

ВРЕМЯ ВЫСОКИХ ТОЧНОСТЕЙ

Валерий Павлович КИРЬЯНОВ,

ветеран ИАиЭ, доктор технических наук,
заведующий лабораторией
Конструкторско-технологического института
научного приборостроения СО РАН



Вместо предисловия

Осенью 1967 г. заведующий лабораторией цифровых измерительных приборов Института И.Ф. Клисторин, тогда еще к.т.н., вызвал к себе в кабинет двух своих самых молодых сотрудников А.М. Щербаченко и В.П. Кирьянова и сказал: «Поезжайте в город, в Институт метрологии, найдите там заведующего лабораторией Коронкевича Вольдемара Пет-

ровича, он расскажет вам, что там у него не получается и сделайте то, что вы умеете делать. Послушайте меня - стреляного воробья, то, что вы сделаете, - пригодится вам надолго».

Недели через две эти молодые сотрудники привезли в СНИИМ макетный образец электронного блока, с помощью которого подключили к выходу интерферометра два частотомера. И впервые после многих месяцев работы

над схемой лазерного интерферометра перемещений и сам заведующий лабораторией В.П. Коронкевич, и его сотрудники: Г.А. Ленкова, А.И. Лохматов, Г.Г. Тарасов и Е.С. Гурин - наконец-то увидели, как «осмысленно» замелькали цифры на табло частотомеров при смещении отражателя.

Стало ясно. Да! Лазерным интерферометрам перемещений быть!

1. Лазерные интерферометры перемещений первого поколения

В начале 1968 г. в связи с переходом из СНИИМ'а к.т.н. В.П. Коронкевича с частью его сотрудников в Институт автоматики и электрометрии СО АН СССР здесь была образована новая лаборатория когерентной оптики, одним из важнейших направлений деятельности которой было создание на базе стабилизированных лазеров, оптических интерферометров и устройств цифровой регистрации данных принципиально новых для страны высокоточных приборов для регистрации линейных размеров: лазерных измерителей перемещений. Ответственность за электронное обеспечение нового научного направления была возложена на лабораторию цифровых измерительных приборов (заведующий к.т.н. И.Ф. Клисторин). В результате взаимодействия двух лабораторий уже к концу года были созданы **два первых в СССР** лазерных измерителя перемещений.

В схеме первых цифровых измерителей перемещений субмикронного разрешения ($\varepsilon < 0,1$ мкм) были использованы стабилизированные по частоте лазеры собственной конструкции, оптические интерферометры, реализующие оригинальную схему, и блоки цифровой электроники, выполненные на логических модулях собственного производства.

После изготовления и сборки первый образец прибора был установлен на большом инструментальном микроскопе фирмы Карл Цейс-Йена, имеющем оптическую отсчетную систему с диапазоном перемещений, равным 200 мм, и с разрешением, равным 0,1 мкм.

Надолго запомнилась процедура первого включения прибора: В.П. Коронкевич взялся за ручки управления микроскопом, навел визир отсчётной системы на нулевой штрих микроскопа, сбросил показания ИПЛ'а на нуль, снова прильнул к окуляру микроскопа и передвинул стол в другой конец рабочего диапазона, поколдовал немного над отсчётом и, решив, что точнее уже ему не навести, поднял глаза на цифровое табло прибора.

На табло ИПЛ'а светилось число **+200,0000 мм**, которое на короткое время

сменялось на **+199,9999 мм** и снова восстанавливалось на **+200,0000 мм**. ... Реакция Вольдемара Петровича на увиденное им была весьма яркой (он обхватил обеими руками голову и, покачивая ею, обошел установку два раза вокруг: *да, свершилось! Вот он - результат, к которому шёл так долго*).

Вскоре установка демонстрировалась в Президиуме АН СССР, председателем которого являлся тогда академик М.В. Келдыш.

