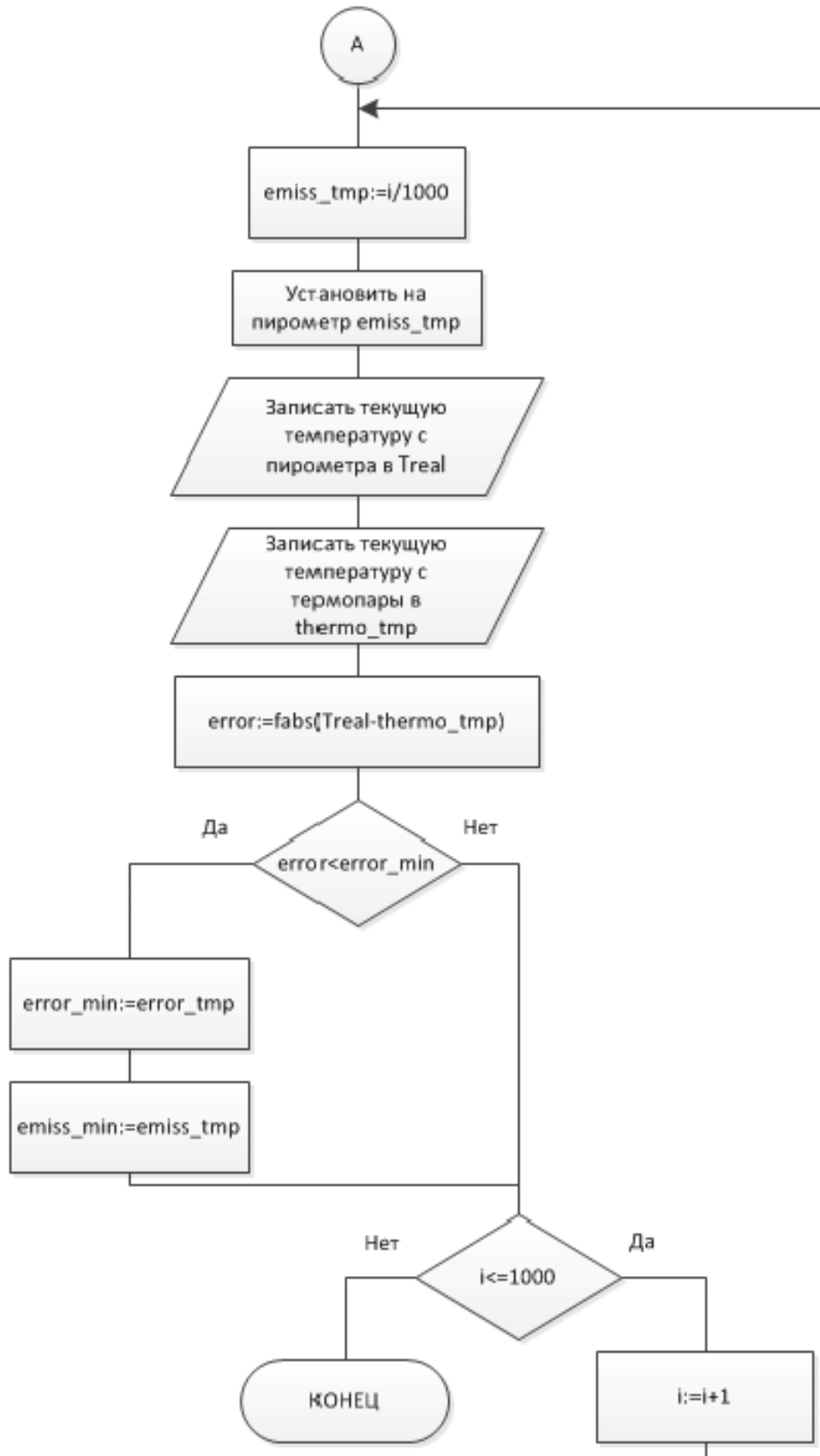


Рис. 11. Окончание

Программное обеспечение в составе автоматизированной системы управления позволяет автоматизировать процесс индукционной пайки в заданных интервалах температур нагрева. На рис. 9 представлены реальные графики нагрева деталей в процессе пайки.

