

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет компьютерного проектирования

Кафедра электронной техники и технологии

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

*Рекомендовано УМО по образованию в области
информатики и радиоэлектроники в качестве пособия для специальности
1-36 04 01 «Программно-управляемые электронно-оптические системы»*

Минск БГУИР 2018

УДК 681.7:681.511(076.5)
ББК 32.86-5я73+32.965я73
С40

А в т о р ы:

С. М. Аваков, В. П. Огер, О. В. Гуревич, А. А. Костюкевич

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра робототехнических систем Белорусского национального
технического университета (протокол №4 от 15.12.2016);

заведующий кафедрой метрологии и энергетики филиала Белорусского
национального технического университета «Институт повышения
квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития
техники, технологии и экономики БНТУ», кандидат технических наук,
доцент А. А. Новиков

Системы управления электронно-оптическими комплексами. Лабо-
С40 **раторный практикум : пособие / С. М. Аваков [и др.]. – Минск : БГУИР,**
2018. – 76 с. : ил.
ISBN 978-985-543-389-8.

Пособие содержит лабораторные работы по ознакомлению с базовыми компонентами структуры систем управления электронно-оптическими комплексами на базе спецтехнологического оборудования ремонта топологии промежуточного оригинала (ПО) интегральных схем, программированию работы установки по ремонту ПО, выполнению ремонта ПО, исследованию динамических параметров механизмов координатных осей координатной системы установок, калибровке шага сетки дискретности координатной оси, исследованию статического усилия на базе линейных шаговых двигателей с электромагнитной системой реактивного типа.

Предназначено для закрепления и углубления теоретических знаний, приобретения практических навыков работы при эксплуатации спецтехнологического оборудования для производства изделий микроэлектроники в рамках филиала кафедры электронной техники и технологии на НПО «Планар».

УДК 681.7:681.511(076.5)
ББК 32.86-5я73+32.965я73

ISBN 978-985-543-389-8

© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1

РЕМОНТ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ОРИГИНАЛОВ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО
РИСУНКА ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ.....4

Лабораторная работа №2

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНОГО
ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ32

Лабораторная работа №3

КАЛИБРОВКА ШАГА СЕТКИ ДИСКРЕТНОСТИ КООРДИНАТНОЙ
СИСТЕМЫ.....47

Лабораторная работа №4

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОГО ТЯГОВОГО УСИЛИЯ ЛИНЕЙНОГО
ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ63

Приложение

УПРАВЛЯЮЩИЕ ОКНА ПРОГРАММЫ ИЗМЕРЕНИЙ ЭВМ
HP5529A METROLOGY71

Литература75

Лабораторная работа №1

РЕМОНТ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ОРИГИНАЛОВ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО РИСУНКА ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ

Цель работы: освоение работы основного обслуживающего персонала по программированию и оперативному управлению спецтехнологическим оборудованием при коррекции топологического рисунка интегральной схемы (ИС) на промежуточном оригинале (ПО); изучение технических характеристик технологических установок и структуры системы управления спецтехнологической установки по конструкторской документации (КД); выполнение ремонта топологии ПО.

1.1. Теоретические сведения

При производстве современных ИС необходимо создавать промежуточные оригиналы топологического рисунка ИС большой сложности. Процесс генерации топологии ИС на ПО занимает длительный промежуток времени, в течение которого в генераторе изображений могут происходить сбои в работе координатной системы, изменение линейных размеров координатных осей, светочувствительное покрытие подложки ПО может изменять свои параметры либо содержать дефектные области, на поверхность ПО или шторок фотонаборного механизма могут попадать пылевые частицы. Это приводит к искажению топологии ИС на ПО, т. е. к дефектам. Дефекты топологии ИС могут возникать при последующей химической обработке ПО. При переходе к нанометрическому диапазону размеров элементов топологического рисунка ИС производство бездефектных ПО становится невозможным. Возникает задача устранения дефектов, действие которых может проявиться на последующих стадиях технологического процесса производства электронного элемента.

Для устранения дефектов топологии ИС на ПО отечественная промышленность выпускает для оснащения предприятий, производящих изделия микроэлектроники, технологическое оборудование коррекции топологии ИС на ПО. Это установки ремонта ПО ЭМ-5131 и ЭМ-5141. Принципы работы установок аналогичны. Они отличаются техническими параметрами.

1.2. Описание и работа установки

1.2.1. Назначение установки

Установка ЭМ-5131 предназначена для ремонта ПО топологического рисунка ИС на металлизированных подложках. Размеры обрабатываемых ПО: 127×127; 153×153; 178×178 мм. Для размещения установки на месте эксплуатации требуется площадь не менее 15 м².

Номинальные значения климатических факторов для эксплуатации установки в рабочем состоянии:

- помещение класса 5 ИСО по ГОСТ ИСО 14644–1;
- концентрация частиц размером от 0,1 до 5 мкм – не более 10⁵ частиц/м³;
- диапазон температуры от 293 до 297 К (от 10 до 24 °С);
- погрешность поддержания температуры ± 1 °С/ч;
- относительная влажность – (50 ±10) %;

Наличие агрессивных газов и паров кислот в помещении недопустимо.

Предельные значения отклонений амплитуды виброперемещений основания, на котором смонтировано устройство оптико-механическое (далее ОМУ), в процессе эксплуатации установки не должны превышать:

- 2 мкм – при частоте до 7 Гц включительно;
- 0,5 мкм – при частоте свыше 7 до 150 Гц включительно.

Питание установки осуществляется от однофазной трехпроводной сети напряжением (230 ± 23) В и частотой 50 Гц. Требования к качеству электрической энергии – по ГОСТ 13109–97.

Для эксплуатации установки требуется:

а) подача в установку сжатого воздуха под давлением 0,4 МПа 1-го класса загрязненности по ГОСТ 17433–80. Температура сжатого воздуха не должна отличаться от температуры воздуха в помещении более чем на 2°. Расход сжатого воздуха не более 3 м³/ч;

К сжатому воздуху предъявляются следующие требования:

- содержание твердых частиц размером не более 5 мкм не должно превышать 1 мг/ м³;
- вода и масло в жидком состоянии не допускаются;
- температура точки росы сжатого воздуха должна быть ниже минимальной температуры не менее чем на 10 °С; кроме того, точка росы не должна быть выше 10 °С.

б) подача азота чистотой 99,999 газообразного первого сорта под давлением 0,2 МПа по ГОСТ 92293–74. Расход азота не более 1 м³/ч;

в) подсоединение установки к вакуумной магистрали с остаточным давлением 0,06–0,07 МПа;

г) подсоединение установки к вытяжной магистрали с объемным расходом не менее 320 м³/ч.

Установка не предназначена для эксплуатации во взрывоопасных и пожароопасных зонах по «Правилам устройств электроустановок» (ПУЭ).

1.2.2. Технические характеристики

Массогабаритные размеры основных составных частей установки представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Массогабаритные размеры основных составных частей установки

Обозначение составной части	Наименование составной части	Габаритные размеры, мм, не более			Масса, кг, не более
		длина	ширина	высота	
БРАС.203331.058	Устройство оптико-механическое	1120	2200	1650	1650
БРАС.468213.048	Комплекс управляющий	745	2010	1755	210
БРАС.468312.082	Блок ввода сетевой	155	255	305	11

Общая структура установки представлена на рис. 1.1.

Масса установки не более 2000 кг. Установка обеспечивает непрерывную работу в течение не менее 16 ч. Электрическая мощность, потребляемая при работе установки, не более 5 кВт без учета мощности, потребляемой лазером RYF-1/5FH. Установка позволяет производить ретушь непрозрачных дефектов топологии ИС ПО и устранение прозрачных дефектов в покрытии ПО. Минимальный размер ремонтируемого непрозрачного дефекта участка покрытия – 0,2 мкм.

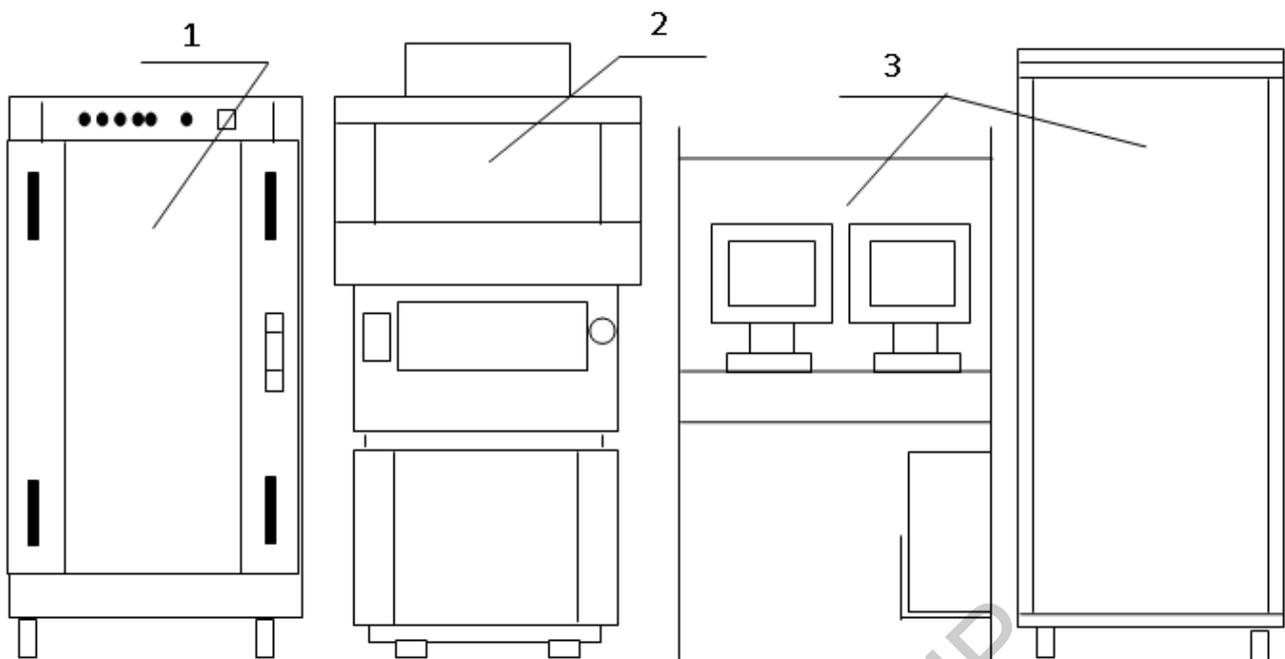


Рис. 1.1. Общая структура установки:

1 – стойка питания лазеров; 2 – устройство оптико-механическое;
3 – комплекс управляющий

Минимальный размер ремонтируемого прозрачного дефекта участка покрытия – 0,2 мкм. Ремонт прозрачного дефекта размером от 0,2 до 3 мкм включительно производится нанесением маскирующего покрытия большего размера с последующей подрезкой до номинального значения. Допускаются скругления углов радиусом, равным $1/3$ размера дефекта.

Дискретность задания размеров ремонтируемого участка покрытия не более 0,1 мкм по обеим координатным осям диафрагмы.

Диапазон разворота диафрагмы находится в пределах интервала $0-90^\circ$. Погрешность разворота диафрагмы – не более $\pm 30'$. Погрешность наведения луча лазера – не более 0,1 мкм. Погрешность выхода в заданную зону дефекта – не более 1 мкм.

1.2.3. Устройство установки и основные принципы работы

В основе работы установки используются два метода устранения дефектов покрытия ПО в зависимости от их типа:

- непрозрачные дефекты устраняются путем испарения покрытия ПО сфокусированным излучением лазера RYF-1/5FH, работающего в импульсном периодическом режиме;

- ремонт прозрачных дефектов выполняется путем лазерно-химического осаждения металлоорганического соединения в зоне сфокусированного излучения непрерывного аргонового лазера Sapphire 488-500.

Выход в зону дефекта осуществляется автоматически по информации, получаемой от установок контроля топологии ИС ПО. Данная информация (файл-ведомость дефектов) содержит: координаты привязки каждого дефекта, размеры проекций дефектов на координатные оси X и Y , номер и тип дефекта. Информация о дефектах может передаваться как по последовательному интерфейсу типа Ethernet, так и с помощью любого носителя информации. Также данная информация может вводиться оператором в виде координат дефектов либо получаться в режиме поиска дефектов.

Установка включает следующие функциональные системы:

- управления линейными шаговыми двигателями, обеспечивающую режим работы привода двухосевой каретки: позиционирование, разгон, движение с заданной скоростью, торможение;

- измерения координат, обеспечивающую непрерывное измерение положения каретки с ПО;

- автофокусировки, обеспечивающую резкое изображение топологии ПО как в ручном, так и в автоматическом режиме работы;

- питания и управления лазерами;

- контроля мощности лазеров;

- общего управления, реализованную программно-аппаратными средствами и обеспечивающую взаимодействие отдельных систем в соответствии с алгоритмом работы для заданного режима;

- управления приводами, реализованную на базе одноплатной ЭВМ. Она обеспечивает различные режимы работы приводов каретки и ориентации, а также осуществляет управление электропневмоклапанами, фотонаборным механизмом, револьверной головкой (смена объективов), механизмами ввода/вывода (зеркала, фильтра, линзы канала осаждения), механизмом перемещения оптических клиньев и механизмов датчика фокусировки (изменения положения линзы).

ОМУ предназначено для выполнения следующих функций:

- полуавтоматической загрузки (разгрузки) ПО на предметный столик;

- наблюдения топологии и точного перемещения по координатным осям X , Y , Z ;

- формирования и наведения лазерного луча на дефект;

- подготовки газовой смеси, используемой при ремонте прозрачных дефектов.

Комплекс управляющий (далее КУ) предназначен:

- для управления работой всеми механизмами установки;
- для наладки механизмов;
- для проверки работоспособности установки.

Блок ввода сетевой (далее БВС) предназначен:

- для включения КУ и стойки питания и управления лазера (далее СПЛ);
- для аварийного отключения КУ и СПЛ.

Перечень органов управления установки, выведенных на лицевые панели ее составных частей и пульта оператора, представлен в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Органы управления установкой

Обозначение	Наименование
1	2
РЕЖИМ	Кнопка выбора режима
УПРАВЛ.	Кнопка управления
ПУСК	Кнопка включения излучения
Джойстик	Перемещение ПО
ВКЛ/ВЫКЛ ОМУ	Кнопки включения/выключения ОМУ
ВКЛ/ ВЫКЛ УПРАВЛЕНИЕ	Кнопки включения/выключения устройства управления
ВКЛ/ВЫКЛ ПРИВОД	Кнопки включения/выключения привода
СЕТЬ	Переключатель подачи напряжения сети на БВС
ВКЛ	Кнопка подачи напряжения сети на установку
СТОП	Кнопка аварийного отключения
POWER I/O	Сетевой тумблер всей стойки питания и управления лазера RYF-1/5FH
Output On/Off	Кнопка включения/выключения блоков питания лазера RYF-1/5FH
I/O	Кнопки включения/выключения отдельных блоков лазера RYF-1/5FH
Энкодер	Ручки управления/кнопки для навигации по меню на LCD-экране лазера RYF-1/5FH

1	2
LD On/Off	Кнопка включения/выключения блока питания лазерного диода накачки усилителя лазера RYF-1/5FH
MAIN POWER I/O	Переключатель включения/выключения лазера Sapphire 488-500
STANDBY/ON	Ключ включения/выключения контроллера лазера Sapphire 488-500
POWER	Ручка управления мощностью лазера Sapphire 488-500

1.2.4. Описание и работа составных частей установки

Оптико-механическое устройство (рис. 1.2), предназначенное для наблюдения топологии ПО, формирования лазерного луча и наведения его на дефектное место, состоит из следующих частей:

- тумба 1;
- устройство фокусировки 2;
- корпус основной 3;
- блок оптический 4.

ОМУ опирается на четыре регулируемые по высоте опоры с целью выставления его по уровню. Для перемещения ОМУ в конструкции предусмотрены четыре роликовые опоры.

Корпус основной 3, жестко соединенный с устройством фокусировки 2 и блоком оптическим 4, установлен на тумбу 1 с виброгасящими подушками. В нижней части тумбы расположены блок пневмооборудования и панель коммутационная.

Панель коммутационная предназначена для соединения составных частей ОМУ и КУ посредством кабелей.

Блок оптический состоит из следующих основных узлов:

- камера сублимирования БРАС.681818.017;
- осветитель метки БРАС.203711.129;
- диафрагма БРАС.303733.056;
- датчик фокусировки БРАС.203352.003.

Диафрагма предназначена для формирования наборного элемента прямоугольной формы заданных размеров и ориентации его по заданному углу поворота от 0 до 90°. Диафрагма состоит из двух пар кареток, каждая из которых имеет рабочую кромку, и механизма поворота диафрагмы. Изменение зазора

между каждой парой кромок осуществляется эксцентриками. Вращение эксцентриков осуществляется шаговыми двигателями, поворот диафрагмы производится червячным редуктором.

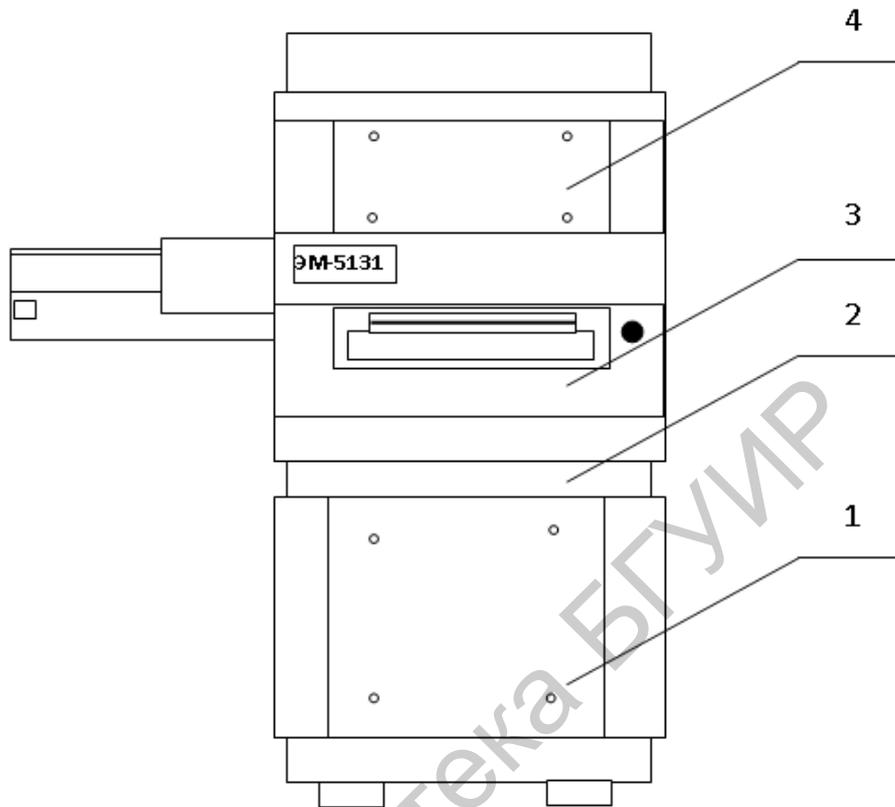


Рис. 1.2. Структура ОМУ

Координатно-измерительная система (КС) предназначена для прецизионного перемещения контролируемого ПО по координатным осям X , Y в плоскости резкого изображения объектива. При всех перемещениях сохраняется угловое положение объектива относительно осей X , Y . КС состоит из следующих составных частей:

- координатного стола;
- подсистемы управления координатным столом;
- управляющей ЭВМ.

Координатный стол является составной частью ОМУ и содержит:

- статор;
- каретку;
- интерферометрическую измерительную систему (ИИС).

Статор является составной частью развернутого шагового двигателя, конструктивно выполнен в виде плоской габбродиабазовой плиты, на поверхности которой наклеен лист электротехнической стали с нарезанной зубцовой поверхностью. Неплоскостность статора приводит к появлению ошибок при изменении координат. В связи с этим величина неплоскостности статора не превышает 15 мкм на всем рабочем поле.

Статор совместно с кареткой образует развернутый шаговый двигатель, на каретке которого закрепляется ПО. ИИС обеспечивает измерение пространственного положения каретки относительно оси проекционного объектива и тем самым замыкает контур управления шаговым приводом.

Каретка двухосевая предназначена для закрепления и перемещения ПО по координатным осям X , Y относительно оси проекционного объектива. Каретка состоит из следующих составных частей:

- индуктора;
- механизма закрепления ПО;
- ситалловой плиты, на которой закреплены два зеркала;
- привода ориентации.

Каретка является составной частью шагового двигателя и представляет собой алюминиевую плиту с вклеенными электромагнитами и нарезанной зубцовой поверхностью на полюсах магнитопроводов.

Механизм закрепления ПО позволяет крепить на рамке с помощью сменных планок ПО трех типоразмеров 178×178, 153×153 и 127×127 мм. Механизм закрепления ПО приводом ориентации поворачивается вокруг своей оси и ориентирует топологию ПО относительно осей координатной системы. Фиксация механизма закрепления ПО после ориентации осуществляется с помощью вакуума.

Плоская ситалловая плита крепится на каретке и служит стабильной базой закрепления зеркал. Зеркала предварительно выставляются параллельно направлениям координатных осей и взаимно перпендикулярно друг другу с целью снижения косинусной ошибки при измерениях координат рабочих объектов. Зеркала являются составной частью интерферометрических датчиков линейных перемещений и обеспечивают контроль положения каретки на поле 178×178 мм.

ИИС построена на базе He-Ne непрерывного двухстворчатого лазера 5517-003 фирмы «Agilent Technologies» и предназначена для получения первичной информации о пространственном положении ПО на координатном сто-

ле по трем осям X , Y и A (отклонение от курса). Система координат привязана к оптической оси объектива.

На рис. 1.3 показана ИИС, в состав которой входят:

- лазер 1;
- светоделительное и поворотное зеркала 2, 3;
- два плоскозеркальных дифференциальных интерферометра – двухосевой и одноосевой 4, 9;
- координатный стол 5;
- промежуточный оригинал шаблона 6;
- два плоских зеркала (в составе кареток) – измерительный канал 8;
- зеркальный ситалловый моноблочный уголкового отражатель, привязанный к положению оптической оси рабочего объектива – опорный канал 7;
- три фотоприемника 10.

Устройство фокусировки предназначено для съема ПО с лапы загрузчика и доставки его в зону резкого изображения топологии, которая находится с помощью датчика фокусировки посредством вертикального перемещения статора, а также для укладки ПО на лапу загрузчика.