2. Лазерные измерители перемещений второго поколения

Следующий шаг в развитии лазерно-интерферометрического направления был сделан в связи с появлением в стране отечественных интегральных схем «Посол» и «Тропа». Первые отечественные лазерные измерители перемещений модели ИПЛ-2 в микронном исполнении были созданы в Институте на базе интегральных схем серии «Посол».

Измеритель состоял из трех основных блоков: оптико-механического (по сравнению с предыдущей моделью ИПЛ включенного в новую модель прибора практически без изменений), блока обработки и блока индикации. В схеме блока обработки данного измерителя перемещений были реализованы оригинальные идеи, касающиеся построения счетно-вычислительного блока измерителя в целом и устройства умножения данных в числоимпульсной форме в частности. В отличие от предыдущей модели, прибор имел, например, встроенную автоматическую диагностику работоспособности электронных блоков.

Прибор был выпущен в Институте малой партией (было изготовлено около десяти приборов, в том числе четыре прибора были переданы в ОКБ прецизионного оборудования (ПО) (г. Владимир), из которых три прибора были встроены в координатно-измерительную машину КИМ-600, а один использовался для аттестации отсчетных систем других станков, создаваемых в ОКБ ПО; еще по одному прибору использовалось в СКБ аналитического приборостроения (г. Москва), НИИГРП (г. Рязань), завод «Экран», ЦКБ «Точприбор» и НПЗ им. Ленина (г. Новосибирск). В эти годы в составе разработчиков лазерных измерителей перемещений появились новые специалисты, принявшие активное участие в разработке новой модели прибора: В.А. Ханов (в лаборатории когерентной оптики) и В.М. Ведерников (в лаборатории цифровых измерительных приборов).

Технические характеристики прибора позволяли с его помощью решать многие измери-

тельные задачи в машиностроении. В 1970 г. приборы ИПЛ-2 прошли государственные испытания. Комиссия отметила, что широкое использование приборов типа ИПЛ-2 (в том числе путем встраивания в цифровые отсчетные системы станков и контрольно-измерительных машин) позволит повысить конкурентоспособность отечественного станкостроения и рекомендовала ряду предприятий страны с 1971 г. освоить серийный выпуск приборов данного типа.

В соответствии с данным заключением Государственной комиссии в последующие годы Новосибирский приборостроительный завод выпустил более 30 лазерных измерителей перемещений модели ФОР (полный аналог ИПЛ-2).

На Рижском механическом заводе на основании документации на ИПЛ-2 была выпущена установочная партия приборов ИПЛ-7 в количестве 7 экз.

3. Лазерные интерферометры третьего поколения

Летом 1970 г. заведующие обеими лабораториями д.т.н. Клисторин И.Ф. и к.т.н. Коронкевич В.П., участвуя в работе конгресса в Париже, посетили выставку измерительной техники, где впервые был выставлен принципиально новый лазерный измеритель перемещений фирмы Hewlett-Packard (США): двухчастотный интерферометр модели HP 5525A. В этом приборе были реализованы новые идеи и получены настолько высокие технические характеристики, что он по праву открыл новое, третье поколение лазерных измерителей перемещений, которое характеризуется расширенным диапазоном измерений (вплоть до 60 метров), повышенной разрешающей способностью (до 0,01 мкм), введением дополнительных измерительных функций (измерение скорости перемещения, усреднение показаний, фильтрация вибраций), наличием автоматизированного ввода данных об окружающей среде, широким использованием БИС'ов - больших интегральных схем. Этому поколению интерферометров суждено было сыграть решающую роль в технологическом прорыве 1970-х - 1980-х гг.