Заключение. В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Предложена новая структура автоматизированной системы, позволившая осуществить программное управление индукционным нагревом элементов волноводных трактов с обратной связью по температуре, реализуемой с помощью пирометрии, обеспечивающая требуемую воспроизводимость режима в условиях многообразия конструкций элементов и их разброса по массе.

2. Разработаны конструкции индукторов, позволяющие приблизить зоны максимального нагрева деталей к зоне пайки и выровнять температуры нагрева по контуру за счет точного позиционирования волновода в индукторе.

3. Автоматизированная технология и оборудование позволили повысить качество волноводных трактов, снизить влияние человеческого фактора и улучшить условия работы персонала.

Оборудование испытано и используется в производстве ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева».

Библиографические ссылки

1. Пат. 2317184 Российская Федерация. Способ изготовления волноводно-распределительных систем из алюминиевых сплавов / Сильченко П. Н., Корчагин А. И., Михнев М. М., Чупилко В. Д., Липин А. Н., Гусев В. Ю.; заявитель и патентообладатель ФГУП «НПО ПМ им. М. Ф. Решетнева». № 2005133293/02; заявл. 28.10.2005; опубл. 20.02.2008, Бюл. № 5.

2. Злобин С. К. Пайка тонкостенных волноводных трактов из сплавов на основе алюминия с использованием индукционного нагрева // Решетневские чтения : материалы XIV Междунар. науч. конф. В 2 ч. Ч. 1. Красноярск, 2010.

3. Особенности производства волноводно-распределительных трактов антенно-фидерных устройств космических аппаратов / В. Д. Лаптенко [и др.] // Вестник СибГАУ. 2013. Вып. 6 (52). С. 196–201.

4. Особенности пайки элементов волноводно-распределительных трактов из алюминиевых сплавов с применением источника индукционного нагрева / С. К. Злобин, М. М. Михнев, В. Д. Лаптенко, Р. В. Зайцев // Решетневские чтения : материалы XVI Междунар. науч. конф. В 2 ч. Ч. 1. / СибГАУ. Красноярск, 2012.

5. Злобин С. К. Применение индукционного нагрева при пайке элементов волноводно-распределительных трактов из алюминиевых сплавов // Решетневские чтения : материалы XVII Междунар. науч. конф. / СибГАУ. Красноярск, 2013.

6. Вологдин В. В., Куш Э. В., Асамов В. В. Индукционная пайка. Л. : Машиностроение, 1989. 72 с.

7. Слухоцкий А. Е. Индукторы. Л. : Машиностроение, 1989. 69 с.

8. Слухоцкий А. Е., Рыскин С. Е. Индукторы для индукционного нагрева. Л. : Энергия, 1974. 264 с.

9. Альтгаузен А. П., Смелянский М. Я., Шевцов М. С. Электротермическое оборудование : справочник. М. : Энергия, 1967. 448 с.

10. Способы определения технологических параметров процесса индукционной пайки элементов волноводно-распределительных трактов из алюминиевых сплавов / С. К. Злобин, В. Д. Лаптенко, М. М. Михнев, Р. В. Зайцев // Навигационные спутниковые системы, их роль и значение в жизни современного человека : материалы II Междунар. науч.-техн. конф. Железнодорожков, 2012.

11. Лаптенко В. Д., Долгополов Б. Б., Бочаров А. Н. Методика отладки технологического процесса пайки волноводных трактов. Красноярск, 2009.

12. Лафоре Р. Объектно ориентированное программирование в С++ : учебник. СПб. : Питер, 2011. 928 с.

13. Архангельский А. Я. Язык С++ в С++ Builder : учебник. М. : Бином-Пресс, 2008. 944 с.

14. Архангельский А. Я. Приемы программирования в С++ Builder 6 и 2006. Механизмы Windows, сети : учебник. М. : Бином-Пресс, 2010. 992 с.

15. Агуров П. В. Последовательные интерфейсы ПК. Практика программирования : учебник. СПб. : БВХ-Петербург, 2005. 482 с.

References

1. Silchenko P. N. et al. *Sposob izgotovleniya volnovodno-raspredelitelnykh sistem iz alyuminiyevykh splavov*. [Aluminum alloy waveguide path systems manufacturing method]. Patent RF, no. 2317184, 2008.