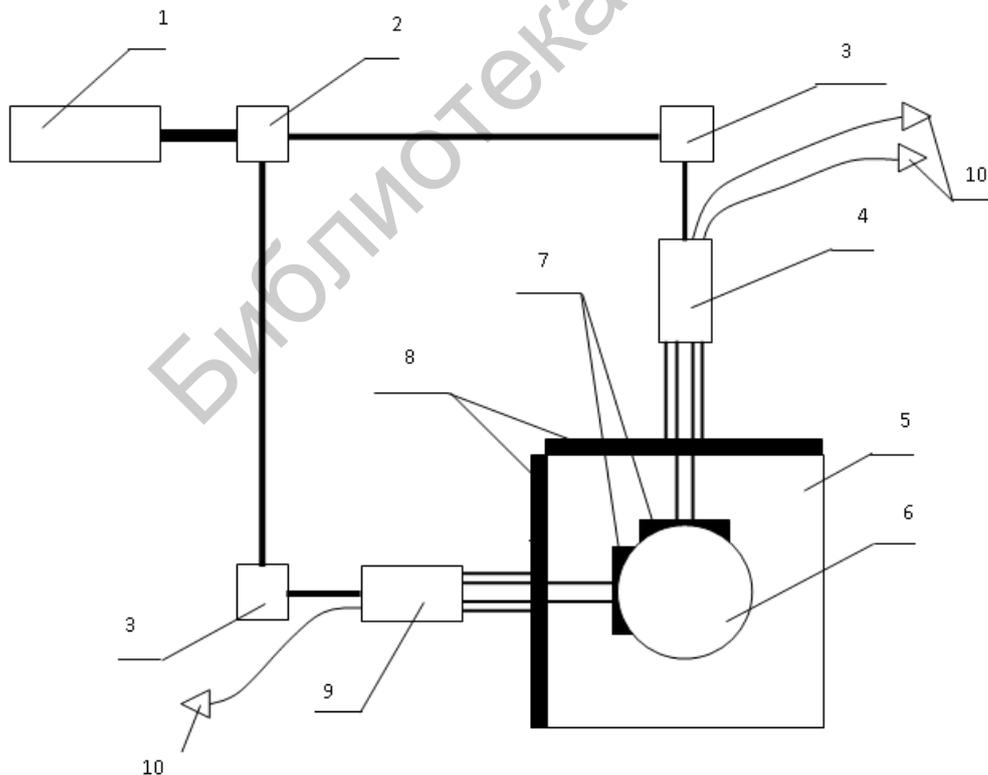


Рис. 1.3. Структура ИИС

Видеоконтрольное устройство (далее ВКУ) предназначено для удобства работы оператора. Оно позволяет с большим увеличением рассматривать топологию ИС на ПО. ВКУ состоит из видеокамеры, установленной на блоке оптико-механическом, и двух мониторов, установленных на столе оператора.

Камера сублимирования (рис. 1.4) состоит из крышки 4, крепящейся к корпусу 1 четырьмя винтами. Внутри корпуса 1 располагаются нагреватель азота 2 и фильтр 3. Объемный расход азота, подаваемого на нагреватель 2, устанавливается регулятором расхода газа, который располагается на панели газовой. Металлоорганическое вещество, предназначенное для ремонта шаблона, заправляется в фильтр при снятой крышке 4. Через отверстие Б происходит продувка камеры сублимирования азотом.

Оптическая система (ОС) предназначена для формирования лазерного пучка, фокусировки его в плоскость ПО, а также для переноса изображения этой плоскости в плоскость чувствительного элемента видеокамеры. Все элементы ОС расположены на ОМУ.

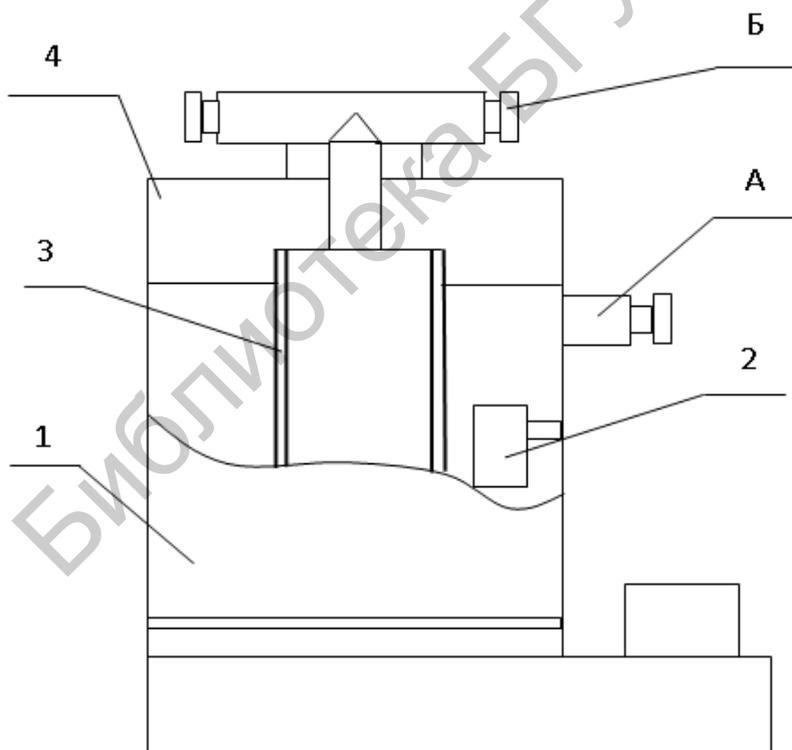


Рис. 1.4. Камера сублимирования

ОС условно делится на три канала:

- испарения;
- осаждения;
- визуального контроля.

Комплекс управляющий (рис. 1.5) предназначен для управления установкой и состоит из следующих составных частей:

- управляющая ЭВМ с двумя мониторами, клавиатурой и манипулятором типа «мышь», который расположен на столе оператора;
- стойка управления БРАС.469532.088 (далее СУ);
- пульт оператора, который расположен на столе оператора;
- линейка гнездная.

Управляющая ЭВМ служит для управления работой установки. По каналу связи она управляет работой процессора, расположенного в блоке управления, получает от него информацию о текущем состоянии всех механизмов и отображает ее на экране мониторов. Органы управления размещены на пульте оператора и видеомониторах управляющей ЭВМ.

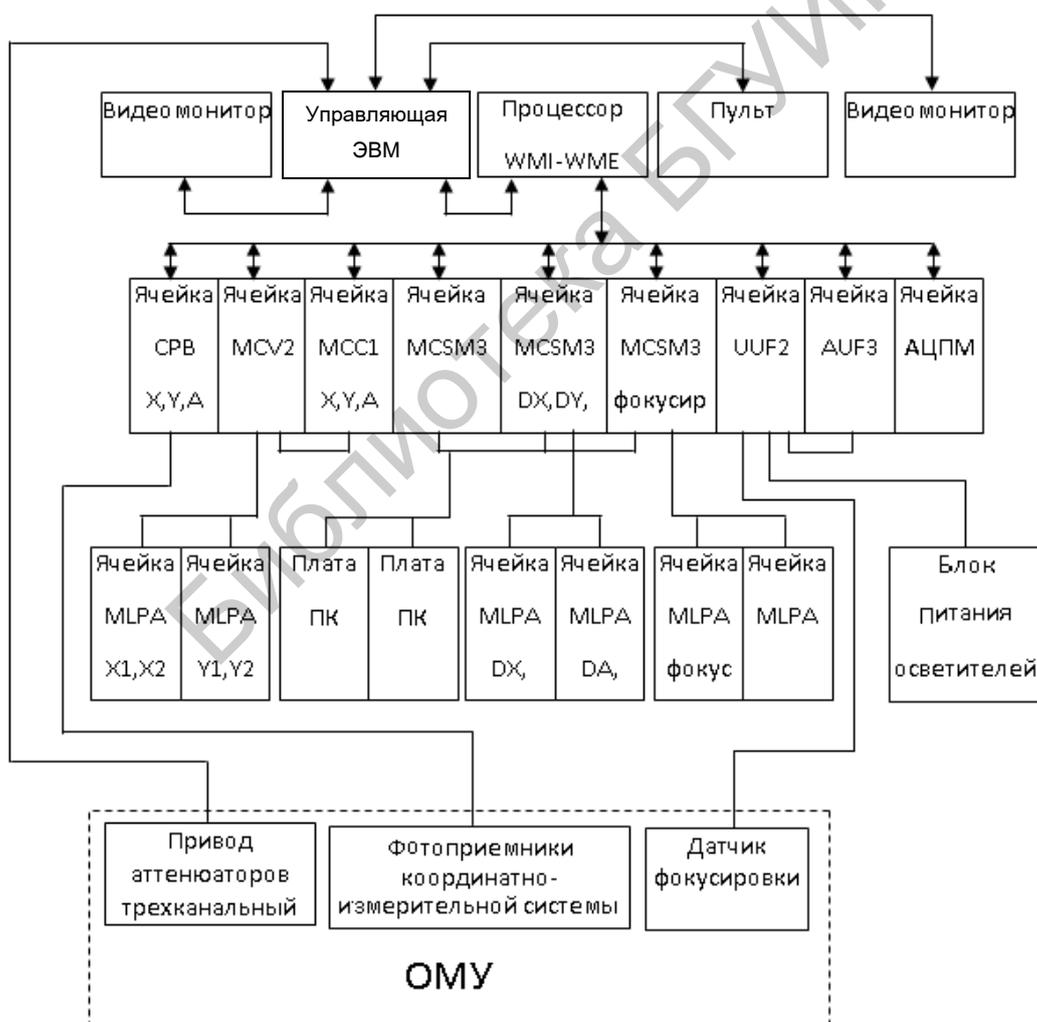


Рис. 1.5. Структурная схема КУ

Управление работой установки осуществляется согласно руководству оператора.

СУ предназначена для управления непосредственно исполнительными механизмами и рабочими лазерами установки и состоит из следующих составных частей:

- блок автоматики (БА);
- источник бесперебойного питания (ИБП) PYLSAR M 3000RN 3U;
- блок управления приводами (БУП) БРАС.469536.133 (БУП);
- блок усилителей мощности (БУМ) БРАС.468531.067 (БУМ);
- блок питания HP1088A;
- блок питания осветителя БРАС.436238.013;
- блок вентиляторов;
- линейка гнездная.

БУП предназначен для непосредственной связи с управляющей ЭВМ и преобразования команд управляющей программы в цифровые и аналоговые сигналы управления устройствами и механизмами установки, для связи с БУМ, а также для обратной связи устройств и механизмов с управляющей ЭВМ.

БУП состоит из следующих частей:

- плата VME BUS 3U, 13 SLOTS;
- плата объединительная БУП;
- процессор;
- ячейки MCSM3 БРАС. 468332.462;
- ячейка AUF3 БРАС.466533.087;
- ячейка АЦПМ БРАС.466559.002;
- ячейка МСС1 БРАС.468332.347;
- ячейка MCV2 БРАС.468332.348;
- ячейка UUF2 БРАС.468332.522;
- ячейка CPD БРАС.466533.098;
- источник питания +5 В, 22 ВА SEG105;
- источник питания ± 15 В, 3,4А SEK115 – 2 шт.

Все ячейки конструктивно выполнены в размере 6U с подключением к шине VME.

Плата VME BUS фирмы SCHROFF является объединительной платой шины VME, через которую осуществляется связь между процессором и ячейками CPD, AUF3, UUF2, МСС1, MCV2, MCSM3, АЦПМ, расположенными в БУП.

Плата объединительная БУП представляет собой печатную кросс-плату, обеспечивающую внутренние связи БУП между входными разъемами ячеек и выходными разъемами блока к БУМ и ОМУ. Также данная плата предназначена для подключения источников питания SEG105, SEK115 через БА к сети переменного тока 220 В, 50 Гц и для коммутации питающих напряжений +5 В и ± 15 В на плату VME BUS.

Процессор считывает состояние всех датчиков, получает команды, вводимые оператором с пульта управления, и передает эту информацию по каналу связи в управляющую ЭВМ, затем по командам от управляющей ЭВМ осуществляет управление всеми исполнительными механизмами.

Ячейка MCSM3 предназначена для формирования сигналов управления четырьмя двухфазными шаговыми электродвигателями с разнополярным управлением через усилитель мощности, опроса состояний датчиков и конечников механизмов, задания команд управления клапанами ОМУ и состоит из:

- схемы связи с каналом цифровой системы управления;
- восьмиразрядных цифроаналоговых преобразователей (ЦАП);
- схемы управления опорным напряжением ЦАП;
- аналогового мультиплексора для передачи сигналов для тестирования схемы приема 16 внешних сигналов от датчиков конечного положения механизмов.

Ячейка AUF3 предназначена для преобразования в цифровой код аналоговых сигналов с ПЗС (приборы с зарядовой связью) линейки и питания светодиода датчика фокусировки.

Ячейка АЦПМ является аналого-цифровым преобразователем. Она служит для преобразования в цифровой код аналоговых сигналов с выходов датчиков, выходов ЦАП ячеек MCSM3, MCC1, MCV2 и обмоток двигателей в режиме тестирования.

Ячейка MCC1 предназначена для управления совместно с ячейкой MCV2 трехосевым индуктором (X, Y, A), оснащенным линейными шаговыми двигателями, в замкнутом режиме с датчиками обратной связи по положению. Ячейка представляет собой трехканальный пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор и состоит (для каждой оси координат) из 12-разрядного ЦАП ошибки положения с индикацией четырех младших разрядов и знака, корректирующего устройства фильтра низких частот и операционного усилителя с единичным коэффициентом усиления, обеспечивающего возможность измерения частотных характеристик системы управления. Для ли-

нейных координатных осей X , Y дополнительно имеются два восьмиразрядных цифроаналоговых преобразователя ускорения. В состав ячейки входят схема связи с каналом VME цифровой системы управления, источник опорного напряжения для ЦАП и схема передачи сигналов ЦАП для тестирования при помощи аналогового мультиплексора.

Ячейка MCV2 предназначена для управления совместно с ячейкой MCC1 трехосевой кареткой (X , Y , A), оснащенной линейными шаговыми двигателями, в замкнутом режиме с датчиками обратной связи по положению и функционально включает в себя:

- схему связи с VME-каналом цифровой системы управления;
- восемь перемножающих восьмиразрядных ЦАП;
- схему формирования опорного напряжения ЦАП и выбора режима работы индуктора;
- схему передачи сигналов ЦАП для тестирования при помощи аналогового мультиплексора.

Ячейка UUF2 предназначена для управления механизмом фокусировки в автоматическом и ручном режимах, выдачи цифровых кодов сигналов управления осветителями метки, подачи отраженного и проходящего света.

Ячейка CPD предназначена в качестве осевой платы для обработки сигналов интерферометра на базе двухчастотного лазера, выработки импульсов синхронизации при движении координатного стола по осям X , Y для запуска лазера и обладает следующими техническими характеристиками:

- диапазон частот выходных сигналов интерферометра 1,4–4,0 МГц при частоте опорного сигнала 2,4–3,0 МГц;
- дискретность отсчета $1/128=0,005$ мкм;
- скорость перемещения контролируемой каретки – до 100 мм/с;
- деление периода входного сигнала на 32;
- отсчет текущей координаты – 32 разряда;
- хранение текущей координаты – 32 разряда;
- сброс и начальная установка текущей координаты;
- контроль параметров сигналов опорного и измерительного каналов.

Источник питания +5 В, 22 А предназначен для обеспечения питанием ячеек управления блока управления приводом и механизмов ОМУ.

Источники питания ± 15 В, 3,4 А предназначены для обеспечения питанием ячеек управления блока управления приводом и механизмов ОМУ.

БУМ предназначен для управления непосредственно электродвигателями исполнительных механизмов установки.

БУМ состоит из следующих составных частей:

- плата объединительная;
- усилители МЛРА;
- плата ключей (ПК);
- источники питания 24 В, 10 А.

Блок питания модели Agilent 10884 В предназначен для питания лазера Agilent 5517С-003.

Блок питания осветителя состоит из двух стабилизаторов БРАС.436772.006 питания светодиодов метки и проходящего света и стабилизатора БРАС. 436772.008 питания двух светодиодов отраженного света. Включение, выключение осветителей и регулирование яркости свечения светодиодов производятся с пульта видеомонитора.

БА предназначен для коммутации напряжения сети по блокам СУ, содержащим источники питания, а также ОМУ и ЭВМ.

Блоки вентиляторов фирмы «SCHROFF» предназначены для создания температурного режима работы блоков КУ.

Газовая система предназначена для режима осаждения ингредиента на ПО, включает в себя:

- пульт терморегулятора БРАС.468323.105;
- плату терморегулятора БРАС.468151.020;
- пневмопанель газовую;
- камеру сублимирования.

Пневмопанель газовая состоит из регулятора расхода газа РРГ-10-9 и пневмоклапанов. Задание расхода азота проводится от ЭВМ программируемым регулятором расхода газа в виде заданного напряжения, поступающего с ячейки АЦПМ блока управления приводом. Контроль расхода газа производится ЭВМ путем преобразования напряжения обратной связи с выходом программируемого регулятора расхода газа через ячейку АЦПМ.

Пульт терморегулятора предназначен для установки и контроля температуры азотного ингредиента осаждения.

Плата терморегулятора предназначена для включения и отключения по команде от управляющей ЭВМ нагревателя азота газовой системы, а также для задания, контроля и поддержания заданной температуры азота в зависимости от его расхода. Плата терморегулятора представляет собой аналоговую схему

сравнения заданной и текущей температуры, заданного и реального расхода азота и транзисторные ключи управления нагревателем азота.

1.2.5. Описание работы основных узлов ОМУ

1.2.5.1. Система подготовки воздуха

Система подготовки воздуха предназначена для очистки воздуха от влаги и механических примесей, регулировки и поддержания заданного давления, а также автоматического распределения и подачи воздуха к исполнительным механизмам, состоит из следующих составных частей:

- блока фильтров;
- регулятора давления;
- датчика давления воздуха;
- распределительного коллектора.

Воздух от распределительного коллектора поступает к пневмопанелям, расположенным в корпусе основном, и далее к исполнительным механизмам.

Вакуум подается к пневмопанелям, расположенным в корпусе основном, которые в автоматическом режиме включают и выключают подачу вакуума для прижима механизма закрепления шаблона на каретке двухосевой, а также для фиксации ПО на держателе, фиксации ПО на лапе механизма загрузки и отвода сопла. Наличие вакуума в системе контролируется датчиком вакуума.

Очищенный от влаги и механических примесей азот, пройдя датчик давления, распределяется по трем направлениям: осаждение, продувка, пневмопистолет.

В режиме «Осаждение» азот, соединившись с металлоорганическим веществом в камере сублимирования, поступает через выходное отверстие газовой насадки на рабочую поверхность ПО, где происходит лазерно-химическое осаждение маскирующего материала.

Отсос продуктов осаждения/испарения осуществляется насосом вакуумным, а регулировка объема отсоса – с помощью ротаметра. Продукты осаждения утилизируются фильтром.

После завершения операции «Осаждение» необходимо выполнить операцию «Продувка». При этом азот поступает в газовую насадку с частотой 15 Гц и откачивается из нее насосом вакуумным при выключенных пневмораспределителях ПР28 и ПР29.

Температура разогрева металлоорганического вещества и азота в камере сублимирования задается на пульте терморегулятора в соответствии с технологической картой.

Очистку оптических деталей от пыли оператор осуществляет азотом в режиме «Наладка» вручную с помощью пневмопистолета.

1.2.5.2. Интерферометрическая измерительная система

Датчики линейного перемещения, входящие в состав ИИС, включают одноосевой и двухосевой дифференциальные интерферометры и три фотоприемника. Система отсчета перемещений формирует информацию о текущем положении каретки на координатном столе по трем координатам X , Y , A относительно оптической оси объектива.

Излучение лазера на светоделительном зеркале делится на два канала. Треть излучения попадает на одноосевой дифференциальный интерферометр, две трети – на двухосевой дифференциальный интерферометр. В двухосевом дифференциальном интерферометре на встроенном светоделителе излучение делится на два равных канала.

В интерферометрах излучение разделяется на две компоненты по поляризации: опорную и доплеровскую. Опорная составляющая, дважды переотражаясь в интерферометре и от зеркала, находящегося на объективе, попадает на фотоприемник. Доплеровская составляющая, дважды отражаясь в интерферометре и от зеркала, находящегося на каретке координатного стола, также попадает на фотоприемник. Поляриод, стоящий на входе фотоприемника, выделяет переменную составляющую прошедшего излучения, и этот фотоприемник формирует выходной парафазный сигнал прямоугольной формы, частота первой гармоники которого изменяется в зависимости от направления и скорости перемещения каретки. Часть излучения внутри лазера проходит оптоэлектронную обработку и преобразуется в парафазный сигнал $F_{оп}$ на электрическом выходе.

Сигнал с фотоприемника $F_{доп}$ и электрический опорный сигнал с лазера $F_{оп}$ поступают на ячейку CPD, на которой происходит анализ фаз опорного и доплеровского сигналов и выработка счетных импульсов для реверсивных счетчиков текущего положения. Один счетный импульс эквивалентен перемещению каретки координатного стола на $\lambda/4$. Текущее значение содержимого счетчиков поступает на ячейку МСС1 для анализа положения стола.

Данная система отсчета перемещений позволяет получить достоверную информацию о перемещении каретки координатного стола на скоростях движения 0...100 мм/с при цене счетного импульса 0,01 мкм.

1.2.5.3. Система фокусировки

Работа системы фокусировки обеспечивается механизмом перемещений статора по оси Z и наличием датчика фокусировки. Механизм перемещения статора по оси Z содержит электродвигатель постоянного тока, связанный со входным валом понижающего редуктора. На его выходном валу закреплен эксцентрик с величиной эксцентриситета 6 мм, который связан с направляющей и тремя рычагами с передаточным отношением 1:4, которые в трех точках через шариковые опоры связаны со статором координатной системы. Таким образом, при вращении выходного вала редуктора происходит периодическое перемещение статора по оси Z . Для ограничения угла поворота выходного вала редуктора, обеспечивающего величину рабочего хода статора по оси Z , используются два фотоэлектрических датчика. На валу электродвигателя установлен тахогенератор, осуществляющий обратную связь по скорости, и преобразователь угловых перемещений, информация с которого используется для перемещения статора по оси Z при контроле ПО различной толщины.

Для выработки электрического сигнала, содержащего информацию о величине расфокусировки, используется датчик фокусировки (ДФ), жестко связанный с рабочим объективом. В качестве источника излучения в ДФ используется полупроводниковый диод с длиной волны излучения 670 нм. Пучок излучения, генерируемый светодиодом, проходит через объектив датчика фокусировки и далее направляется на поверхность контролируемой пластины, от которой отражается и попадает в плоскость фотоприемника. При вертикальном смещении поверхности контролируемой пластины изображение смещается и анализ выходного сигнала позволяет судить о величине расфокусировки. Этот анализ осуществляется специальной ячейкой управления фокусировки АУФЗ.

Все необходимые режимы фокусировки обеспечиваются подсистемой привода фокусировки, управляемой одноплатным компьютером. Основными режимами являются:

- вывод в базу по оси Z (датчиком базы является датчик ограничения хода в нижнем положении);

- выход в зону слежения ДФ по информации, получаемой с платы управления приводом (ПУП);

- выход в положение наилучшего фокуса в пределах рабочего хода по сигналу «Зона» от ДФ;
- непрерывное отслеживание фокуса по ДФ.