Сразу же по приезду из Парижа И.Ф.Клисторин и В.П.Коронкевичем была организована серия совместных семинаров на тему, что мы можем противопоставить этой разработке. В ходе семинаров наметилось два альтернативных подхода: один - создать интерферометр на базе двухчастотного лазера, аналогичный интерферометру HP 5525A, и второй - создать принципиально новую модель, но на базе

предложенной в лаборатории цифровых измерительных приборов оригинальной версии известного метода с внутренней фазовой модуляции. Впоследствии метод получил название метода измерения перемещений с низкочастотной фазовой модуляцией. Техническая реализация новой версии была настолько проста (можно было всё сделать на базе работавших приборов ИПЛ-2), что трудно было отказаться от этого, но при этом настолько же и непривычна, что вызывала недоверие. Из-за этого руководитель данного научного направления В.П. Коронкевич принял решение: «К созданию двухчастотной модели подключим новых людей из лаборатории В.С. Соболева, а что касается нового интерферометра на базе ИПЛ-2, то здесь мы пойдём на поводу у электронщиков и пусть они изготовят эту временную модель интерферометра, которая, кажется, может быть реализована быстро, и, пока мы создаём нашу собственную модель двухчастотного интерферометра, они как бы снимут остроту проблемы».

Но, как говорится, нет ничего более постоянного, чем что-то временное: более двадцати лет надёжно трудились в ИАиЭ лазерные интерферометры с низкочастотной фазовой модуляцией.

Становление метода с низкочастотной фазовой модуляцией теснейшим образом связано с разработкой и внедрением нового экспериментального образца лазерного измерителя перемещений модели ИПЛ-10, в электронной схеме которого были учтены замечания к электронным блокам ИПЛ-2.

Судьба с самого начала была не очень благосклонна к этому прибору: и в Институте он был как бы вспомогательным, и само название «ИПЛ-10» предназначалось совсем другой разработке, а именно, прибору, который должен был получиться от совместной деятельности коллективов ряда министерств страны: ГОИ (Миноборонпром), ЭНИМС (Минстанкопром), Мосстанкин (МВССО), завода «Электроточприбор» (Министерство приборостроения и средств автоматизации) и НПЗ им Ленина (Миноборонпром). Но, как бы там ни было, а осенью 1973 г. первым из всех «задышал» именно ИПЛ-10 разработки ИАиЭ. Очень трудными были межведомственные испытания прибора. Представитель головного заказчика (Государственный оптический институт) прямо заявлял, что этот прибор работать не должен, так как построен против всяких правил (но он - работал!). Представитель киевского завода «Электроточприбор», член Межведомственной комиссии по приёмке темы тоже заявлял, что прибор не должен работать, т.к. они продали

Институту бракованные микросхемы повышенной интеграции. Но он - работал! Да, в это самое время совместное детище ГОИ, ЭНИМС, Мосстанкина и НПЗ было помещено в идеальные условия специального термостатированного бокса, а ИПЛ - установлен на негодный для проведения испытаний стенд. Но и в этих условиях разработчикам удалось выявить некоторые слабые места конструкции прибора. Комиссия не нашла возможным рекомендовать ИПЛ-10 производства ИАиЭ к серийному освоению, но жизнь-то распорядилась по-другому. Прослышав о проводимых в ЭНИМС'е испытаниях прибора, способного измерять перемещения с высочайшим разрешением на 10 м и более специалисты новосибирского завода «Тяжстанкогидропресс» им. Ефремова сами вышли на разработчиков этого прибора. Дело в том, что в именно это время на заводе несколько бригад специалистов различного профиля - конструкторов, технологов, метрологов и просто сборщиков - безуспешно пытались «оживить» принципиально новую для завода модель крупногабаритного координатно-расточного станка НС 32Ф2. Данный станок предназначался для получистовой и чистовой обработки корпусов паровых турбин высокого давления и был выполнен по схеме с подвижным порталом. Рабочий диапазон перемещения портала равен 15,4 м. Стабильность пространственного положения портала во всем рабочем диапазоне, определяющая, в конечном счете, точность обработки деталей, обеспечивались специальными системами статического и динамического выравнивания. Точность их работы в значительной степени зависела от идентичности линейных датчиков, установленных на левой и правой направляющих станка. Линейные датчики станка имели чувствительность 0,01 мм и представляли собой индуктивные шкалы типа развернутого трансформатора. Измерительная шкала на каждой направляющей набиралась из 44 секций по 350 мм в каждой. В этом наборе и заключалась основная сложность получения для обеих направляющих двух идентичных шкал, длиной 15400 мм каждая. Измерительные шкалы отсчетных систем левой и правой сторон выставлялись традиционным методом с помощью двух штриховых мер, закрепленных в специальных кронштейнах, соответственно на левых и правых «санях» портала, и отсчетных микроскопов типа ОМС-6 (цена деления - 0,001мм). Но после сборки отсчетных систем на обеих направляющих портал совершенно не желал двигаться. Точнее, начинал двигаться, но тут же его заклинивало и двигатели главного привода