2. Zlobin S. K. [Aluminum-based alloy waveguide paths soldering using the induction heating]. *Reshetnevskiy chteniya : materialy XIV mezhdunar. nauch. konf. v 2 ch.* [Reshetnev readings: Proceedings of the XIV Intern. Scien. Conf.]. Krasoyarsk, 2010. Part 1 (In Russ.).

3. Laptenok V. D., Zlobin S. K., Mikhnev M. M., Bocharov A. N., Dolgopolov B. B. [The particularity of antenna-feeder unit waveguide paths production]. *Vestnik SibGAU*. 2013, No. 6(52), P. 196–201 (In Russ.).

4. Zlobin S. K., Laptenok V. D., Mikhnev M. M., Zaycev R. V. [The particularity of aluminum alloy waveguide paths soldering with inductive heating source]. *Reshetnevskiy chteniya : materialy XVI mezhdunar. nauch. konf. v 2 ch.* [Reshetnev readings: Proceedings of the XVI Intern. Scien. Conf.]. Krasoyarsk, 2012. Part 1. (In Russ.).

5. Zlobin S. K. [The induction heating usage for aluminum alloy waveguide paths soldering]. *Reshetnevskiy chteniya : materialy XVII mezhdunar. nauch. konf. v 2 ch.* [Reshetnev readings: Proceedings of the XVII Intern. Scien. Conf.]. Krasoyarsk, 2013 (In Russ.).

6. Vologdin V. V., Kusch E. V., Asamov V. V. *Induktsionnaya paika* [Induction soldering]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1989, 72 p.
7. Sluhotsky A. E. *Induktory* [Inductros]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1989, 69 p.
8. Sluhotsky A. E., Ryskin S. E. *Induktory dlya induktsionnogo nagreva* [The inductors for induction heating]. Leningrad, Energiya Publ., 1974, 264 p.
9. Altgauzen A. P., Smelyansky M. Ya., Shevtsov M. S. *Elektrotermicheskoe oborudovanie. Spravochnik* [Electrothermic equipment. Reference]. Moscow, Energiya Publ., 1967, 448 p.
10. Zlobin S. K., Laptенок V. D., Mikhnev M. M., Zaycev R. V. [The definition methods of aluminum alloy waveguide paths induction soldering technological parameters]. *Materialy 2 mezhdunarodnoy nauch-tehn. konfer. "Navigatsionnye sputnikovye sistemy, ikh rol' i znachenie v zhizni sovremennogo cheloveka"*. [Proceedings of the II International. scientific and engineering. Conf. "The navigation satellite systems, their role and importance in the life of modern man."], Zheleznogorsk, 2012 (In Russ.).
11. Laptенок V. D., Dolgopолов B. B., Bocharov A. N. *Metodika otladki tekhnologicheskogo protsessa paiki volnovodnykh traktov* [The method of waveguide paths soldering technological process debug]. Krasnoyarsk, 2009.
12. Lafore R. *Objektno-orientirovannoye programmirovaniye v C++: uchebnik* [Object-oriented programming in C++]. St. Petersburg, Piter Publ., 2011, 928 p.
13. Arkhangelsky A. Ya. *Yazyk C++ v C++ Builder: uchebnik* [C++ Language in C++ Builder]. Moscow, Binom-Press Publ., 2008, 944 p.
14. Arkhangelsky A. Ya. *Priemy programmirovaniya v C++ Builder 6 i 2006. Mekhanizmy Windows, seti: uchebnik* [The programming technique in C++ Builder 6 and 2006. Windows mechanisms, networks]. Moscow, Binom-Press Publ., 2010, 992 p.
15. Agurov P. V. *Posledovatel'nye interfeisy PK. Praktika programmirovaniya : uchebnik* [PC serial interfaces. Programming practice]. St. Petersburg, BVH-Petersbourgh Publ., 2005, 482 p.

© Злобин С. К., Михнев М. М., Лаптенко В. Д., Серегин Ю. Н.,
Бочаров А. Н., Тынченко В. С., Дубец Ю. П., Долгополов Б. Б., 2014