1.2.5.4. Механизм загрузки ПО

Для работы с типоразмерами 153×153, 127×127 мм на каретке цилиндра установлена лапа сменная. Для работы с ПО типоразмера 178×178 мм устанавливается лапа сменная из комплекта сменных частей. Лапа сменная представляет собой вакуумный пинцет.

В качестве привода используется пневматический линейный двигатель фирмы «SMC». Передача движения происходит за счет силового взаимодействия магнитных полей поршня и муфты направляющей каретки.

Сжатый воздух в двигатель подается через два пневмодресселя, расположенных спереди цилиндра. Пневмодрессель используется для регулирования скорости движения поршня.

Конечное положение поршня контролируется при помощи двух электромагнитных бесконтактных датчиков, состояние которых индицируется светодиодом.

Выставление ПО на лапе осуществляется по трем базовым упорам, один из которых является подвижным и опускается во время перемещения ПО. Крепление ПО на лапе происходит с помощью вакуума. Состояние крепления контролируется датчиком вакуума, о чем свидетельствует светодиод.

Механизм загрузки сверху имеет подвижный кожух из зеленого оргстекла, который по двум направляющим может перемещаться вручную влево во время загрузки ПО. Для более устойчивого положения лапы при прогибе во время загрузки и выставления ПО под ним предусмотрен регулируемый упор.

1.2.5.5. Камера сублимирования

Камера сублимирования состоит из нагревателя азота и, собственно, камеры сублимирования, в которой находится терморезистор, регистрирующий текущую температуру азота. Питание нагревателя осуществляется от источника питания + 24 В.

Нагретый азот поступает в камеру сублимирования и транспортирует металлоорганическое вещество в насадку газовую, закрепленную на объективе.

1.2.5.6. Оптическая система установки

Канал испарения служит для исправления на поверхности ПО непрозрачных дефектов размером 0,2...25 мкм лазерным излучением с плотностью мощности, достаточной для испарения материала ПО. В его состав входят импульсный лазер RYF-1/5FH, работающий на $\lambda=514$ и $\lambda=257$ нм, телескопическая система, линзы, поворотные зеркала, полупрозрачные зеркала, ослабитель и сменные объективы.

Объектив 2(III) кратностью 8,3 устанавливается по умолчанию и используется для просмотра топологии ПО, выхода в заданную точку и ориентации ПО. Объектив 2(VI) всегда работает в УФ-диапазоне совместно с объективом 2(IV) и полупрозрачной пластиной.

Излучение лазера RYF-1/5FH, пройдя поворотные зеркала, попадает в телескопическую систему, которая расширяет пучок лазера в два раза. Затем излучение проходит ослабитель и, в зависимости от длины волны излучения, поворотные зеркала и далее полупрозрачное зеркало и заполняет переменную полевую диафрагму фотонаборного механизма. Изображение полевой диафрагмы с помощью поворотных зеркал и линзы полупрозрачного зеркала и одного из объективов строится на поверхности ПО с уменьшением в 32, 80, 110 или 130 раз.

Канал осаждения служит для формирования на поверхности ремонтируемого ПО пятна из осаждаемого материала диаметром от 2 мкм. В его состав входит непрерывный твердотельный лазер Sapphire 488-500 с диодной накачкой, который излучает на длине волны $\lambda=488$ нм, ослабитель, поворотные зеркала, коллективная линза, полупрозрачные зеркала, линзы и объектив кратностью 80.

Излучение лазера Sapphire 488-500, пройдя ослабитель, поворотные зеркала и коллективную линзу, попадает на полевую диафрагму фотонаборного механизма. Пройдя полевую диафрагму, излучение с помощью зеркал, линз и объектива фокусируется на поверхности ПО в пятно диаметром от 2 мкм.

На объективе 2(I) установлена специальная насадка для подачи в зону ремонта осаждаемого материала из газовой фазы. Под действием лазерного излучения происходит лазерно-химическое осаждение данного материала из газовой фазы в зоне обработки.

Общими элементами ОС для обоих каналов являются поворотные зеркала, полупрозрачные зеркала, линзы и объектив 2(1). Зеркало и синхронно с ним коллективная линза вводятся в ОС только при работе канала осаждения.

Канал визуального контроля служит для наблюдения топологии ПО в проходящем или отраженном свете и для наведения луча лазера на ремонтируемый участок.

При работе в проходящем свете свет от светодиода LXHL-LM5C фирмы «Luxeon», находящегося в осветителе проходящего света, проходит коллектор, поворотное зеркало, конденсатор и засвечивает плоскость ПО.

При работе в отраженном свете в зависимости от используемого объектива источником излучения является светодиод, излучающий либо в ультрафиолетовом (NCSU033AT-E фирмы «Nichia»), либо в видимом диапазоне (LXHL-LM5C фирмы «Luxeon»). Соответствующий светодиод вводится в канал вместе с коллективными линзами, рассчитанными для конкретного светодиода.

Свет от светодиодов проходит коллектор, далее проходит зеркала полупрозрачные и один из объективов и засвечивает плоскость ПО.

Далее обе схемы в проходящем либо отраженном свете работают одинаково. Отраженный от ПО либо прошедший через него свет проходит в один из объективов, зеркала полупрозрачные, линзу, зеркала, светофильтр и образует промежуточное изображение топологии. Затем объектив с увеличением 3^x переносит данное промежуточное изображение в плоскость фоточувствительного элемента CCD-камеры.

Для визуального контроля наведения переменной диафрагмы фотонаборного механизма на ремонтируемый участок ПО необходимо засветить диафрагму. Для этого свет от светодиода LXHL-LM5C, отразившись от зеркала и полупрозрачного зеркала, фокусируется конденсором в плоскость диафрагмы.

1.2.6. Описание работы комплекса управляющего

Для включения системы электропитания необходимо:

- включить БВС;
- нажать кнопку включения/выключения «» на передней панели источника бесперебойного питания (ИПБ);
- автоматический выключатель на передней панели БА поставить в положение I «ВКЛ».

При этом на передней панели БА загорится светодиод «СЕТЬ». Напряжение сети поступает на ЭВМ.

При нажатии кнопки «ВКЛ ОМУ» напряжение сети поступает на ОМУ (ТВ-систему) и на блок питания НР 10884А в СУ.

При нажатии кнопки «ВКЛ УПРАВЛЕНИЕ» напряжение сети подается на вентиляторы, источники питания SEG105 и SEC115 в БУП.

При нажатии кнопки «ВКЛ ПРИВОД» напряжение сети подается на вентиляторы, источники питания SE200-LS24-CS в БУМ и блок питания осветителя.

Для отключения КУ вначале необходимо нажать кнопку «ВЫКЛ ПРИВОД» на панели БА. Далее выключить ПК и нажать кнопки «ВЫКЛ УПРАВЛЕНИЕ» и «ВЫКЛ ОМУ».

Для отключения системы электропитания нужно нажать любую из кнопок «СТОП», затем выключить ИПБ, нажав кнопку включения/выключения и выключить переключатель «СЕТЬ» на передней панели БВС.

Пульт оператора БРАС.468323.162 (рис. 1.6) предназначен для оперативного управления установкой в процессе ремонта шаблона.

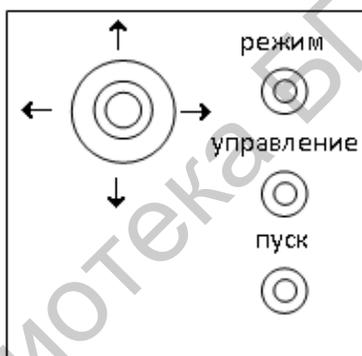


Рис. 1.6. Пульт управления

Органы управления пульта оператора выполняют следующие функции:

- кнопка «РЕЖИМ» – блокировка запуска импульсного лазера в режиме непрерывной ретуши при необходимости временно приостановить процесс испарения, но продолжать манипуляции механизмами;

- кнопка «УПРАВЛЕНИЕ» – выбор соответствующего механизма (стол/диафрагма/ фокусировка/поворот диафрагмы) для управления джойстиком в ручном режиме;

- кнопка «ПУСК» – подача команды на производство ремонта шаблона;

- джойстик «↑, ↓» – манипулятор ручного управления КС: диафрагмой по координате Y и фокусировкой по координате Z ;

- джойстик «←, →» – манипулятор ручного управления КС: диафрагмой по координате X и поворотом диафрагмы;

- кнопка на джойстике – подтверждение действий оператора по запросу ЭВМ.

Остальные органы управления организованы на пульте видеомонитора управляющей ЭВМ:

- кнопка «МЕТКА» – установление режима осветителя метки;
- кнопка «ОТРАЖ» – установление режима осветителя отраженного света;
- кнопки «ОДИНОЧНЫЙ», «НЕПРЕРЫВНЫЙ», «ТРАССА», «МАССИВ» – выбор одного из видов дефектов с соответствующей индикацией на пульте видеомонитора;

- кнопка «ЗАПИСЬ» – команда записи координат одиночных дефектов или координат, описывающих сложные дефекты;

- кнопка «ОТМЕНА» – команда отмены списка координат КС при определении дефекта;

- кнопка «ПОДГОТОВКА» – выбор одного из режимов работы с соответствующей индикацией на пульте видеомонитора;

- кнопка «ЗАГРУЗКА» – команда для загрузки ПО на каретку КС в режиме «Подготовка» с соответствующей индикацией на пульте видеомонитора;

- кнопка «ВЫГРУЗКА» – команда для выгрузки ПО с каретки КС в режиме «Подготовка» с соответствующей индикацией на пульте видеомонитора;

- кнопка «СОВМЕЩЕНИЕ» – команда для совмещения ПО (перемещение КС по координатам знаков совмещения на ПО) в режиме «Подготовка» с соответствующей индикацией на пульте видеомонитора;

- кнопка «Н.О.» – команда фиксации координат КС как нулевой координаты ПО (начало отсчета);

- кнопка «РЕМОНТ» – команда на разрешение одного из двух видов ремонта топологии ПО (испарение или осаждение) с соответствующей индикацией на пульте видеомонитора;

- кнопка «ИСПАРЕНИЕ» – установка режима испарения дефектов в режиме «Ремонт» с соответствующей индикацией на пульте видеомонитора;

- кнопка «ОСАЖДЕНИЕ» – установка режима «залечивания» дефектов с соответствующей индикацией на пульте видеомонитора;

- кнопка «ОПРЕДЕЛЕНИЕ» – команда на установку типа дефекта с соответствующей индикацией на пульте видеомонитора;

- кнопка «ПРЕДЫДУЩИЙ» – команда выбора предыдущего по номеру дефекта из файла дефектов данного типа;

- кнопка «НАЧАЛЬНЫЙ» – команда выбора начального по номеру дефекта из файла дефектов данного типа;
- кнопка «СЛЕДУЮЩИЙ» – команда выбора следующего по номеру дефекта из файла дефектов данного типа;
- кнопка «НЕПРОЗРАЧНЫЙ» – установка режима выбора координат непрозрачных дефектов из файла дефектов с соответствующей индикацией на пульте видеомонитора;
- кнопка «ПРОЗРАЧНЫЙ» – установка режима выбора координат прозрачных дефектов из файла дефектов с соответствующей индикацией на пульте видеомонитора;
- кнопки «8^x», «30^x», «80^x», «110^x», «130^x» – команда на установку соответствующего типа рабочего объектива с соответствующей индикацией на пульте видеомонитора.

Внешний вид пульта терморегулятора представлен на рис. 1.7.



Рис. 1.7. Пульт терморегулятора

Индикатор «ВКЛ. НАГР» предназначен для сигнализации оператору о программном включении терморегулятора.

Индикатор «Т. НОРМ» предназначен для сигнализации оператору о состоянии температуры газового носителя ингредиента осаждения относительно порога установки.

Нажатая кнопка «КОНТРОЛЬ» выводит на измерительный прибор относительную величину порога заданной температуры газового носителя. В этом режиме возможно с помощью регулятора «УСТАНОВКА» произвести коррекцию порога заданной температуры газового носителя. При ненажатой кнопке

«КОНТРОЛЬ» измерительный прибор показывает текущую относительную температуру газового носителя.

1.3. Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию, электрическую схему ОМУ БРАС.203331.058, диафрагмы БРАС.303733.056, используя электронную систему документооборота предприятия.

2. Изучить структуру, электрическую схему КУ БРАС.468213.048 Э6. Ознакомиться с ячейками КУ по конструкторской документации, используя электронную систему документооборота предприятия.

3. Ознакомиться с инструкцией оператора Я2.01536-01 34 01.

4. Освоить основы программирования установки для ремонта ПО.

5. Выполнить включение установки в порядке, указанном в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Порядок действий при включении установки

Действия, производимые при включении	Событие, подтверждающее выполнение действия
1	2
1. Открыть кран воздушной магистрали сжатого воздуха	Каретка линейного шагового двигателя «плавает» по статору. Стрелка манометра М2 устанавливается на деление 2.1
2. Открыть кран магистрали вакуума	Стрелка манометра ВМ устанавливается на деление 0.6
3. Включить автомат на входных щитках, к которым подключена установка	Включается световая индикация на щитках
4. Включить переключатель «СЕТЬ» и кнопку «ВКЛ» на передней панели БВС	Загораются светодиоды «СЕТЬ» и кнопка «ВКЛ» на передней панели БВС
5. Включить лазер RYF-1/5FH согласно руководству по эксплуатации фирмы «Avesta Project Ltd.»	Загораются четыре красных индикатора «POWER I/O», светодиоды и LCD-экраны на блоках СПЛ
6. Нажать кнопку «  » на передней панели ИБЛ	На передней панели загорается дисплей
7. Включить автоматический выключатель на передней панели БА	Загорается светодиод «СЕТЬ» на передней панели БА
8. Нажать кнопку «ВКЛ ОМУ» на передней панели БА	Загорается светодиод «ОМУ»

1	2
9. Нажать кнопку «ВКЛ УПРАВЛЕНИЕ» на передней панели БА	Загорается светодиод «УПРАВЛЕНИЕ»
10. Загрузить ПК и запустить управляющую программу	На мониторе ПК появляется главное окно управляющей программы
11. Нажать кнопку «ВКЛ ПРИВОД» на передней панели БА	Загорается светодиод «ПРИВОД»

6. Изучить принципы отработки команд управляющей программы:

- базирование механизмов;
- загрузка/разгрузка ПО;
- выбор точки отсчета оператора;
- команда совмещения координатных систем;
- переход в режим испарения;
- смена объектива;
- создание файла дефектной ведомости;
- открытие файла дефектной ведомости.

7. Исправить дефекты ПО (одиночного, массива, трассы).

8. Выполнить выключение установки в порядке, указанном в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Порядок действий при выключении установки

Действия, производимые при включении	Событие, подтверждающее выполнение действия
1	2
1. Выйти из управляющей программы и программно выключить управляющую ЭВМ	Гаснет экран монитора ПК
2. Выключить лазер RYF-1/5FH согласно руководству по эксплуатации фирмы «Avesta Project Ltd.»	На передней панели блока управления CDRH ControllerHP отсутствует свечение дисплея и всех световых индикаторов
3. Нажать кнопки «ВЫКЛ УПРАВЛЕНИЕ» и «ВЫКЛ ОМУ» на передней панели БА	Перестают светиться три светодиода на передней панели БА. На панели индикации перестают светиться контрольные светодиоды
4. Выключить автоматический выключатель на передней панели БА	На передней панели БА погаснет светодиод «СЕТЬ»

1	2
5. Нажать кнопку « \cup » на передней панели ИБМ	Через некоторое время гаснет дисплей на передней панели ИБП
6. Закрывать кран воздушной магистрали сжатого воздуха	Каретка ЛШД не «плавает» по статору. Стрелка манометра М2 устанавливается на деление 0
7. Закрывать кран магистрали вакуума	Стрелка манометра ВМ устанавливается на деление 0
8. Нажать кнопку «СТОП» и выключить переключатель «СЕТЬ» на передней панели БВС	Отсутствует свечение переключателя «СЕТЬ» и кнопки «ВКЛ» на передней панели БВС

1.4. Содержание отчета

1. Цель и задачи исследований.
2. Структурная схема системы управления шторкой диафрагмы, координатной осью, а также системы управления резкостью.
3. Проект файла дефектов.
4. Картинки рабочего стола оператора при отработке форм.

1.5. Контрольные вопросы

1. Дайте характеристику типов дефектов ПО.
2. Перечислите способы устранения дефектов ПО.
3. Приведите назначение и технические характеристики установок для устранения дефектов.
4. Перечислите составные части установки для ремонта ПО.
5. Изложите принцип работы установки для ремонта ПО.

Лабораторная работа №2

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНОГО ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: изучение динамики перемещения индуктора линейного шагового двигателя (далее ЛШД), возможности достижения предельных скоростей и ускорений при разных профилях разгона и торможения и способах управления; исследование величины колебаний скорости при разных ее значениях.

2.1. Теоретические сведения

В настоящее время базовым приводом для большого спектра систем автоматизированного управления, а также многоосевых координатных систем является прецизионный линейный привод прямого действия, от которого зависят основные показатели назначения созданной на его основе координатной системы технологического оборудования, такие как точность и быстродействие.

Под электроприводом понимается устройство, состоящее из элемента, вырабатывающего механическое движение, и генератора управляющего воздействия. Элемент, вырабатывающий механическое движение, – это электродвигатель, а генератор управляющего воздействия, – система управления, программно-аппаратный комплекс, включающий электронную логику на базе микропроцессоров, микроЭВМ, промышленных одноплатных ЭВМ и соответствующее программное обеспечение, а также силовую электроавтоматику для коммутации управляющих токов в фазы двигателя.

Линейный двигатель прямого действия преобразует управляющее воздействие в виде кванта электромагнитной энергии в линейное перемещение подвижной части без какой-либо трансмиссии.

В лабораторной работе предусматривается изучение двигателей с реактивным типом магнитной системы. Принцип работы этих двигателей основан на взаимодействии пространственной среды с периодической магнитной проводимостью и магнитного поля периодической магнитной полярности. Схема ЛШД с магнитной системой реактивного типа представлена на рис. 2.1.

В ЛШД на рис. 2.1 пространственная среда периодической магнитной проводимости формируется рабочей поверхностью статора 4 и рабочими поверхно-

ЭФМ будет перемещаться вправо. Это вытекает из того, что при каждой коммутации тока в соответствующей фазе ЛШД магнитный поток постоянной и управляющей МДС будет последовательно складываться в полюсах $P1, P4, P2, P3$. Это приведет к последовательному доминированию магнитной силы на этих полюсах. Полюс с доминирующей магнитной силой будет стремиться занимать положение, при котором площадь совмещения поверхности зубцов его рабочей поверхности с зубцами рабочей поверхности статора будет наибольшей. Величина перемещения будет равна четверти периода зубцовой поверхности. Номера шагов обозначены символами S_i , где i – номер шага. Величина шага, равная $\tau/2f$, где τ – период зубцовой поверхности, а f – число фаз ЛШД, называется полным шагом перемещения.

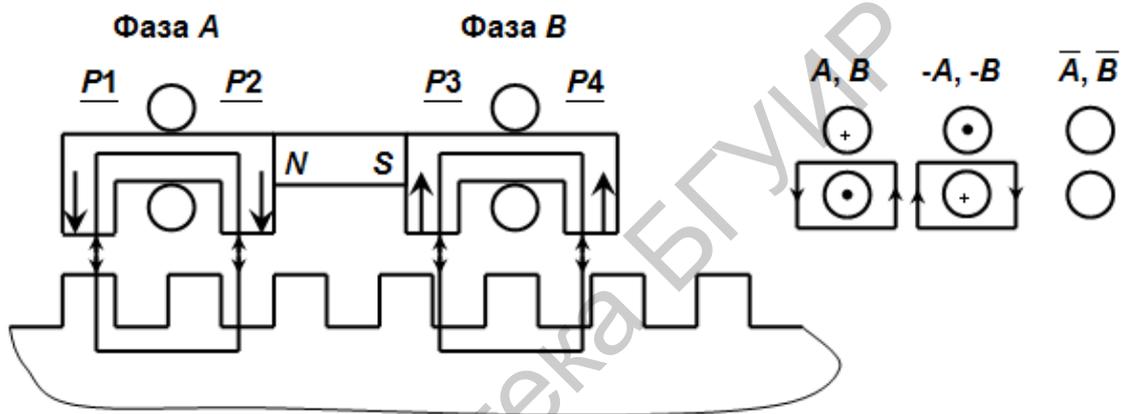


Рис. 2.2. Направление магнитных потоков в полюсах ЭФМ

При выполнении последовательности конъюнкций управления

$$\begin{array}{c}
 A\bar{B} \xrightarrow{S_1} \bar{A}A(-B) \xrightarrow{S_2} (-A)\bar{A}\bar{B} \xrightarrow{S_3} \bar{A}\bar{A}B \\
 \uparrow \hspace{15em} \downarrow \\
 \hspace{15em} S_4 \hspace{15em}
 \end{array} \quad (2.2)$$

ЭФМ будет перемещаться влево, т. к. последовательно будут доминировать полюса $P4, P1, P3, P2$.

На рис. 2.3 показаны положения полюсов ЭФМ относительно зубцов поверхности статора после каждого шага перемещения.

Алгоритм перемещения можно улучшить, применяя управление сразу двумя фазами на одном шаге перемещения, если после начала шага перемещения с некоторой задержкой включить ток в другую фазу. При начале движения вправо в сторону увеличения координаты зубцы полюсов $P1$ и $P2$ начнут выхо-

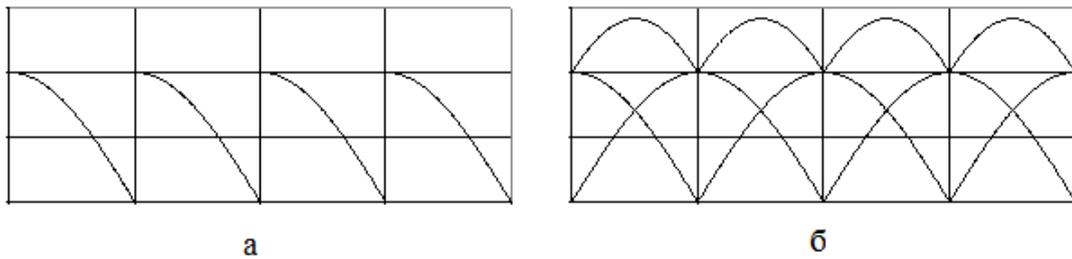


Рис. 2.4. Графики изменения тягового усилия ЭФМ:

а – последовательная коммутация фаз ЭФМ; б – коммутация двух фаз ЭФМ

При детерминированном управлении движением индуктора шагового двигателя возможны два способа управления скоростью на участках разгона и торможения – трапецеидальный и S-образный закон измерения скорости. Годографы скорости для обоих законов приведены на рис. 2.5.