аварийно «отрубались» (т.е. отключались). Причину никто установить не мог, но станок-то стоил несколько миллионов тогда ещё полновесных рублей. Вот тогда-то главный метролог завода Г.А. Лебедев принял всю ответственность за неудачные пуски на себя: он заявил, что причина скорее всего в неточностях отсчётных систем станка, но сделать ее точнее его специалисты не могут, так как нет соответствующей измерительной техники. Своё заявление он подкрепил ссылкой на то, что сходное предприятие в Западной Германии «Waldrich Coburg» использует для этой цели лазерный интерферометр HP 5525A, но этот прибор запрещён для продажи в СССР, а отечественная промышленность аналогичную продукцию не выпускает. Но он слышал, что в термостатированном корпусе ЭНИМС'а проходят испытания аналогичного прибора, сделанного в Новосибирске, в Академгородке. Вот тогда-то Г.А. Лебедев и его заместитель В.А. Стогниенко и появились в Институте, с предложением попытаться использовать прибор ИПЛ-10 для аттестации отсчётных систем станка НС32Ф2. Ну, а то, что представители головного института их отрасли (т.е. ЭНИМС'а) «зарубили» ИПЛ-10, для них - не новость: многим они закрыли путь в интересах собственных разработок. Например, ЭНИМС специальным циркуляром не рекомендовал использовать для ЧПУ станков отсчётные системы разработки Тяжстанкогидропресса; но заводчане использовали и продолжают использовать свою разработку, как более простую и надёжную, по сравнению с системой, предложенной ЭНИМС'ом.

Прибор ИПЛ-10 идеально подошел для работ по аттестации управляемых перемещений прецизионных столов, так как одновременно с измерением продольного смещения стола он позволял контролировать его угловые развороты и при необходимости вносить коррекцию на величину погрешности Аббе. Потребовался всего месяц или полтора для окончательной доводки прибора, и он смог уверенно работать в цеховых условиях, на станке с ходом стола 15 м. После этого начались трудовые будни прибора ИПЛ-10 на заводе «Тяжстанкогидропресс». Вначале были проверены результаты выставления отсчётных систем станка на обеих направляющих, выполненные традиционным для завода способом: с применением стеклянных линеек и отсчётных микроскопов. При этом были выявлены значительные (до ± 160 мкм) погрешности шкал, причём наиболее значительные отклонения лежали в произвольных местах рабочего диапазона и не коррелировали между собой,

вплоть до смены знака отклонения на противоположный. Это приводило к тому, что гидростатические опоры портала - «сани», обрабатывая каждую свою координату, вынуждены были разворачивать портал станка. А поскольку зазоры в гидростатических опорах портала составляли всего два-три десятка микрон, а длина портала - 10 м, то последний очень быстро «заклинивало». И совсем это были не неточности в работе систем статического и динамического выравнивания портала в пространстве (как многие пытались объяснить причины «заклинивания»). Правым оказался главный метролог, который не побоялся взять всю ответственность на себя. После выставления шкал на обеих направляющих с помощью ИПЛ-10 (а делать эту операцию стало намного проще и точнее), шкалы стали практически идентичными (см. графики 2 и 3 ошибок шкал на рис. 1).

Впечатляющим экспериментом с участием прибора ИПЛ-10 явилось измерение стабильности в пространстве положения портала при движении. Для этого данные с углового интерферометра были выведены на дополнительный цифровой индикатор, взятый от прибора ИПЛ-2. Десятки специалистов завода, глядя на дополнительное цифровое табло прибора, воочию убедились, как в динамике точно взаимодействовали системы статического и динамического выравнивания портала при передаче управления от одной системы к другой.