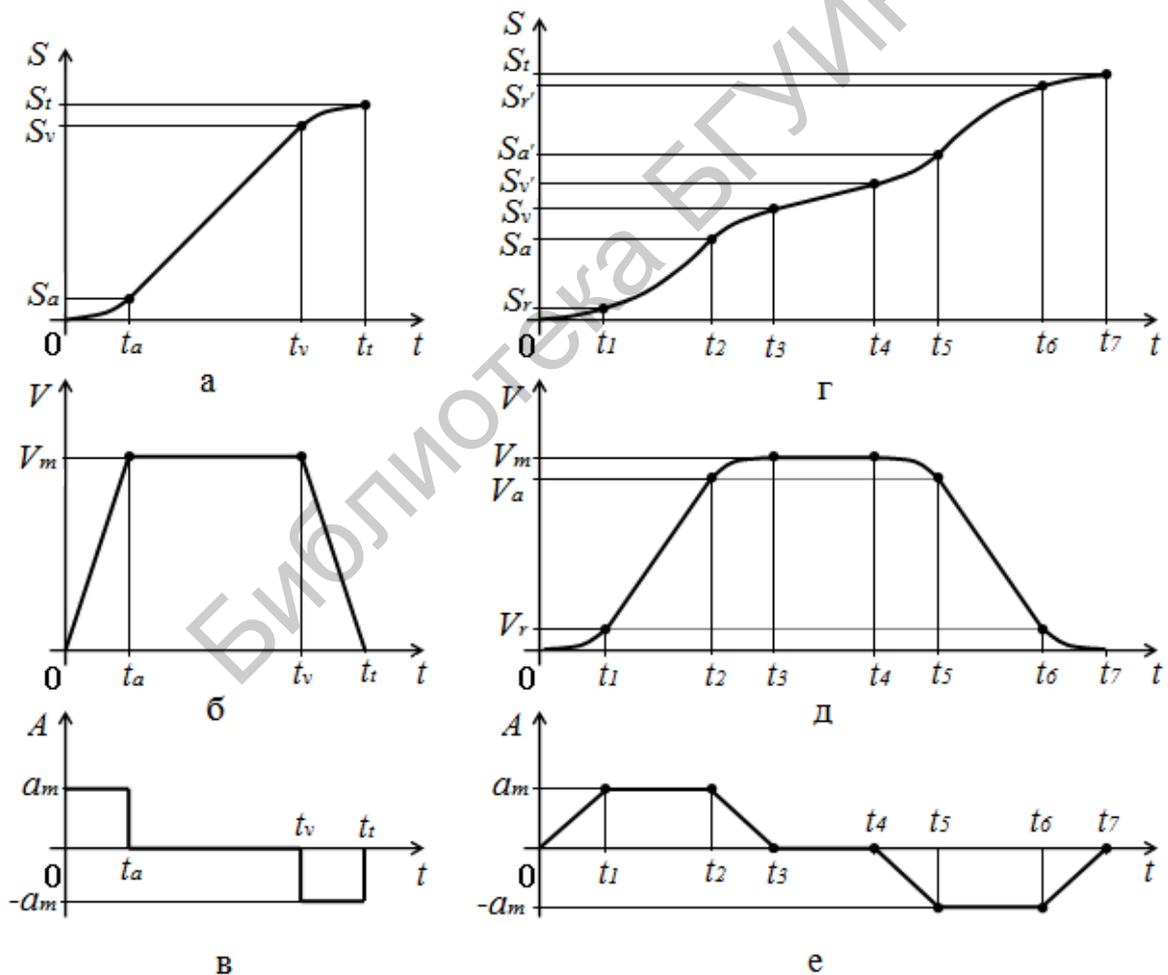


Рис. 2.5. Годограф зависимости перемещения S , скорости V и ускорения A от времени для трапецеидального (а...в) и S-образного (г...е) профилей скоростей

Рассмотрим режим перемещения с трапецеидальным профилем скорости (рис. 2.5, а...в).

На участке $[0 \dots t_a]$, который является участком разгона, функция перемещения пропорциональна t^2 (квадратичная парабола), функция скорости пропорциональна t (линейный закон), ускорение постоянно (равно A_m) на всем участке разгона.

На участке $[t_a \dots t_v]$, который является участком перемещения на постоянной скорости, функция перемещения пропорциональна t (линейный закон), скорость постоянна (равна V_m), ускорение равно 0.

На участке $[t_v \dots t_i]$, который является участком торможения, функция перемещения пропорциональна t^2 (квадратичная парабола), функция скорости пропорциональна t (линейный закон), ускорение постоянно (равно $-A_m$) на всем участке торможения.

Полное перемещение S_i выполняется за время t_i .

Следует отметить, что при $S_i \leq 2S_a$ (при том же значении A_m) трапециoidalный профиль скорости вырождается в треугольный ($t_a = t_v$). В этом случае максимально достижимая скорость V_m может быть меньше.

Рассмотрим режим перемещения с S-образным профилем скорости (рис. 2.5, г...е).

На первом участке $[0 \dots t_1]$ функция перемещения пропорциональна t^3 (кубическая парабола), скорость растет пропорционально t^2 (квадратичная парабола), ускорение растет пропорционально t (линейный закон).

На втором участке $[t_1 \dots t_2]$ функция перемещения пропорциональна t^2 (квадратичная парабола), скорость растет пропорционально t (линейный закон), ускорение постоянно (равно A_m) на всем участке.

На третьем участке $[t_2 \dots t_3]$ функция перемещения пропорциональна t^3 (кубическая парабола), скорость растет пропорционально t^2 (квадратичная парабола), ускорение уменьшается пропорционально t (линейный закон).

На четвертом участке $[t_3 \dots t_4]$ функция перемещения пропорциональна t (линейный закон), скорость постоянна (равна V_m), ускорение равно 0.

На пятом участке $[t_4 \dots t_5]$ функция перемещения пропорциональна t^3 (кубическая парабола), скорость уменьшается пропорционально t^2 (квадратичная парабола), ускорение по абсолютной величине растет пропорционально t (линейный закон).

На шестом участке $[t_5 \dots t_6]$ функция перемещения пропорциональна t^2 (квадратичная парабола), скорость уменьшается пропорционально t (линейный закон), ускорение постоянно (равно $-A_m$) на всем участке.

На седьмом участке $[t_6...t_7]$ функция перемещения пропорциональна t^3 (кубическая парабола), скорость уменьшается пропорционально t^2 (квадратичная парабола), ускорение уменьшается по абсолютной величине пропорционально t (линейный закон).

Полное перемещение S_t выполняется за время t_t . При этом участок $[0...t_3]$ является участком разгона, участок $[t_3...t_4]$ – участком перемещения с постоянной скоростью и участок $[t_4...t_7]$ – участком торможения.

Следует отметить, что S-профиль накладывает ограничения на соотношения динамических параметров:

$$\frac{V_m}{A_m} \geq \frac{A_m}{R_m}, \quad (2.4)$$

где V_m – максимальная скорость, м/с;

A_m – максимальное ускорение, м/с²;

R_m – рывок (скорость изменения ускорения), м/с³.

Также имеют место следующие соотношения:

$$S_r = 2 \cdot \frac{A_m^3}{R_m^2} \quad \text{и} \quad S_v = V_m \cdot \left(\frac{V_m}{A_m} + \frac{A_m}{R_m} \right), \quad (2.5)$$

где S_r – перемещение на участке $[0...t_1]$;

S_v – перемещение на участке $[0...t_3]$.

Следует особо отметить частные случаи:

1) для $S_t < S_r$ отсутствуют участки с постоянными скоростью и ускорением $[t_1...t_2]$, $[t_3...t_4]$, $[t_5...t_6]$;

2) для $S_r \leq S_t \leq S_v$ отсутствует участок с постоянной скоростью $[t_3...t_4]$.

2.2. Порядок выполнения работы

1. Проверить соблюдение условий электробезопасности.
2. Провести коммутацию согласно схеме, изображенной на рис. 2.6.
3. Включить питание 230 В на щитах 1 и 2. Открыть вентили на магистрали подачи сжатого воздуха.
4. Включить питание на СУ ЛШД, ЭВМ НР5529А, лазерной пушке, включить источник силового питания фаз – на блоке автоматики перевести переключатель «Сеть» в верхнее положение.
5. Подготовить таблицы данных (табл. 2.1, 2.2).

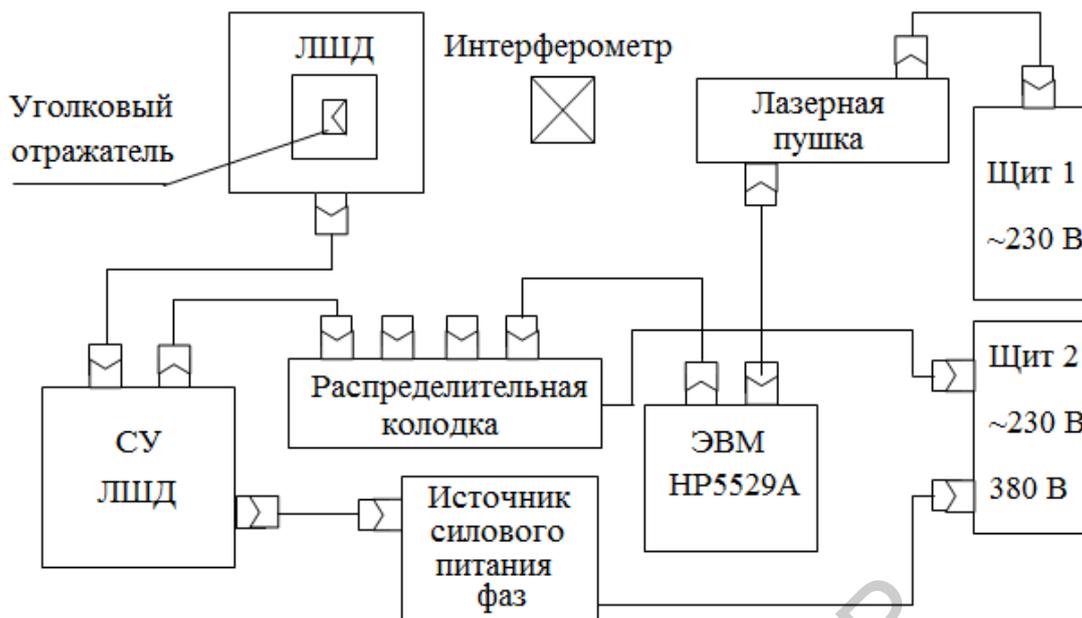


Рис. 2.6. Схема соединений

Таблица 2.1

Параметры сеансов измерений для Т-профиля скорости

Номинальные параметры сеанса измерений			Расчетные параметры сеанса измерений				Значения измеренных параметров сеанса измерений					ΔV
S	V	A	V_{\max}	S_p	t_p	t_s	V_{\max}	s_p	t_p	$A_{\text{НОМ}}$	A_{\max}	
400 000	7000	$2 \cdot 10^6$										
400 000	210 000	$2 \cdot 10^6$										
400 000	350 000	$2 \cdot 10^6$										
400 000	490 000	$2 \cdot 10^6$										
400 000	630 000	$2 \cdot 10^6$										

Таблица 2.2

Параметры сеансов измерений для S-профиля скорости

Номинальные параметры сеанса измерений				Расчетные параметры сеанса измерений					Значения измеренных параметров сеанса измерений				ΔV
S	V	A	R	V_{\max}	S_R	S_{RAR}	A_{\max}	T_S	S_R	T_R	$A_{\text{НОМ}}$	A_{\max}	
400 000	7000	$2 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^7$										
400 000	210 000	$2 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^7$										
400 000	350 000	$2 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^7$										
400 000	490 000	$2 \cdot 10^6$	$1,8 \cdot 10^7$										
400 000	630 000	$2 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^7$										

Обозначения в таблицах: S – путь; V – скорость; A – ускорение; V_{\max} – достигнутая скорость; S_R, S_{RAR} – путь разгона; T_P – время разгона; T_S – общее время прохождения пути; $A_{\text{НОМ}} = V_{\max}/T_P$ – номинальное ускорение; $A_{\max} = \Delta V/\Delta t$ – максимальное (достигнутое для S-профиля) ускорение; $\Delta V = (V_{\max} - V_{\min})/2$ – приращение скорости.

6. Активизировать ярлык «Т-профиль» на ЭВМ СУ ЛШД – на экране появится главное окно программы, изображенное на рис. 2.7.

7. На блоке автоматики последовательно нажать белые кнопки «БУ» и «БУМ». Затем загрузить программу измерений на ЭВМ HP5529A.левой кнопкой мыши дважды щелкнуть по ярлыку «HP5529A Metrology». На экране появится рабочее окно программы, изображенное на рис. П.1.

8.левой кнопкой мыши нажать кнопку «Other meas». На экране появится второе окно программы HP5529A Metrology, изображенное на рис. П.2.

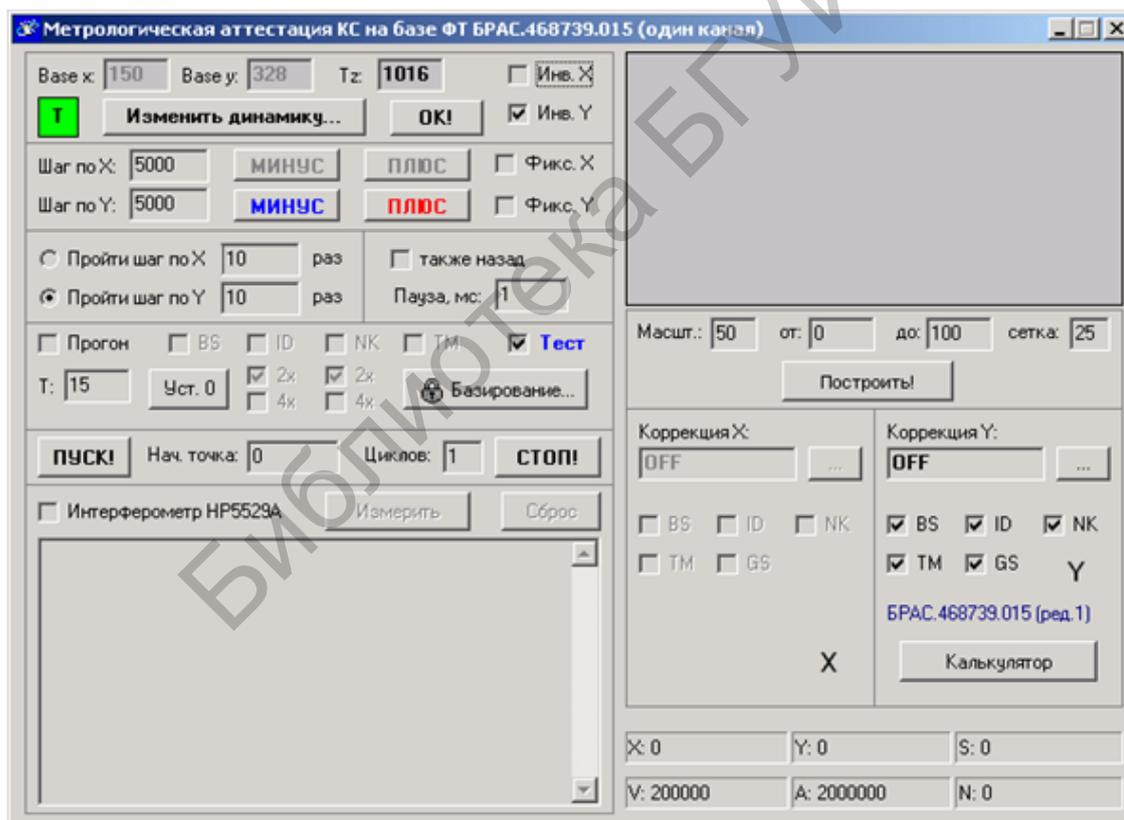


Рис. 2.7. Программа системы управления ЛШД «Т-профиль»

9.левой кнопкой мыши нажать кнопку «Timebase». На экране появится третье окно программы HP5529A Metrology, изображенное на рис. П.3.

10.левой кнопкой мыши нажать кнопку «Set Up Meas». На экране появится четвертое окно программы, изображенное на рис. П.4.

11. В окне редактирования «Sample Interval» установить значение 0,001с. В секции «Start Timer» установить переключатель в положение «Position». В окне редактирования «Start Position» установить значение 1,0 мм. В секции «Stop Timer» установить переключатель в положение «Total Time». В окне редактирования «Total Time» установить значение 7,0 с. Затем нажать кнопку «Collect Data». На экране появится пятое окно программы, изображенное на рис. П.5.

12. Ждать прогрева лазерной пушки:

- появление луча лазера;
- прекращение мерцания светодиода «Ready» на задней панели лазерной пушки.

13. Произвести совмещение оси перемещения индуктора с осью лазерного луча по оптической схеме, изображенной на рис. 2.8.

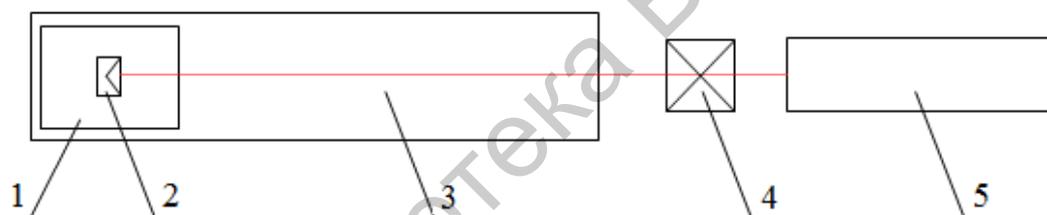


Рис. 2.8. Оптическая схема:

- 1 – индуктор ЛШД; 2 – отражатель; 3 – статор ЛШД; 4 – интерферометр;
5 – лазерная пушка

14. Закрепить отражатель на индукторе ЛШД:

- нижним и боковым штурвалами на треножке лазерной пушки добиться попадания отраженного луча лазера в нижний канал фотоприемника лазерной пушки в крайних положениях индуктора, перемещая его вручную по статору в начало и конец поля перемещений;

- установить интерферометр на пути лазерного луча между статором и лазерной пушкой; подобрать высоту, смещение и разворот интерферометра так, чтобы отраженный луч попадал в нижний канал фотоприемника лазерной пушки; при этом загорается светодиод «Signal» на передней панели лазерной пушки;

- отрегулировать мощность луча (см. индикатор «Beam Strength» на рис. П.5) в крайних положениях индуктора ЛШД на уровне 90...95 %; для этого установить в окне редактирования «Шаг по Y» программы управления ЛШД значение 5000; перемещение индуктора в крайние положения выполнять нажатием кнопок «МИНУС» и «ПЛЮС».

15. В главном окне программы системы управления ЛШД (см. рис. 2.7) установить следующие параметры:

- «Tz», равное периоду нарезки ЛШД, – 480 мкм;
- «Шаг по Y», равный 400 000 (т. е. 400 000 микрошагов); один микрошаг равен 0,48 мкм; путь перемещения – 192 мм;
- установить переключатель «Пройти шаг по Y», ввести количество шагов, равное 1 (раз);
- установить флажок в поле «также назад»;
- в поле «Пауза, мс» – значение 500 мс;
- в поле «Нач. точка» – значение 3000;
- в поле «Циклов» – значение 1;
- флажок «Интерферометр HP5529A» должен быть снят.

16. Установить индуктор ЛШД в исходную позицию. Для этого в главном окне программы управления ЛШД (см. рис. 2.7) вначале снять флажки «Фикс.Х» и «Фикс.У», вручную расположить индуктор в начале пути перемещения и затем установить флажки «Фикс.Х» и «Фикс.У». Нажать кнопку «Уст. 0».

17. В программе управления ЛШД (см. рис. 2.7) нажать кнопку «Изменить динамику». Появится окно настройки скорости перемещения ЛШД в трапецеидальном режиме, изображенное на рис. 2.9.

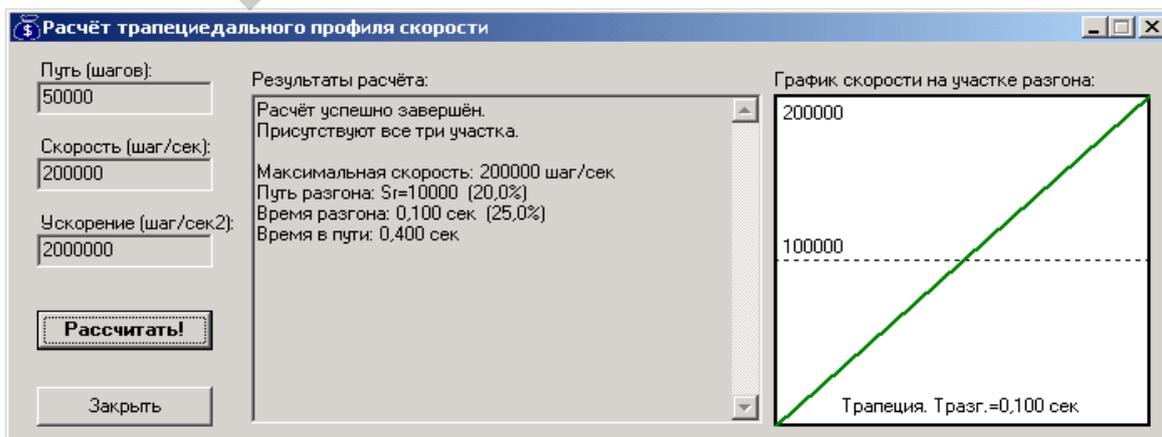


Рис. 2.9. Окно настройки скорости перемещения ЛШД в трапецеидальном режиме

18. Задать путь, скорость, ускорение согласно первой строке заготовленной таблицы «Параметры сеансов измерений для T-профиля скорости» (см. табл. 2.1). Нажать кнопку «Рассчитать».

Программа рассчитывает максимальную скорость (V_{\max}), путь разгона (S_P), время разгона (T_P), время в пути (T_S) и отобразит расчетный график изменения скорости на участке разгона.

Заполнить позиции V_{\max} , S_P , T_P , T_S в 1-й строке заготовленной табл. 2.1. Нажать кнопку «Заккрыть».

19. В программе HP 5529A Metrology (см. рис. П.5) нажать кнопку «Reset Position», затем нажать кнопку «Arm Timer».

20. В главном окне программы управления ЛШД (см. рис. 2.7) нажать кнопку «Пуск». Начнется перемещение. После того как индуктор ЛШД проедет 1 мм, программа HP 5529A Metrology запустит процесс измерений. По истечении 7 с процесс измерений будет остановлен и программа HP 5529A Metrology примет вид рис. П.6.

21. На экране появится график перемещения (синий цвет) или скорости (красный цвет). Для изменения типа отображаемого графика (путь, скорость или ускорение) следует нажать кнопку «Set Up Graph», в появившемся окне установить флажок «Velocity» и сбросить флажок «Position». Затем нажать кнопку «Previous» для возврата в окно (рис. П.6).

22. Для просмотра и сохранения данных измерений в цифровом виде следует нажать кнопку «Show Data». Появится окно, изображенное на рис. П.7.

23. Для сохранения данных измерений необходимо нажать кнопку «Print to File». Появится окно, изображенное на рис. П.8.

В окне «Directories» выбрать папку для сохранения файла.левой кнопкой мыши выбрать диск «C:» и в выпавшем списке – папку «Lab1», затем в окне редактирования «Filename» ввести имя файла в формате $TjSn$, где j – номер таблицы данных, n – номер строки таблицы данных, и нажать кнопку «OK». После выполнения сохранения на экране отобразится окно, представленное на рис. П.7.

Для выполнения сеансов измерений для строк 2...10 таблицы данных следует вернуться в окно, изображенное на рис. П.4, путем последовательного нажатия розовых кнопок «Previous» в каждом появляющемся окне. Затем нажать кнопку «Collect Data». После этого следует повторить пп. 17...23. При выполнении п. 18 на каждом цикле измерений номер строки данных заготовленной табл. 2.1 должен соответствовать номеру сеанса измерений.

24. После окончания всех измерений закрыть программу системы управления ЛШД «Т-профиль». Затем в программе HP5529A Metrology вернуться в окно рис. П.4 путем последовательного нажатия розовых кнопок «Previous» в каждом появляющемся окне. Затем нажать кнопку «Collect Data».

25. Активизировать ярлык «S-профиль» – на экране появится главное окно программы, изображенное на рис. 2.10.

Установить следующие параметры:

- «Tz», равное периоду нарезки ЛШД, – 480 мкм;
- «Шаг по Y», равный 400 000 (т. е. 400 000 микрошагов); один микрошаг равен 0,48 мкм; путь перемещения 192 мм;
- установить переключатель «Пройти шаг по Y», ввести количество шагов, равное 1 (раз);
- установить флажок в поле «также назад»;
- в поле «Пауза, мс» – значение 500 мс;
- в поле «Нач. точка» – значение 3000;
- в поле «Циклов» – значение 1.

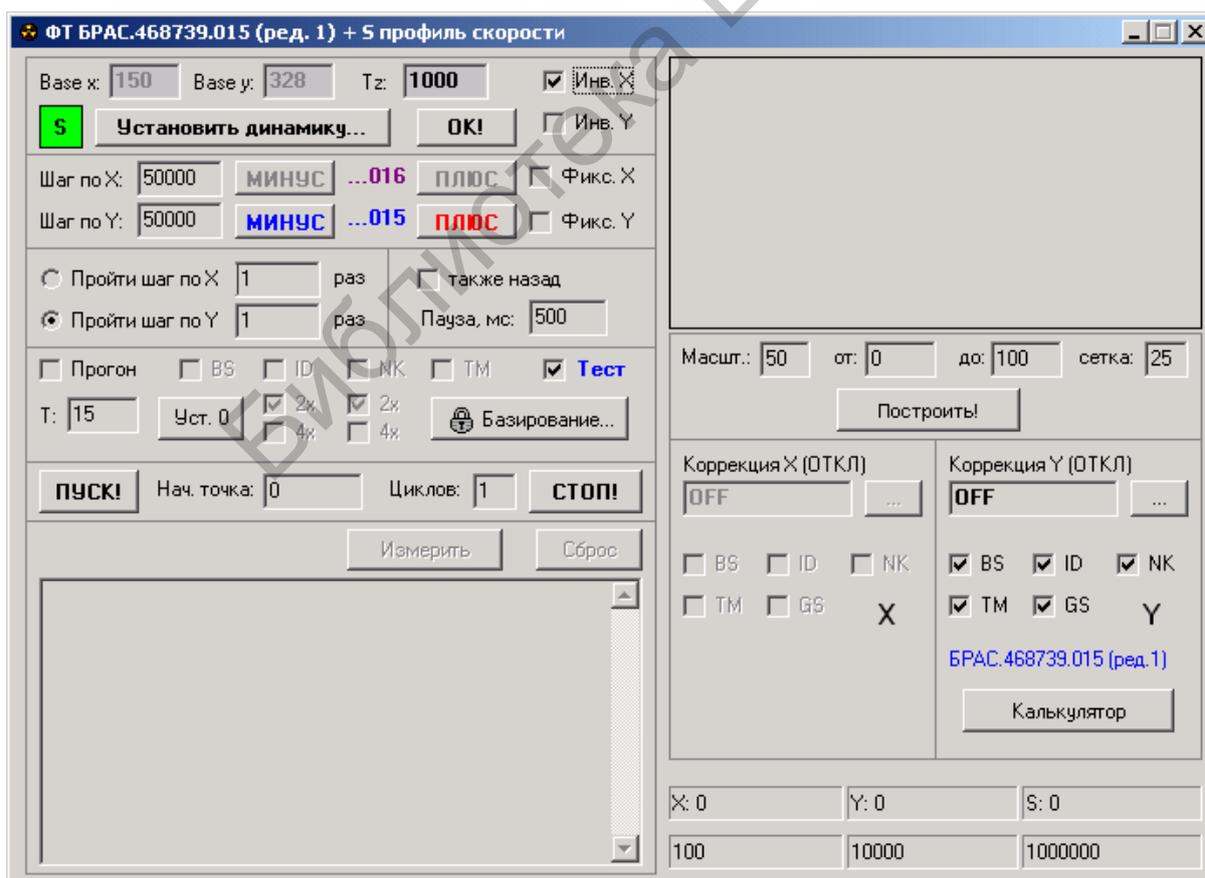


Рис. 2.10. Окно программы системы управления ЛШД «S-профиль»

26. В окне программы управления ЛШД «S-профиль» нажать кнопку «Установить динамику». Появится окно настройки скорости перемещения ЛШД в S-образном режиме, изображенное на рис. 2.11.

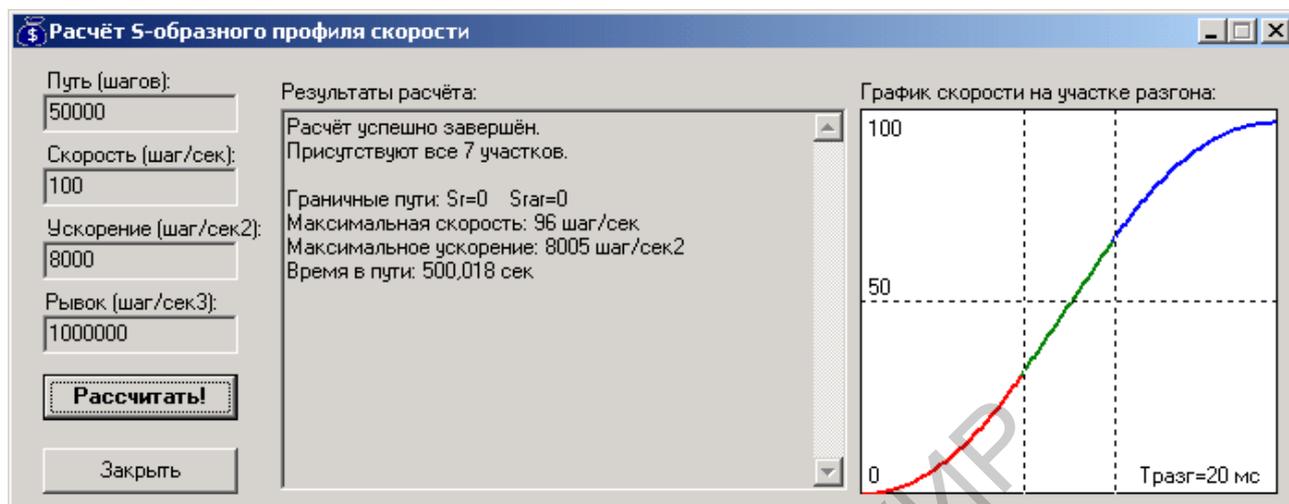


Рис. 2.11. Окно настройки скорости перемещения ЛШД в S-образном режиме

27. Задать путь, скорость, ускорение и рывок согласно 1-й строке заготовленной таблицы «Параметры сеансов измерений для S-профиля скорости» (см. табл. 2.2). Нажать кнопку «Расчитать». Программа рассчитывает граничные пути S_R , S_{RAR} , максимальное ускорение (A_{max}), максимальную скорость (V_{max}) и время в пути (T_S).

Заполнить позиции S_R , S_{RAR} , A_{max} , V_{max} , T_S 1-й строки заготовленной табл. 2.2.

Далее следует нажать кнопку «Закреть».

28. Выполнить пп. 19...23.

29. Для завершения работы с программой HP5529A Metrology необходимо нажать кнопку «Main menu» и затем в появившемся окне – кнопку «Quit». Затем следует завершить работу операционной системы и выключить ЭВМ HP5529A и лазерную пушку. Для выключения СУ ЛШД следует закрыть программу S-профиль, выключить источник силового питания фаз – на блоке автоматики нажать красные кнопки «БУ» и «БУМ» и перевести переключатель «Сеть» в нижнее положение. Затем следует завершить работу операционной системы ЭВМ СУ ЛШД и выключить ЭВМ.

Выключить питание 230 В на щитах 1, 2. Закрывать вентили на магистрали подачи сжатого воздуха.

2.3. Содержание отчета

1. Цель и задачи исследований.
2. Схема измерений.
3. Программы выполнения сеансов измерений.
4. Таблица «Параметры сеансов измерений для Т-профиля скорости» (см. табл. 2.1).
5. Таблица «Параметры сеансов измерений для S-профиля скорости» (см. табл. 2.2).
6. Графики зависимости скорости от времени для Т- и S-профилей скорости.
7. Анализ полученных результатов.

2.4. Контрольные вопросы

1. Схема ЛШД с магнитной системой реактивного тока.
2. Состав электромагнитного фазового модуля.
3. Принцип организации линейного перемещения.
4. Способы управления скоростью.

Лабораторная работа №3

КАЛИБРОВКА ШАГА СЕТКИ ДИСКРЕТНОСТИ КООРДИНАТНОЙ СИСТЕМЫ

Цель работы: изучение принципа формирования сетки дискретности координатной системы высокого разрешения; экспериментальное проведение калибровки шага сетки дискретности набором оптимальных уровней квантования управляющих токов фаз.

3.1. Теоретические сведения

3.1.1. Принцип электронного дробления шага

При использовании для управления линейным шаговым приводом метода перемещения полным шагом дискретность перемещения определяется величиной периода зубцовой поверхности статора и числом фаз двигателя. Уменьшение величины шага путем уменьшения геометрических размеров периода зубцовой поверхности ограничивается технологическими возможностями производства. Выполнение этой задачи достижимо путем разработки систем управления, обеспечивающих дробление шага перемещения ЛШД. Если управлять перемещением ЛШД с помощью коммутации фаз, направления тягового усилия которых противоположны, то электромагнитный фазовый модуль (ЭФМ) будет перемещаться в точки устойчивого равновесия сил, которые не совпадают с точками позиционирования ЭФМ при перемещении полным шагом, а находятся между ними. Величина микрошага перемещения определяется соотношением токов, подаваемых в противодействующие фазы ЭФМ. При этом одна фаза будет обеспечивать тяговое усилие, т. е. усилие в направлении перемещения, другая – удерживающее усилие, т. е. усилие в направлении, противоположном перемещению. Положение ЭФМ при фиксации полюсом $P1$ в начале периода показано на рис. 3.1. Изменения тягового усилия полюсов $P1, P2, P3, P4$ ЭФМ, линейно смещенных относительно друг друга на $0,25\tau, 0,5\tau, 0,75\tau$ в пределах одного периода перемещения при равенстве тяговых усилий в полюсах по постоянной МДС (т. е. $A=B$, где A – тяговое усилие полюсов $P1, P4$; B – тяговое усилие полюсов $P2, P3$), показаны на рис. 3.2.

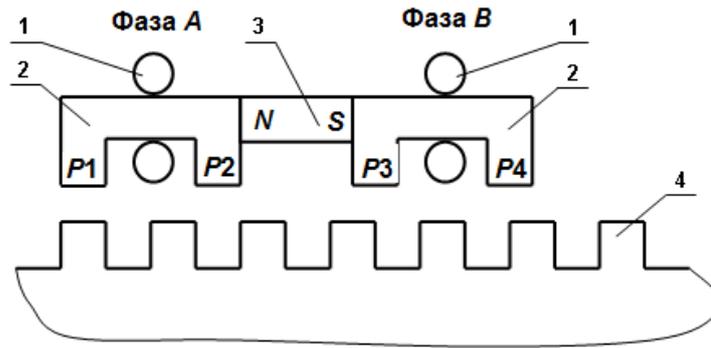


Рис. 3.1. Положение ЭФМ в состоянии фиксации полюсом $P1$: $P1...P4$ – полюса фаз; 1 – обмотки фаз A, B ; 2 – магнитопровод; 3 – постоянный магнит; 4 – статор

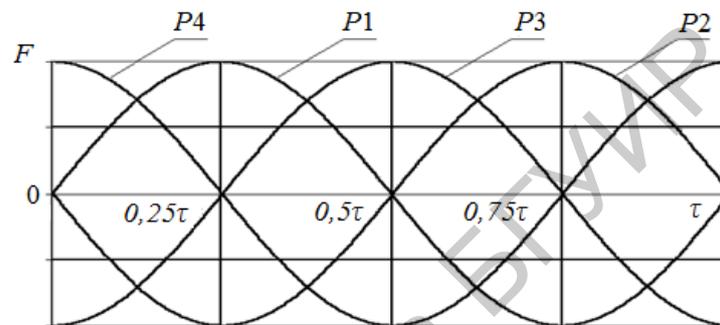


Рис. 3.2. Годографы изменения тягового усилия полюсов ЭФМ внутри периода зубцовой поверхности

При $F < 0$ вектор силы совпадает с направлением увеличения координаты и наоборот. Годографы тяговых сил полюсов ЭФМ при функционировании только МДС фазы A (фаза B обесточена) в направлении доминирования полюса $P1$ показаны на рис. 3.3.

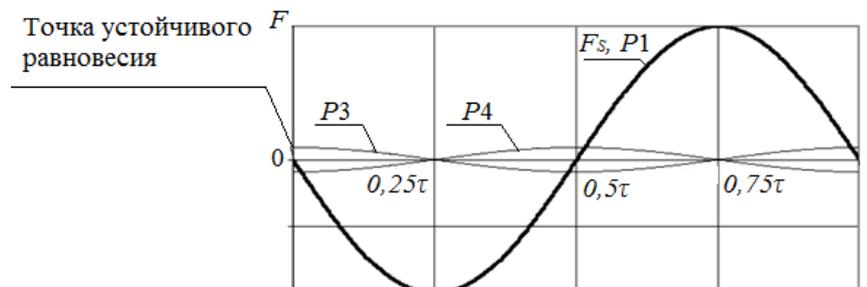


Рис. 3.3. Годографы тягового усилия полюсов $P1, P3, P4$ и суммарного тягового усилия F_s

При доминировании полюса $P1$ ЭФМ устанавливается в позицию начала периода перемещения, которая при $A = B$ совпадает с началом периода периодической зубцовой поверхности статора, т. к. тяговое усилие полюса $P2$ равно 0 вследствие сопряжения зубцов его зубцовой поверхности с пазами зубцовой поверхности статора. Тяговые усилия полюсов $P3$ и $P4$ при этом взаимно компенсируют друг друга, т. к. имеют одну и ту же величину, но направлены противоположно.

Годограф суммарного тягового усилия F_s совпадает с годографом тягового усилия полюса $P1$ и пересекает линию нулевой величины тягового усилия в точках периода перемещения 0τ , $0,5\tau$, τ . Координаты 0τ и τ представляют одну и ту же точку, которая является концом предыдущего и началом следующего периода. Действия тяговой силы слева и справа от точки с координатами 0τ , τ направлены к этой же точке, которая является точкой позиционирования – узлом сетки координат. В точке с координатами $0,5\tau$ тяговые силы справа и слева направлены от нее, следовательно, ЭФМ в этой точке позиционироваться не будет, а перейдет в точку с координатами 0τ . Годографы тяговых сил полюсов ЭФМ при функционировании МДС фаз A и B с амплитудами 0,9 и 0,1 от номинального значения, направленные на доминирование в фазах полюсов $P1$ и $P4$ соответственно, показаны на рис. 3.4.

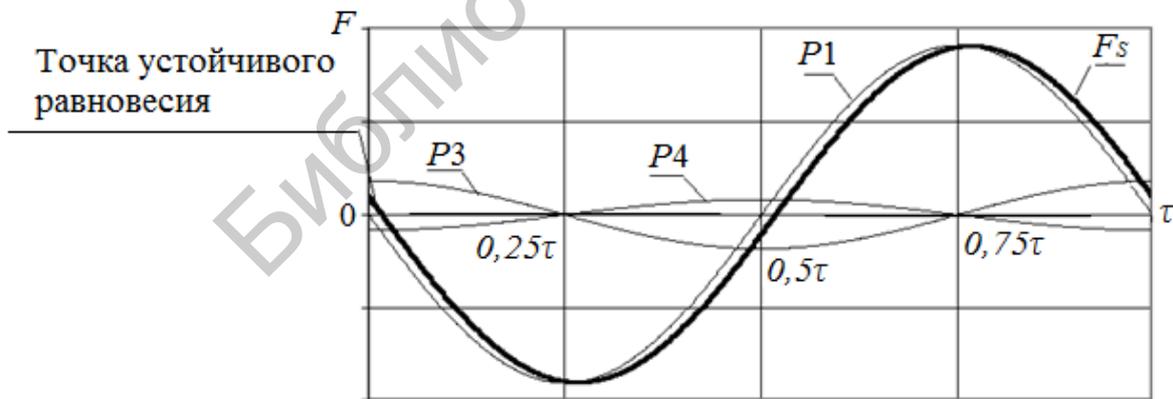


Рис. 3.4. Годографы тягового усилия полюсов $P1$, $P3$, $P4$ и суммарного тягового усилия F_s (шаг дробления 1)

Так как в этом случае тяговое усилие полюса $P4$ больше, чем полюса $P3$, то они не компенсируют друг друга. Дополнительное тяговое усилие, развива-

емое фазой B , смещает ЭФМ от начала периода вправо. Годограф суммарного тягового усилия F_s не совпадает с годографом тягового усилия полюса $P1$ и сдвинут вправо (см. рис. 3.4). Точка устойчивого равновесия также сдвинулась на один микрошаг вправо. При продолжении квантования управляющего воздействия МДС фаз точка устойчивого равновесия будет перемещаться микрошагами вправо. Размер микрошага при этом определяется соотношением уровней квантования управляющего воздействия (токов фаз). При условии синусоидального распределения тягового усилия полюсов внутри периода зубцовой поверхности положения точек устойчивого равновесия при дроблении шага будут расположены равномерно. На практике распределение сил полюсов отклоняется от синусоидального в силу неодинаковости величины периода зубцовых поверхностей статора и полюсов ЭФМ, неодинаковости магнитного сопротивления полюсов и областей статора, изменения размеров ЭФМ, а также вследствие теплового дрейфа, тангажа и рыскания индуктора при перемещении по статору, магнитного гистерезиса материалов ЭФМ и статора. При отклонении от синусоидальной формы распределения тягового усилия дробление периода будет неравномерным. Семейство кривых погрешности дробления периода перемещений на поле в 120 периодов показано на рис. 3.5.

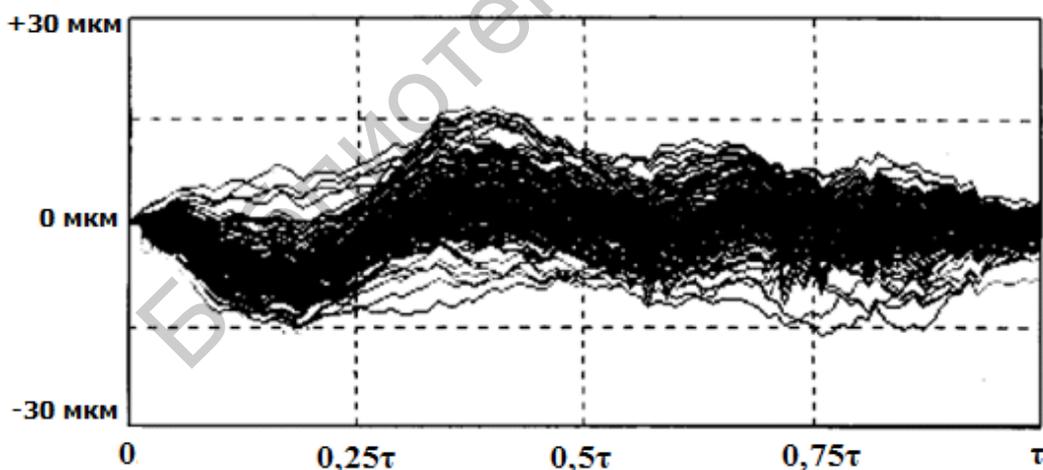


Рис. 3.5. Семейство кривых погрешности дробления периода перемещения на поле в 120 периодов

Отдельная кривая погрешности при переходе от одного периода перемещения к другому смещается по уровню координат и «разворачивается» относительно линии нулевой погрешности. При этом при прохождении всего поля ко-

ординатной системы семейство кривых погрешности дробления периода перемещения занимает область, изображенную на рис. 3.6.

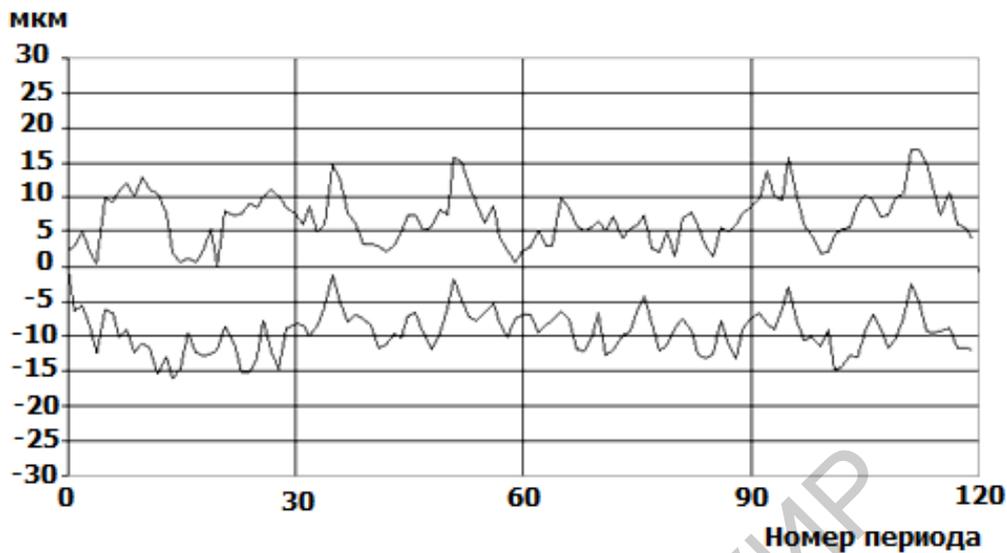


Рис. 3.6. Максимальные отклонения погрешности от нулевого значения для 120 периодов перемещения

Гистограмма распределения погрешности для 120 периодов перемещения (рис. 3.7) показывает, что в пределах полосы ± 5 мкм находится большая часть узлов сетки координат, а именно 71 % отклоняющихся от номинальных значений.

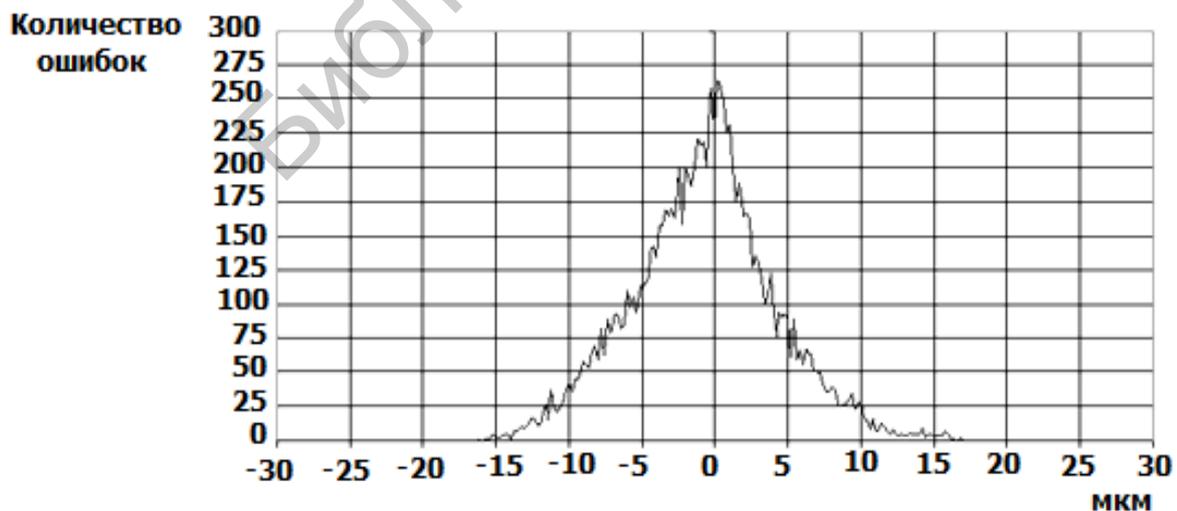


Рис. 3.7. Гистограмма распределения величины погрешности для 120 периодов перемещения

3.1.2. Формирование статической сетки дискретности высокого разрешения

Формирование сетки дискретности координатных систем высокого разрешения достигается дроблением полного шага перемещения линейного шагового двигателя на микрошаги. При дроблении полного шага перемещения результирующее тяговое усилие перемещения формируется фазовыми микродвижущими силами электромагнитных фазовых модулей, тяговые усилия каждой из которых направлены противоположно друг другу. Координаты узла сетки дискретности координатной системы (т. е. точки позиционирования ЭФМ) в этом случае определяются соотношением величин взаимодействующих фазовых МДС. Изменение соотношения величин действующих фазовых МДС приводит к перемещению ЭФМ в другой узел координатной сетки. В статической сетке дискретности координатной системы координаты узлов определяются координатами позиционирования ЭФМ при постоянных уровнях квантования фазовых МДС.

Координаты узлов сетки дискретности координатной системы при использовании в ЛШД двухфазного ЭФМ с постоянной МДС, расположенной между фазами, определяются из выражения

$$\begin{aligned} &|A + E_a| \sin \frac{2\pi(x + S_1\tau)}{\tau} + |B - E_a| \sin \frac{2\pi(x + S_2\tau)}{\tau} + \\ &+ |B - E_b| \sin \frac{2\pi(x + S_3\tau)}{\tau} + |A + E_b| \sin \frac{2\pi(x + S_4\tau)}{\tau} = 0, \end{aligned} \quad (3.1)$$

где E_a, E_b – тяговые силы, развиваемые фазовыми МДС на полюсах фаз A и B ЭФМ.

Силы E_a и E_b должны быть периодическими функциями с конечными значениями на всей области изменения своего аргумента и иметь фазовый сдвиг относительно друг друга на величину $0,25$ периода изменения функции. Функциями, удовлетворяющими этому условию, являются синус и косинус. В соответствии с вышеизложенным

$$E_a = E \cos \alpha; E_b = E \cos \left(\alpha + \frac{\pi}{2} \right) = -E \sin \alpha, \quad (3.2)$$

где E – амплитудное значение тяговой силы, развиваемое фазовой МДС на полюсах ЭФМ.

Фазовые смещения координат полюсов S_1, S_2, S_3, S_4 в периоде зубцовой поверхности статора примем равными $0, 0,5\tau, 0,75\tau$ и $0,25\tau$ соответственно. Тогда выражение (3.1) будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
& |A + E_a| \sin \frac{2\pi \cdot x}{\tau} + |B - E_a| \sin \frac{2\pi(x + 0,5\tau)}{\tau} + \\
& + |B - E_b| \sin \frac{2\pi(x + 0,75\tau)}{\tau} + |A + E_b| \sin \frac{2\pi(x + 0,25\tau)}{\tau} = 0.
\end{aligned} \tag{3.3}$$

После несложных преобразований (3.3) получим

$$|A + E_a| \sin \frac{2\pi \cdot x}{\tau} + |B - E_a| \sin \frac{2\pi \cdot x}{\tau} + |B - E_b| \cos \frac{2\pi \cdot x}{\tau} + |A + E_b| \cos \frac{2\pi \cdot x}{\tau} = 0. \tag{3.4}$$

3.1.3. Принцип выравнивания плотности узлов сетки дискретности

На отклонения координат узлов сетки дискретности координатной системы от номинальных значений оказывают влияние многие факторы, действие которых приводит в конечном итоге к анизотропности магнитных свойств системы периодической зубцовой поверхности статора и полюсов ЭФМ. Действие наиболее изученных к настоящему времени факторов носит случайный характер и изменяется в зависимости от положения периода перемещения в поле координатной системы и времени функционирования координатной системы. Количественная оценка действия одного фактора формирования координатной системы практически невозможна, т. к. факторы действуют всегда совместно. Поэтому подавление действия одного фактора может привести к доминированию действия другого, что в конечном итоге может привести к ухудшению точностных характеристик координатной системы.

Координатное пространство перемещений является непрерывным, т. е. не содержит зон, в которых не могут располагаться узлы сетки дискретности координатной системы. Но вследствие различных факторов искажения тягового усилия полюсов ЭФМ в геометрическом пространстве координатной системы появляются искажения, которые выражаются разной плотностью узлов сетки дискретности при равномерном шаге изменения аргумента функции управляющего воздействия α . Так как дискретность пространства координатной системы определяется дискретностью изменения величины α , которая имеет бесконечное число значений, то, применяя переменную дискретность α для различных областей координатной системы, можно добиться выравнивания плотности узлов координатной сетки дискретности на поле перемещений. Дискретность задания значений α в этом случае ограничена только возможностями системы управления.

Применяя переменную дискретность значений α , можно сформировать наборы уровней квантования управляющего воздействия, использование кото-

рых позволит выровнять плотность узлов сетки дискретности координатной системы по всему полю перемещений. Для этого требуется выполнить базовую коррекцию сетки дискретности периода перемещений, коррекцию накопленной погрешности координаты начала периода перемещения, минимизировать погрешность координат узлов сетки дискретности координатной системы в поле периода перемещения и влияние температурного фактора.

3.1.4. Коррекция неравномерности шага сетки дискретности периода перемещения

Реализация коррекции неравномерности шага сетки дискретности координатной системы на периоде перемещений ЛШД достигается определением оптимальных уровней квантования управляющих токов фаз, минимизирующих погрешность координаты узла сетки дискретности. Процедура коррекции включает следующие стадии:

- 1) расчет номинальных координат узлов сетки дискретности в периоде перемещений;
- 2) расчет номинальных значений кодов уровней квантования управляющих токов фаз;
- 3) измерение фактических координат узлов сетки дискретности на периоде перемещения;
- 4) назначение каждому узлу сетки дискретности значений уровней квантования управляющих токов, соответствующих минимальной погрешности координаты. Результаты расчетов и измерений фиксируются в соответствующих элементах табличного массива, эквивалент которого показан в виде табл. 3.1.

Таблица 3.1

Коды уровней квантования токов фаз, соответствующих узлам координатной сетки дискретности

Индекс координаты узла	Номинальные значения кодов уровней квантования токов		Номинальная координата узла	Фактическая координата узла
	Фаза A	Фаза B		
k	A_k	B_k	C_k	M_k
0	A_0	B_0	$C_0 = 0$	M_0
1	A_1	B_1	C_1	M_1
...
U	A_U	B_U	$C_U = \tau$	M_U

На первой стадии столбец C_k табл. 3.1 заполняется значениями номинальных координат узлов сетки дискретности, которые рассчитываются по формуле

$$C_k = \frac{\tau}{U} \cdot k, \quad (3.5)$$

где τ – период зубцовой поверхности;

U – количество уровней квантования фазовых токов;

$k = 0 \dots U$ – индекс координаты узла сетки дискретности.

На второй стадии выполняется расчет номинальных значений кодов уровней квантования управляющих токов фаз (столбцы A_k, B_k в табл. 3.1) по формулам:

$$\begin{aligned} A_k &= INT \left[\frac{U}{2} - \left(\frac{U}{2} - 1 \right) \cdot \sin \left(\frac{2\pi C_k}{\tau} \right) \right]; \\ B_k &= INT \left[\frac{U}{2} - \left(\frac{U}{2} - 1 \right) \cdot \cos \left(\frac{2\pi C_k}{\tau} \right) \right], \end{aligned} \quad (3.6)$$

где A_k, B_k – значения кодов уровней квантования токов для k -го узла сетки дискретности;

C_k – номинальная координата узла сетки дискретности;

INT – операция взятия целой части.

На третьей стадии осуществляется цикл измерения фактических координат (столбец M_k в табл. 3.1), в которые позиционируется индуктор ЛШД при управлении соответствующими кодами уровней квантования токов фаз из столбцов A_k, B_k табл. 3.1. Экспериментально установлено, что измерение координаты каждого (k -го) узла сетки дискретности нецелесообразно из-за больших временных затрат. Для сокращения продолжительности третьей стадии позиционирование индуктора ЛШД осуществляется по узлам, номинальные координаты которых соответствуют укрупненной сетке дискретности с шагом порядка 10 мкм. В узлах укрупненной сетки производилось измерение фактической координаты, а для каждого из пропущенных узлов исходной сетки дискретности фактическая координата рассчитывалась методом линейной интерполяции по формуле

$$M_k = C_k \cdot \left(\frac{M_{r+1} - M_r}{S} \right) + M_{r+1} - C_{r+1} \cdot \left(\frac{M_{r+1} - M_r}{S} \right), \quad (3.7)$$

где M_k – рассчитываемая фактическая координата позиционирования;

M_{r+1} – измеренная координата последующего узла укрупненной сетки дискретности;

M_r – измеренная координата предшествующего узла укрупненной сетки дискретности;

S – шаг укрупненной сетки дискретности, т. е. расстояние между номинальными координатами узлов $r+1$ и r , равное $S = C_{r+1} - C_r$;

C_{r+1} – номинальная координата последующего узла укрупненной сетки дискретности;

C_r – номинальная координата предшествующего узла укрупненной сетки дискретности.

На четвертой стадии осуществляется определение кодов уровней квантования управляющих токов, минимизирующих погрешность ε_k позиционирования в k -й узел сетки дискретности, и присвоение k -й позиции кодов уровней квантования фазовых токов A_k, B_k кодам уровней квантования фазовых токов A_l, B_l l -й позиции, для которой выполняется условие

$$\varepsilon_k = \min |C_k - M_l|, \quad (3.8)$$

где ε_k – погрешность позиционирования в k -й узел сетки дискретности;

C_k – номинальная координата k -го узла сетки дискретности;

M_l – фактическая координата l -го узла сетки дискретности.

3.1.5. Общий алгоритм формирования набора оптимальных уровней квантования управляющих токов фаз

Алгоритм формирования набора оптимальных уровней квантования управляющих токов фаз линейного шагового двигателя включает пять стадий:

- технологический прогон;
- базовая коррекция сетки дискретности периода перемещений;
- коррекция накопленной погрешности координаты начала периода перемещения;
- минимизация погрешности координат узлов сетки дискретности координатной системы в поле периода перемещения;
- определение температурного фактора.

Технологический прогон ЛШД выполняется для приведения параметров составных частей координатной системы к рабочим значениям. В результате прогона зубцы зубцовых поверхностей статора и полюсов ЭФМ, сами полюса ЭФМ и периоды перемещения занимают рабочие координаты. Магнитные свойства системы «зубцовая поверхность статора – зубцовая поверхность полюсов ЭФМ» входят в рабочий диапазон изменения, электронные компоненты

системы управления – в рабочий режим. В целом координатная система выходит на рабочую область изменения анизотропии. Базовая коррекция сетки дискретности периода перемещений выполняется на случайно выбранном в поле координатной системы периоде перемещения. Для этого ЭФМ фиксируется по постоянной МДС в произвольном положении поля координатной системы и фиксируется в начале периода перемещения управляющим воздействием при $\alpha=0$, т. е. величинами фазовых МДС $E_a = 0$ и $E_b = E$. Далее при изменении α с шагом $2\pi/100$ ЭФМ перемещается в узлы сетки дискретности координатной системы, расположенные в поле периода перемещения. Результаты измерений фиксируются в массиве, элементами которого являются записи, содержащие номинальную координату узла в периоде перемещения, уровни квантования фазовых МДС фаз E_a, E_b , измеренную координату узла сетки дискретности.

3.2. Порядок выполнения работы

1. Проверить соблюдение условий электробезопасности.
2. Провести коммутацию согласно схеме, изображенной на рис. 2.6 (см. лабораторную работу №2).
3. Включить питание 230 и 380 В на щитах 1 и 2, включить подачу воздуха.
4. Включить питание на ЭВМ HP5529A, лазерной пушке.
5. Включить питание на СУ ЛШД. Для этого необходимо:
 - на блоке автоматики перевести переключатель «Сеть» в верхнее положение;
 - на блоке автоматики нажать кнопки «БУМ» и «БУ».
6. Загрузить программу аттестации. Для этого необходимо активизировать ярлык «Т-профиль» на экране ЭВМ СУ ЛШД. После этого на экране появится рабочее окно программы, изображенное на рис. 3.8.
7. Загрузить программу измерений на ЭВМ HP5529A. Активизировать ярлык «MKS-2008» – на экране появится рабочее окно программы (рис. 3.9).
8. Ждать прогрева лазерной пушки:
 - появление луча лазера;
 - прекращение мерцания светодиода «Ready» на задней панели лазерной пушки.

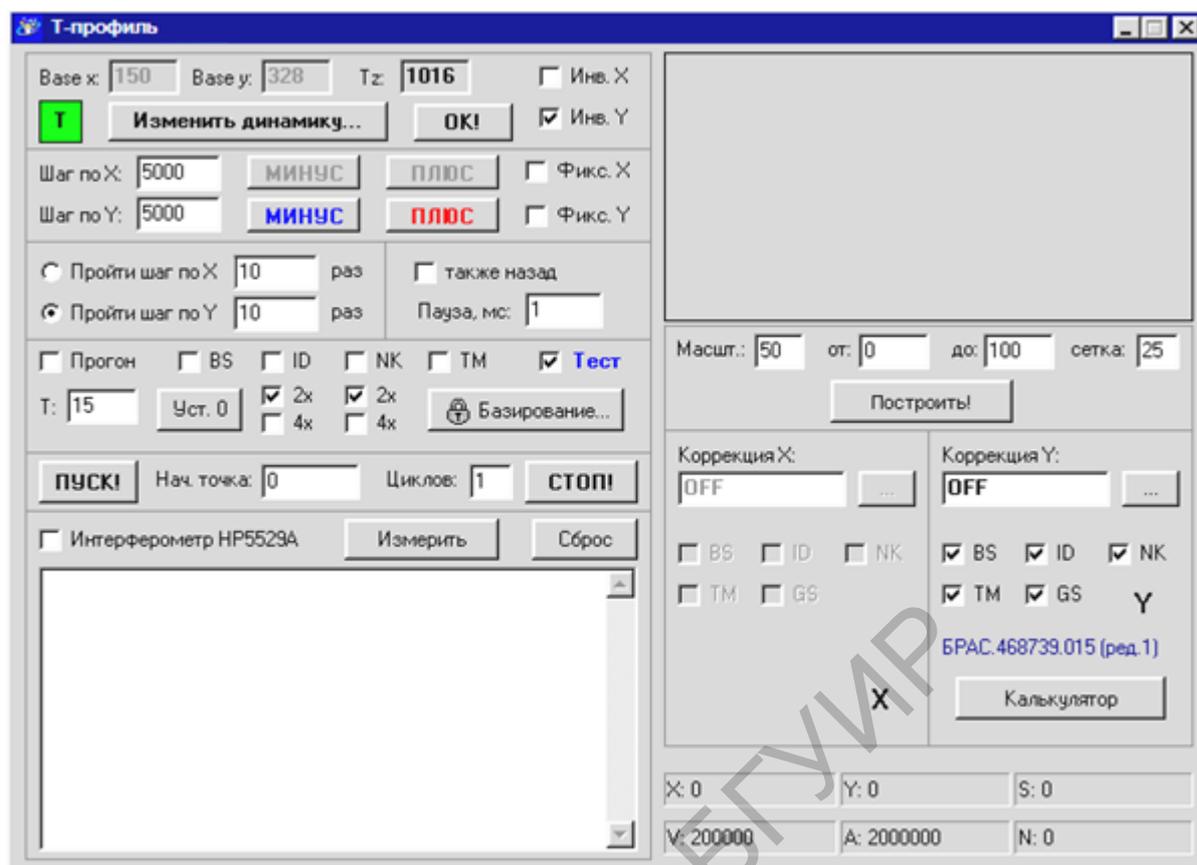


Рис. 3.8. Главное окно программы Т-профиль

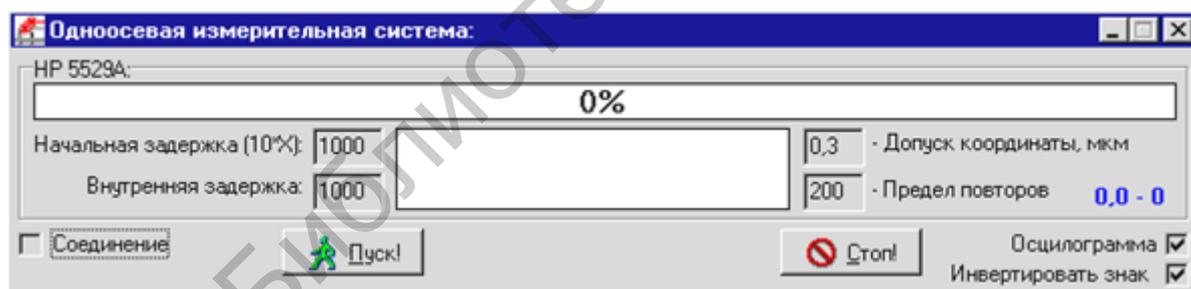


Рис. 3.9. Главное окно программы измерений MKS-2008

9. Произвести совмещение оси перемещения индуктора с осью лазерного луча по оптической схеме, изображенной на рис. 2.8 (см. лабораторную работу №2).

10. Закрепить отражатель на индукторе ЛШД:

- нижним и боковым штурвалами на треножнике лазерной пушки добиться попадания отраженного луча лазера в нижний канал фотоприемника лазерной пушки в крайних положениях индуктора, перемещая его вручную по статору в начало и конец поля перемещений;

- установить интерферометр на пути лазерного луча между статором и лазерной пушкой; подобрать высоту, смещение и разворот интерферометра так, чтобы отраженный луч попадал в нижний канал фотоприемника лазерной пушки; при этом загорается светодиод «Signal» на передней панели лазерной пушки;

- инициализировать программу измерений на ЭВМ HP5529A. Для этого необходимо навести курсор мыши на поле окна программы и нажать правую кнопку мыши. В появившемся окне левой кнопкой мыши активизировать пункт «Отключение HP5529A». Еще раз нажать правую кнопку мыши. В появившемся окне левой кнопкой мыши активизировать пункт «Инициализация HP5529A». Через несколько секунд в окне программы начинает отображаться мощность принимаемого лазерного луча. Затем установить в окне «Допуск координаты» значение 10 мкм.

11. Переместить индуктор ЛШД в крайнее правое положение поля перемещения и отрегулировать мощность луча лазерной пушки в пределах 90...95 % (поперечным сдвигом статора, подъемом или смещением лазерной пушки механизмами треножника). Мощность луча отображается на экране ЭВМ HP5529A в программе MKS-2008 (см. рис. 3.8).

12. В программе Т-профиль установить флаг «Фикс. X» и сбросить флаг «Фикс. Y». Вручную переместить индуктор ЛШД в крайнее левое положение поля перемещения и отрегулировать мощность луча лазерной пушки в пределах 90...95 % (поперечным сдвигом статора, подъемом или смещением лазерной пушки с помощью механизмов треножника).

Сохраняя установку флагов «Фикс. X», «Фикс. Y», повторять пп. 11, 12 до тех пор, пока мощность луча лазерной пушки будет в пределах 90...95 %.

13. Установить связь ЭВМ HP5529A с СУ ЛШД. Для этого в программе MKS-2008 включить флаг «Соединение». В появившемся окне указать номер СОМ-порта 2 и активизировать кнопку «ОК». В окне программы появится сообщение «Порт готов к приему».

Активизировать кнопку «ПУСК». Кнопка «ПУСК» становится недоступной.

14. Подготовить ЛШД к калибровке:

- в окне программы Т-профиль сбросить флаг «Фикс. Y» и установить флаг «Фикс. X»;

- установить вручную индуктор в крайнее правое положение;

- в окне программы Т-профиль установить флаг «Фикс. Y»;

- в окне программы Т-профиль установить в окне «Шаг по Y» значение 3000 и активизировать кнопку «ПЛЮС» красного цвета;

- в окне программы Т-профиль активизировать кнопку «Уст. 0».

15. Выполнить прогон ЛШД.

Для этого необходимо в программе Т-профиль:

- определить зону контроля: в окне «Шаг по Y» установить значение «230 000», в окне «Пройти шагов по Y» – значение «1».

- в окне «Т:» задать время прогона 10 мин;

- снять флаги: «BS» – базовая коррекция; «ID» – индивидуальная коррекция; «НК» – накопленная погрешность; «Тест»;

- установить флаг «Прогон»;

- активизировать кнопку «ПУСК»;

- ждать окончания прогона; по окончании прогона кнопка «ПУСК» станет доступной.

16. Настроить программы Т-профиль и MKS-2008:

- установить в окне «Тz» программы Т-профиль значение 480 мкм и активизировать кнопку «ОК»;

- установить связь между программами Т-профиль и MKS-2008, для этого в программе Т-профиль установить флаг «Интерферометр HP5529A», в появившемся окне указать номер СОМ-порта 2 и активизировать кнопку «ОК»;

- проверить связь между программами: в программе Т-профиль активизировать кнопку «Сброс» – в текстовом окне в левом нижнем углу окна программы Т-профиль должно появиться сообщение «Reset».

17. Определить исходную погрешность координат узлов сетки дискретности координатной оси ЛШД.

В программе Т-профиль необходимо:

- определить зону контроля: в окне «Шаг по Y» установить значение 50, в окне «Пройти шагов по Y» – значение 460;

- снять флаги: «BS» – базовая коррекция; «ID» – индивидуальная коррекция; «НК» – накопленная погрешность; «2х»; «2х»; «Прогон»;

- установить флаг «Тест»;

- установить в поле «Масштаб» значение 50;

- нажать кнопку «...» рядом с окном «Коррекция Y», в появившемся окне ввести значение 0 и активизировать кнопку «ОК»;

- активизировать кнопку «ПУСК».

Кнопка «ПУСК» становится недоступной до завершения всего цикла измерений. На экране в правом верхнем углу отображается график погрешности

координат узлов. В текстовом окне в левом нижнем углу окна программы Т-профиль отображаются текущие значения результатов измерений.

18. По окончании теста сохранить результаты измерений. Для этого установить курсор мыши в текстовое окно результатов измерений программы Т-профиль и нажать левую кнопку мыши. Затем нажать клавишу «S» на клавиатуре. В появившемся окне выбрать папку «C:\lab1_1\», набрать имя файла «Тест_ЛШД1» и нажать кнопку «Сохранить».

19. Выполнить программирование калибровки.

В программе Т-профиль необходимо:

- определить зону контроля: в окне «Шаг по Y» установить значение 50, в окне «Пройти шагов по Y» – значение 460;

- установить флаги: «BS» – базовая коррекция; «ID» – индивидуальная коррекция; «NK» – накопленная погрешность; «Тест» – просмотр результатов калибровки;

- установить в поле «Масштаб» значение 50;

- нажать кнопку «...» рядом с окном «Коррекция Y», в появившемся окне ввести значение 0 и активизировать кнопку «ОК»;

- запустить процедуру калибровки активизацией кнопки «Пуск».

На экране в правом верхнем углу последовательно отображаются графики погрешностей – базовой индивидуальной и накопленной. В текстовом окне в левом нижнем углу окна программы Т-профиль отображаются текущие значения результатов измерений.

После завершения калибровки кнопка «ПУСК» становится доступной.

20. Сохранение результатов:

- в программе MKS-2008 последовательно левой кнопкой мыши активизировать кнопки «Стоп» и в правом верхнем углу программы;

- закрыть программу Т-профиль;

- на ЭВМ СУ ЛШД запустить программу Проводник;

- открыть папку «C:\DataCS»;

- скопировать в папку «C:\Lab1_1» следующие файлы:

z1_bs_do.txt – исходная погрешность шага сетки дискретности;

z2_bs_po.txt – базовая погрешность шага сетки дискретности после калибровки;

z3_id_do.txt – исходная погрешность шага сетки дискретности на зоне контроля;

z4_nk_do.txt – накопленная погрешность периода перемещения на зоне контроля;

z5_ts_po.txi – погрешность калиброванного шага сетки дискретности координатной оси ЛШД;

- выключить источник силового питания фаз ЛШД, для этого последовательно нажать красные кнопки «БУ» и «БУМ»;

- переписать на внешний носитель файлы Тест_ЛШД1.txt, z1_bs_do.txt, z2_bs_po.txt, z3_id_do.txt, z4_nk_do.txt, z5_ts_po.txi.

21. Завершить работу операционных систем на ЭВМ СУ ЛШД и HP5529A и выключить обе ЭВМ.

3.3. Содержание отчета

1. Цель и задачи исследований.
2. Схема измерений.
3. Графики экспериментальных данных: график исходной погрешности координат узлов сетки дискретности, график погрешности калиброванного шага сетки дискретности, график исходной погрешности шага сетки дискретности, график базовой погрешности шага сетки дискретности после калибровки.
4. Анализ полученных результатов.

3.4. Контрольные вопросы

1. Принцип электронного дробления шага.
2. Причины неравномерности сетки дискретности координатной системы.
3. Методика определения оптимальных уровней квантования управляющих токов фаз.
4. Алгоритм формирования набора оптимальных уровней квантования управляющих токов фаз.

Лабораторная работа №4

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОГО ТЯГОВОГО УСИЛИЯ ЛИНЕЙНОГО ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: исследование изменения величины усилия позиционирования для разных точек позиционирования периода перемещения.

4.1. Теоретические сведения

Линейный шаговый двигатель (ЛШД) является функциональной системой преобразования величины управляющей магнитодвижущей силы (МДС) в шаг линейного перемещения, состоящей из рабочих поверхностей статора и полюсов электромагнитных фазовых модулей (ЭФМ), содержащих постоянную и управляющие (фазовые) МДС.

Образующей рабочих поверхностей статора и полюсов ЭФМ является периодическая зубцовая поверхность с периодом τ , шириной зуба и паза $0,5\tau$.

Рабочие поверхности статора и полюсов ЭФМ разделены зазором. Взаимодействие зубцовых поверхностей статора и полюсов ЭФМ происходит только через торцевые поверхности зубцов.

Координаты зубцов рабочих поверхностей разных полюсов ЭФМ образуют ряд смещений в координатах периода зубцовой поверхности статора, каждый член которого определяется по формуле

$$S_n = \frac{(n-1)\tau}{2f}, \quad (4.1)$$

где f – количество фаз ЭФМ;

$$n=1 \dots 2f.$$

Количество фаз для осуществления перемещения должно быть больше или равно 2, минимальное количество полюсов для их реализации определяется формулой

$$N_{p \min} = 2f. \quad (4.2)$$

Объединение полюсов и фазовой МДС образуют фазу ЭФМ. Координаты зубцов рабочих поверхностей полюсов фазы должны иметь между собой

смещение $0,5\tau$ в координатах периода зубцовой поверхности статора. Отдельные фазы должны иметь между собой смещения в координатах периода зубцовой поверхности статора, определяемые по формуле

$$S_{fn} = \frac{(n-1)\tau}{2f}, \quad (4.3)$$

где $n = 1 \dots f$.

ЭФМ может быть n -фазовыми. Однако любой n -фазовый ЭФМ является комбинацией однофазовых ЭФМ.

Магнитный поток постоянной МДС проходит через полюса фазы в одном направлении. Магнитный поток фазовой МДС замыкается в пределах фазы, поэтому он имеет разные направления в полюсах фазы, примыкающих к разным полюсам фазовой МДС. Схема циркуляции магнитных потоков фазовых и постоянных МДС двухфазового ЭФМ приведена на рис. 4.1.

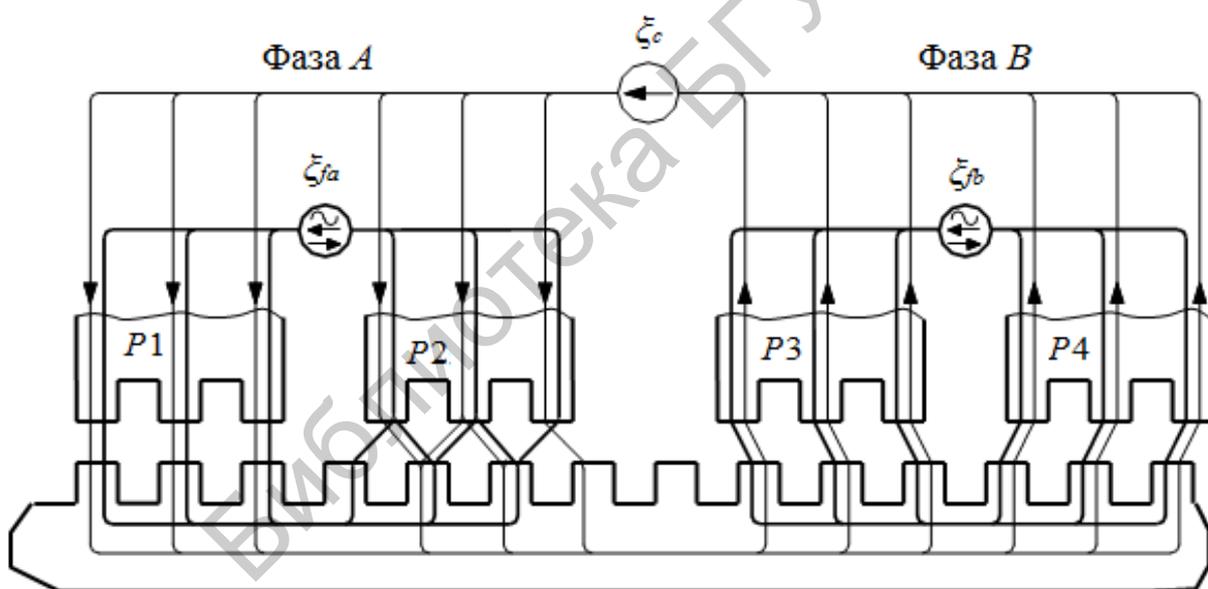


Рис. 4.1. Схемы циркуляции магнитных потоков МДС:

ξ_c – постоянные МДС; ξ_{fa} , ξ_{fb} – фазовые МДС фаз А, В; P1, P2, P3, P4 – полюса фаз

Двухфазовый ЭФМ является минимальным ЭФМ, позволяющим выполнить перемещение. В двухфазовом ЭФМ в соответствии с формулой (4.1) зубцовые поверхности полюсов имеют смещение $0, 0,25\tau, 0,5\tau, 0,75\tau$.

При активизации фазовых МДС магнитные потоки фазовых и постоянных МДС будут направлены встречно и согласно в разных полюсах одной фазы ЭФМ в зависимости от полярности фазовой МДС. При этом в полюсах с со-

гласным направлением магнитных потоков магнитные домены ферромагнитного вещества магнитопровода полюса будут более точно ориентированы в направлении силовых линий магнитного поля потока, чем в полюсах со встречными магнитными потоками, т. к. каждый из потоков в этом случае будет ориентировать магнитные домены в своем направлении. То есть полюс, имеющий согласно направленные потоки, будет генерировать силовое магнитное поле более высокой интенсивности, чем полюс со встречными потоками. Полюс становится доминирующим по силовому воздействию. Аналогичные явления будут происходить в областях, расположенных под соответствующими полюсами ЭФМ, но полярность магнитного поля у этих областей будет противоположной. Силовое взаимодействие областей статора и полюсов ЭФМ приведет к нарушению равновесия сил и ЭФМ сместится в новую точку позиционирования, где зубцы доминирующего полюса будут наиболее полно перекрываться зубцами статора.

На рис. 4.2 показаны графики распределения величины результирующей возвратной силы, а на рис. 4.3 – графики распределения величины F_t при последовательном доминировании полюсов $P1, P2, P3, P4$ и результирующей возвратной силы.

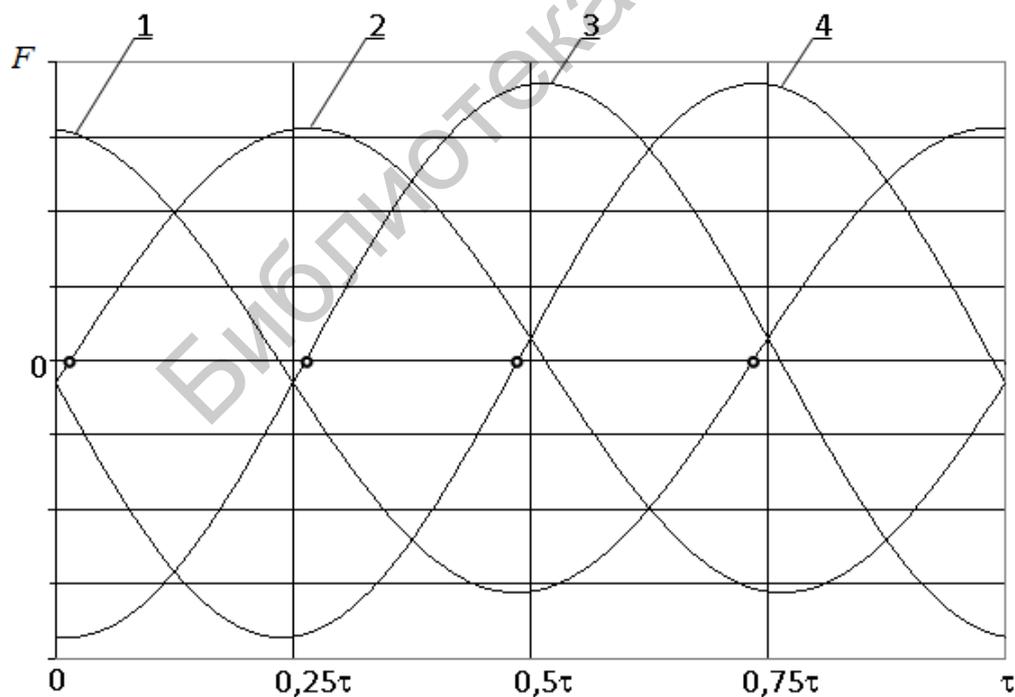


Рис. 4.2. Графики распределения величины результирующей возвратной силы при доминировании полюсов $P1, P2, P3, P4$:

- 1 – доминирование полюса $P4$; 2 – доминирование силы полюса $P1$;
- 3 – доминирование силы полюса $P3$; 4 – доминирование силы полюса $P2$;
- – точка позиционирования

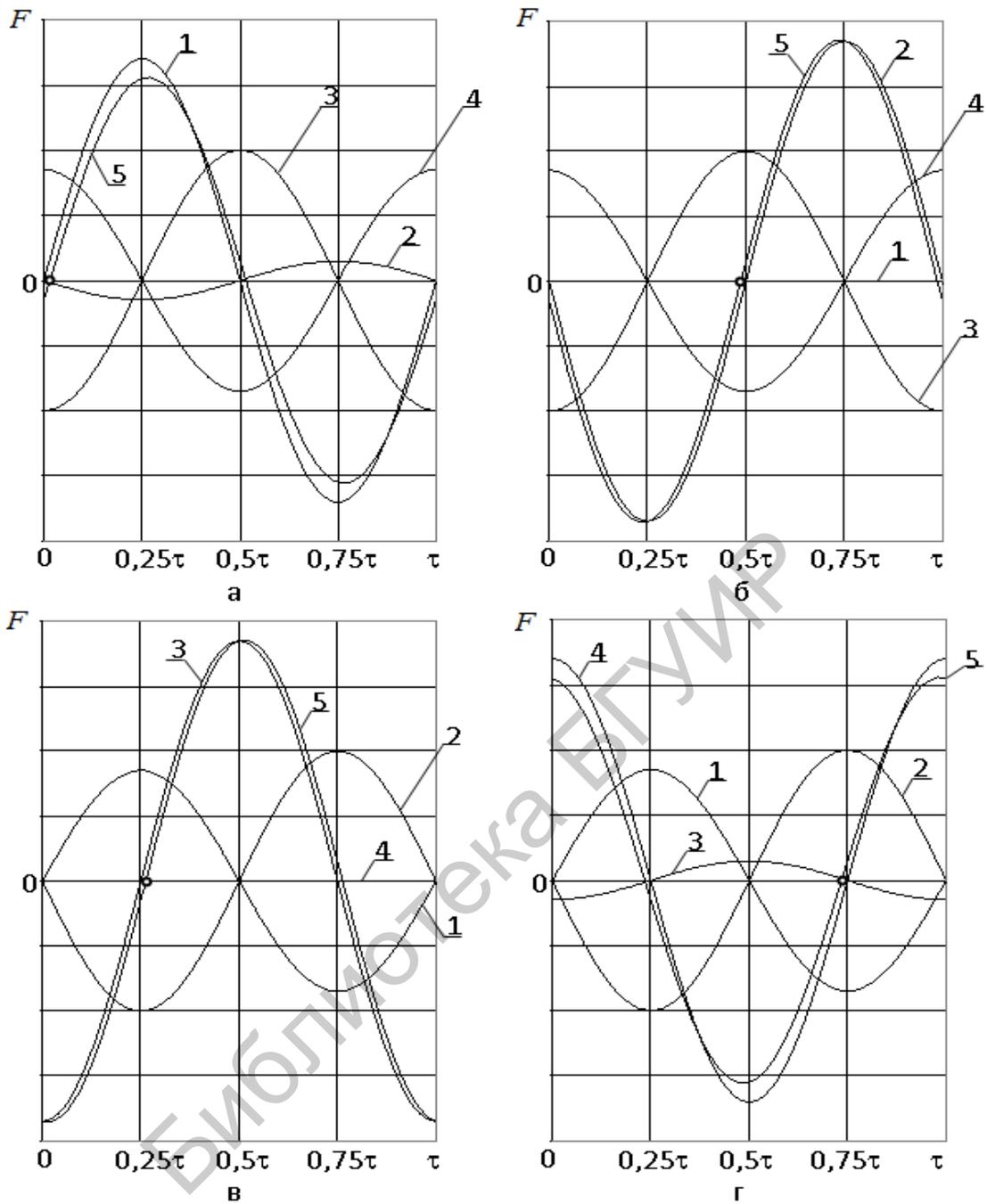


Рис. 4.3. Графики распределения величины F_t полюсов $P1, P2, P3, P4$:
 а – доминирование полюса $P1$; б – доминирование полюса $P2$;
 в – доминирование полюса $P3$; г – доминирование полюса $P4$;
 ○ – точка позиционирования; 1 – годограф F_t полюса $P1$;
 2 – годограф F_t полюса $P2$; 3 – годограф F_t полюса $P3$;
 4 – годограф F_t полюса $P4$; 5 – годограф результирующей силы

Анализ графиков позволяет сделать вывод, что при доминировании полюсов $P2, P3$ амплитуда результирующей возвратной силы и крутизна нарастания больше, чем при доминировании полюсов $P1, P4$.

4.2. Порядок выполнения работы

4.2.1. Подготовка оборудования к выполнению работы

1. Проверить соблюдение условий электробезопасности.
2. Провести коммутацию согласно схеме, изображенной на рис. 2.6 (см. лабораторную работу №2).
3. Включить питание 230 и 380 В на щитах 1 и 2, включить подачу воздуха.
4. Включить питание на ЭВМ HP5529A, лазерной пушке.
5. Подготовить табл. 4.1.

Таблица 4.1

Отклонение каретки от точки позиционирования

F_b Н	Координаты точки позиционирования, дискреты																			
	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950
	Величина отклонения от точки позиционирования, мкм																			
10																				
20																				
30																				
40																				
50																				
55																				
57																				
58																				
59																				
60																				
61																				
62																				
63																				
64																				
65																				
66																				
67																				
68																				
69																				
70																				

6. Включить питание на СУ ЛШД. Для этого необходимо на блоке автоматики перевести переключатель «Сеть» в верхнее положение и нажать кнопки «БУМ» и «БУ».

7. Загрузить программу системы управления ЛШД S-профиль: активизировать ярлык «S-профиль» – на экране появится главное окно программы, изображенное на рис. 4.4.

8. Загрузить программу измерений на ЭВМ HP5529A.левой кнопкой мыши дважды щелкнуть по ярлыку «Metrology HP5529A». На экране появится рабочее окно программы, изображенное на рис. П.1.

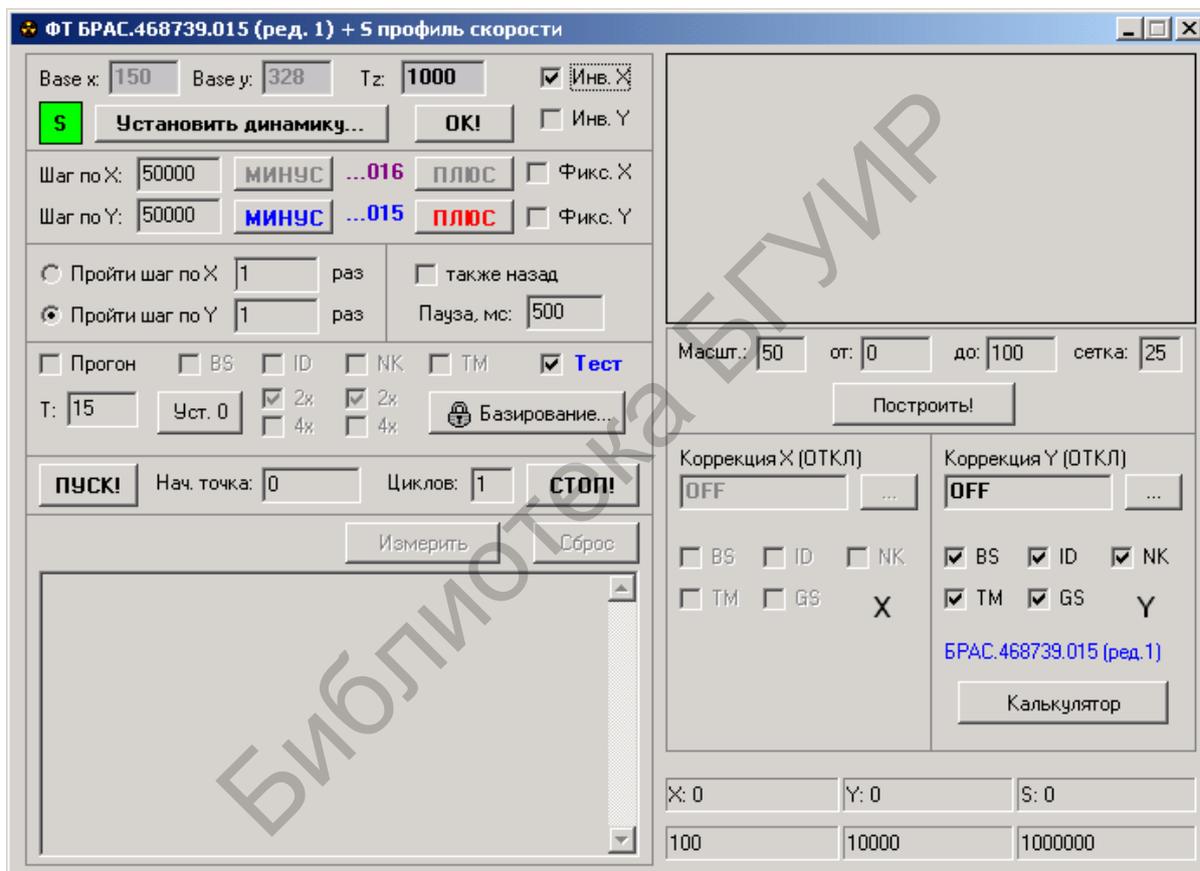


Рис. 4.4. Программа системы управления ЛШД S-профиль

9.левой кнопкой мыши нажать кнопку «Other meas». На экране появится второе окно программы «Metrology HP5529A», изображенное на рис. П.2.

10.левой кнопкой мыши нажать кнопку «Timebase». На экране появится третье окно программы «Metrology HP5529A», изображенное на рис. П.3.

11. Ждать прогрева лазерной пушки:

- появление луча лазера;

- прекращение мерцания светодиода «Ready» на задней панели лазерной пушки.

12. Выполнить пп. 13, 14 из лабораторной работы №2.

4.2.2. Получение семейства характеристик возвратной силы для разных точек на периоде перемещения

1. Снять флаг «Фикс. Y» (см. рис. 4.4). Переместить индуктор вручную к базовому упору. Установить флаг «Фикс. Y». Нажать кнопку «Уст. 0».

2. Установить в поле «Шаг по Y» величину 10 000. Нажать красную кнопку «ПЛЮС». После завершения перемещения установить в поле «Шаг по Y» величину перемещения из столбца «0» строки «Координаты точки позиционирования» табл. 4.1. Нажать красную кнопку «ПЛЮС».

3. Соединить динамометр с кареткой шагового двигателя согласно рис. 4.5. Вращая маховик винта привода динамометра, установить усилие равным 0Н. В программе Metrology HP5529A (см. рис. П.3) нажать кнопку «Reset Position».

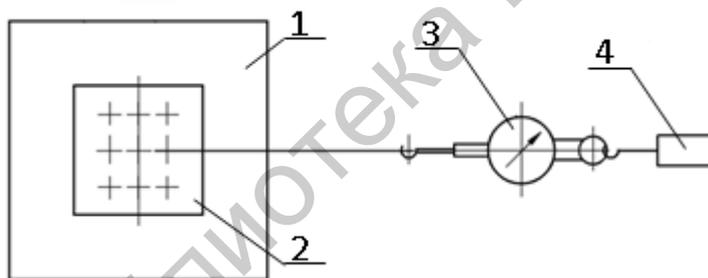


Рис. 4.5. Схема проверки возвратной силы:

1 – статор; 2 – каретка; 3 – динамометр ДПУ-0,1-2;

4 – приспособление для плавного нагружения динамометра

4. Вращением винта привода динамометра устанавливать последовательно величину силы, указанную в столбце F_i табл. 4.1, и показания «Position» (см. рис. П.3) измерительной системы HP5529A заносить в текущий столбец таблицы.

5. После срыва каретки с нарезки отсоединить каретку от динамометра. Для заполнения следующего столбца таблицы перейти к выполнению п. 1.

При выполнении п. 2 устанавливать величину перемещения из следующего столбца строки «Координаты точки позиционирования» табл. 4.1.

4.3. Содержание отчета

1. Цель и задачи исследований.
2. Схема измерений.
3. Программы выполнения сеансов измерений.
4. Таблица «Отклонение каретки от точки позиционирования».
5. Графики изменения возвратной силы в зависимости от величины отклонения от координаты позиционирования.
6. Анализ полученных результатов.

4.4. Контрольные вопросы

1. Схема циркуляции магнитных потоков МДС.
2. Формула расчета координат зубцовых поверхностей полюсов внутри периода перемещений.
3. Распределение величины результирующей возвратной силы при доминировании полюсов $P1$, $P2$, $P3$, $P4$.

ПРИЛОЖЕНИЕ

УПРАВЛЯЮЩИЕ ОКНА ПРОГРАММЫ ИЗМЕРЕНИЙ ЭВМ HP5529A METROLOGY

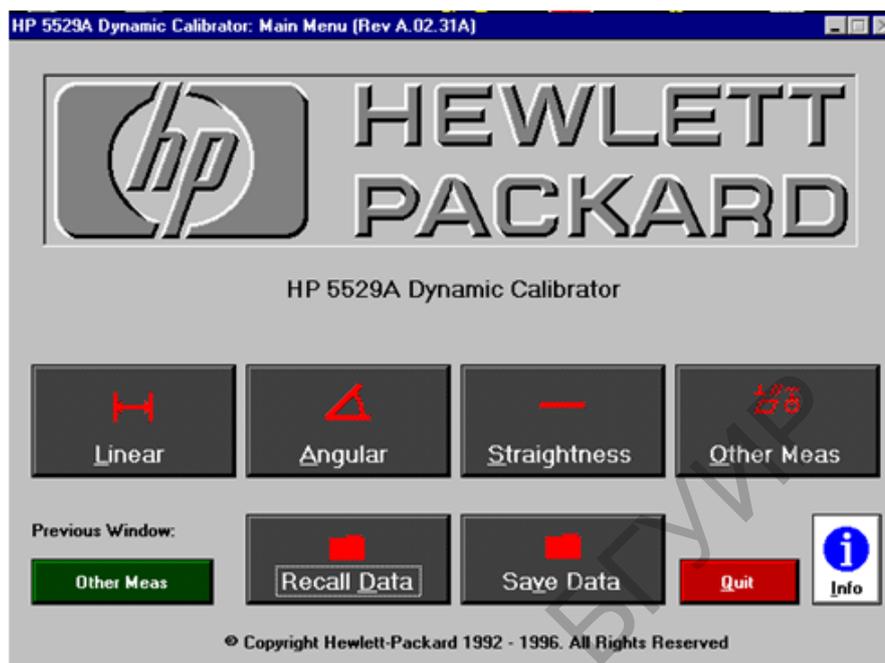


Рис. П.1. Главное окно программы HP5529A Metrology

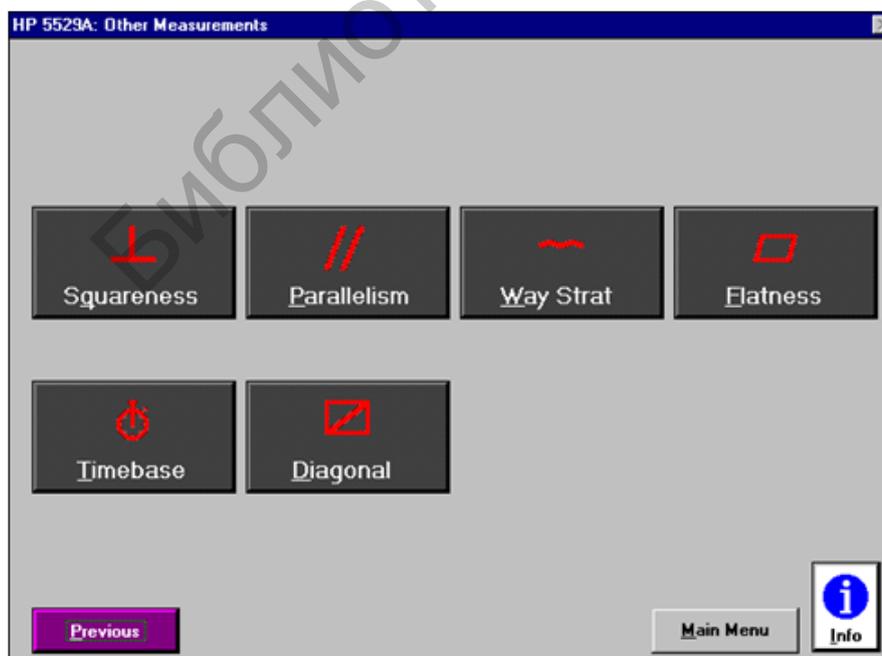


Рис. П.2. Второе окно программы HP5529A Metrology

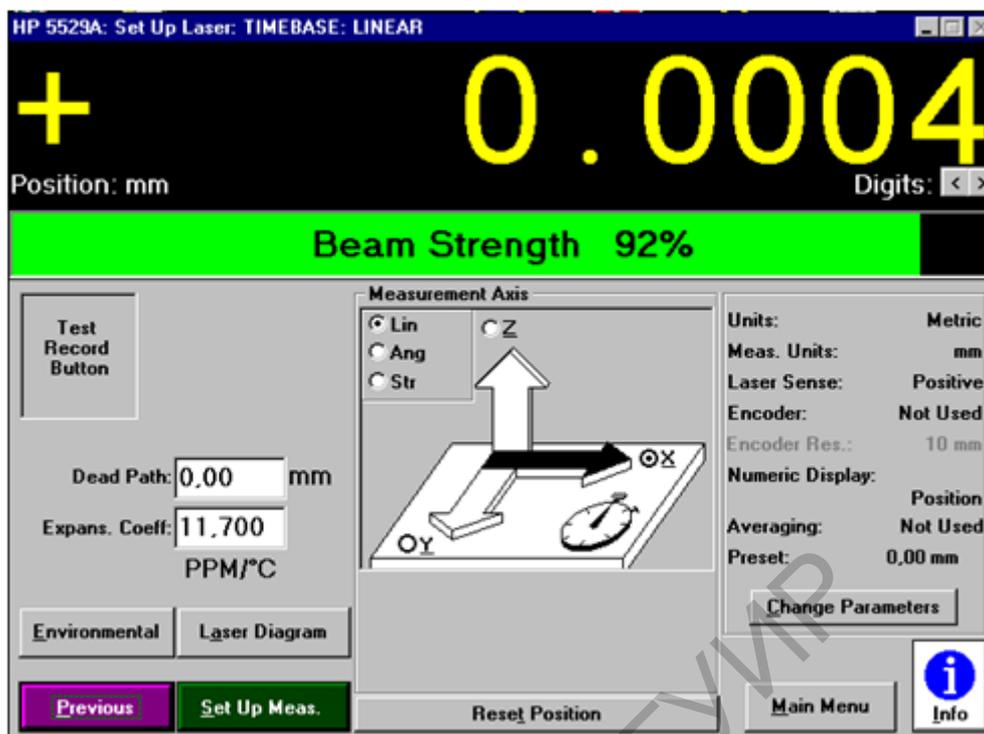


Рис. П.3. Третье окно программы HP5529A Metrology

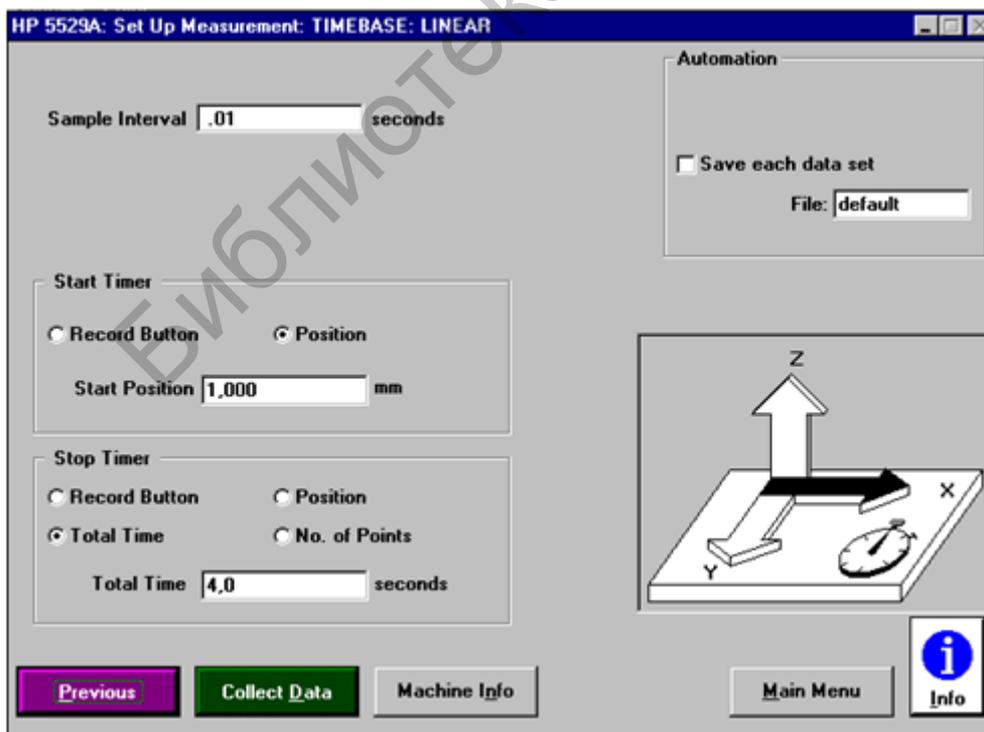


Рис. П.4. Четвертое окно программы HP5529A Metrology



Рис. П.5. Пятое окно программы HP5529A Metrology

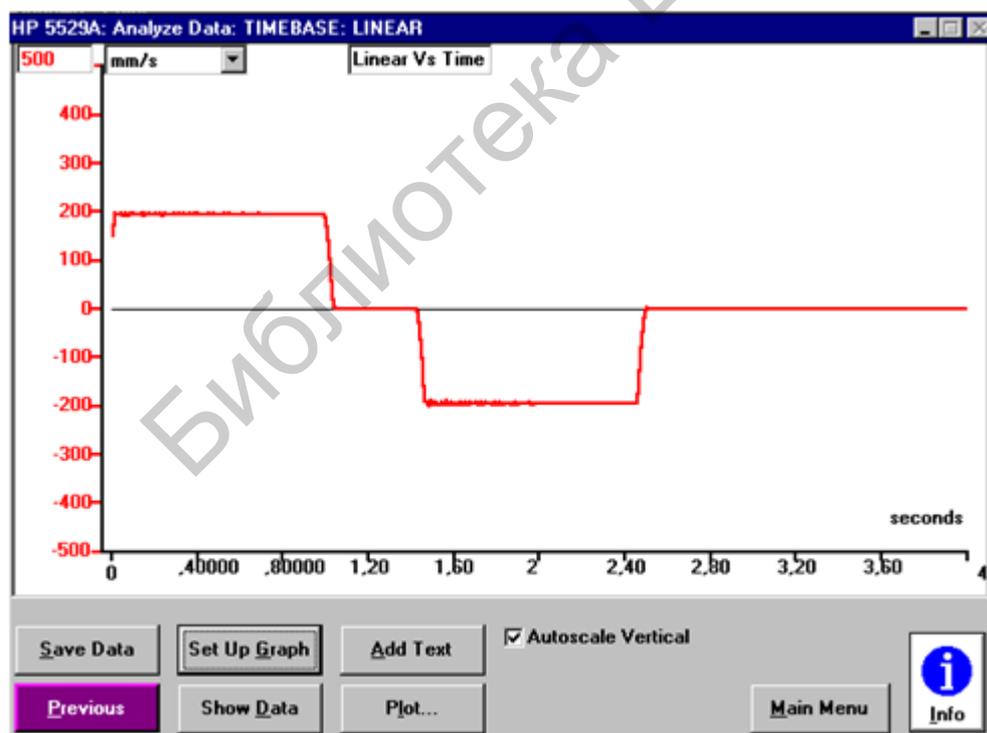


Рис. П.6. Шестое окно программы HP5529A Metrology

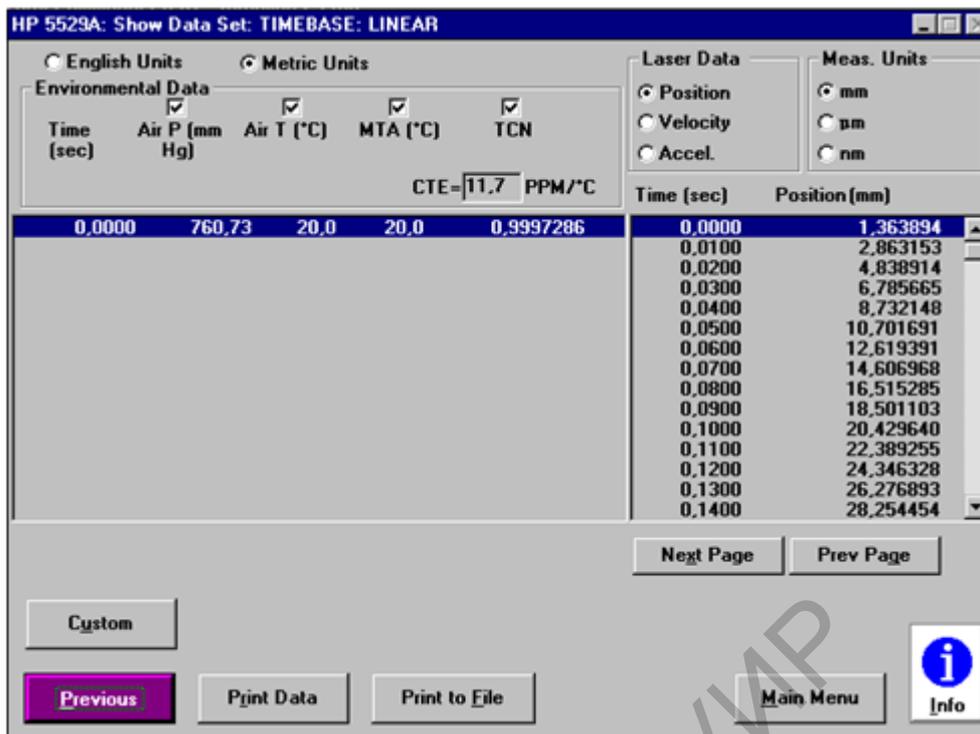


Рис. П.7. Седьмое окно программы HP5529A Metrology

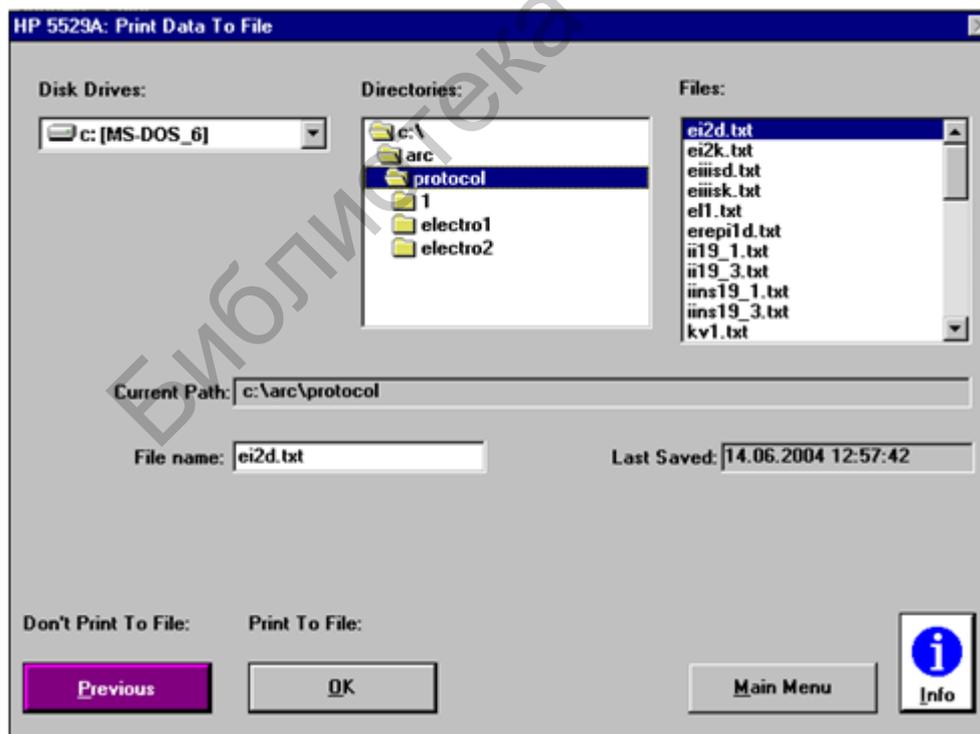


Рис. П.8. Восьмое окно программы HP5529A Metrology

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпович, С. Е. Системы перемещения на основе привода прямого действия / С. Е. Карпович, В. В. Жарский, И. В. Дайняк. – Минск : БГУИР, 2008. – 239 с.
2. Компьютерное моделирование системы управления планарным приводом прямого действия / А. Агранович [и др.] // Доклады БГУИР. – 2007. – №1(17). – С. 115–119.
3. Безлюдов, А. Повышение точности координатных систем на основе разомкнутого линейного шагового привода / А. Безлюдов, В. Огер // Известия Белорусской инженерной академии. – 2002. – №2(14)/1. – С. 108–112.
4. Безлюдов, А. Повышение точности соответствия координат сетки дискретности координатной системы линейного шагового привода координатам сетки дискретности эталонной координатной системы / А. Безлюдов, В. Огер // Известия Белорусской инженерной академии. – 2002. – №1(13)/2. – С. 98–102.
5. Двухкоординатный прецизионный шаговый привод прямого действия / Н. Гайков [и др.] // Известия Белорусской инженерной академии. – 2004. – №1(17)/4. – С. 77–82.
6. Дайняк, И. В. Планарный привод с механизмом ограничения разворота / И. В. Дайняк, В. В. Жарский, В. П. Огер. – Минск : Машиностроение, 2007. – Вып. 23. – С. 110–114.
7. Огер, В. П. Калибровка координатной системы привода прямого действия на базе ЛШД / В. П. Огер // Инженерный вестник. – 2006. – №1(21)/5. – С. 63–69.
8. Огер, В. П. Исследование факторов формирования сетки дискретности координатной системы линейного шагового привода / В. П. Огер, А. В. Безлюдов // Инженерный вестник. – 2006. – №1(21)/5. – С. 70–75.
9. Огер, В. П. Выбор значений уровней квантования управляющих токов в линейном шаговом приводе / В. П. Огер, А. В. Безлюдов, И. В. Дайняк // Известия Белорусской инженерной академии. – 2002. – №2(14)/1. – С. 104–107.
10. Огер, В. П. Исследование стационарности сетки дискретности координатных систем высокого разрешения / В. П. Огер, А. В. Безлюдов, И. В. Дайняк // Инженерный вестник. – 2006. – №1(21)/5. – С. 76–81.
11. Огер, В. П. Прецизионная измерительная система контроля параметров ЛШД / В. П. Огер, А. В. Безлюдов, С. В. Карпович // Мехатроника и современная механика : сб. науч. статей / под ред. С. Е. Карповича. – Минск : БГУИР, 2001. – С. 99–101.

12. Огер, В. П. Измерительная система контроля параметров позиционирования ЛШД / В. П. Огер [и др.] // Известия Белорусской инженерной академии. – 2001. – №1(11)/3. – С. 167–168.

13. Ляшук, Ю. Ф. Линейный шаговый электропривод для прецизионного оборудования / Ю. Ф. Ляшук. – Минск : Технопринт, 2002. – 139 с.

14. Межинский, Ю. С. Построение систем перемещений для гибкого автоматизированного оборудования / Ю. С. Межинский. – Минск : Технопринт, 2002. – 120 с.

15. Карпович, С. Е. Оптимизационное проектирование прецизионных координатных систем и механизмов оборудования производства электронной техники / С. Е. Карпович [и др.]. – Минск : НПО «Интеграл», 1999. – 242 с.

Библиотека БГУИР

Учебное издание

Аваков Сергей Мирзоевич

Огер Виктор Павлович

Гуревич Ольга Викторовна

Костюкевич Анатолий Александрович

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

ПОСОБИЕ

Редактор *М. А. Зайцева*

Корректор *Е. Н. Батурчик*

Компьютерная правка, оригинал-макет *О. И. Толкач*

Подписано в печать 30.05.2018. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,5. Тираж 30 экз. Заказ 339.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,

№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.

ЛП №02330/264 от 14.04.2014.

220013, Минск, П. Бровки, 6