Но, конечно же, решающим событием стало испытание станка на точность обработки корпусных деталей. В присутствии трёх главных специалистов заказчика - главного инженера, главного метролога и главного механика Харьковского турбинного завода - была проведена последовательная обработка верхней и ниж-

ней половин корпуса турбины высокого давления. В программу обработки входили: проточка кольцевых пазов, обработка торцов и расточка четырех контрольных отверстий. После наложения обеих половин несовпадение торцов составило 13 и 20 мкм (соответственно для переднего и заднего торца при расстоянии между ними, равном 5000 мм), несовпадение пазов - 20 и 22 мкм. В контрольные отверстия легко вставлялись четыре калибра, диаметр которых был на 0,07 мм меньше диаметра отверстий. Результаты были просто великолепные, огромный станок был сдан с первого предъявления.

Успех проведения первых серьезных промышленных измерений с помощью ИПЛ-10 позволил в последующем относиться к методу внутренней фазовой модуляции как перспективному средству построения лазерных измерительных систем промышленного назначения. В короткое время совместно со специалистами Новосибирского завода "Тяжстанкогидропресс" им. А.И. Ефремова были изготовлены три образца лазерных измерителей перемещений ИПЛ-20, представляющих собой модернизированный вариант прибора ИПЛ-10, специально ориентированный для выполнения прецизионных измерений непосредственно в условиях промышленного производства.

При разрешении 0.1 мкм приборы ИПЛ-20 позволяют измерять перемещения в диапазоне от 0 до 60 м при максимальной скорости движения, достигающей 20 м/мин. Приборы ИПЛ-20 по настоящее время используются на заводе "Тяжстанкогидропресс" для выполнения плановых работ по метрологическому обеспечению крупногабаритных станков и контролю точностных характеристик отсчётных систем при их сборке. В практике этого завода известен случай, произошедший с одной из бригад

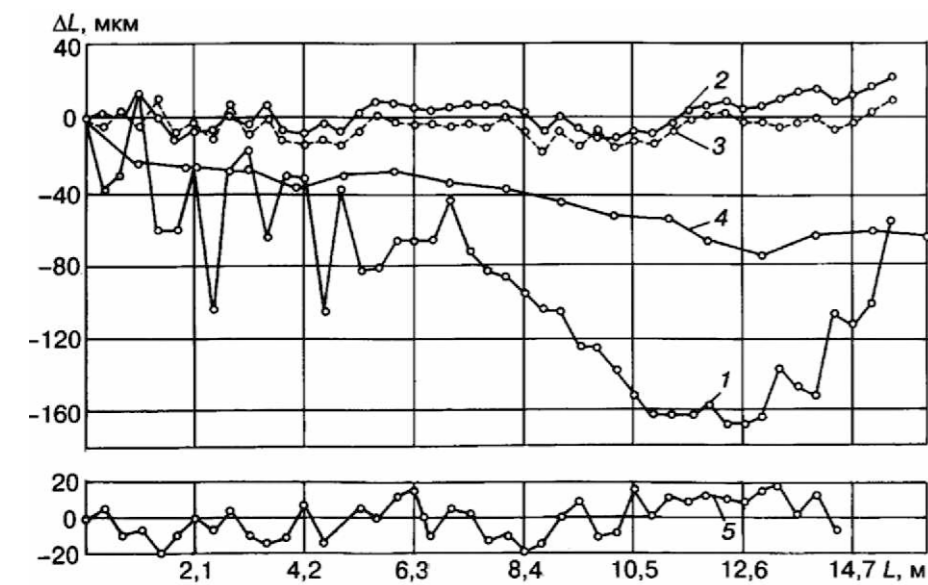


Рис. 1. Результаты контроля погрешности юстировки 15-метровой шкалы станка НС33Ф2: 1 - график погрешности шкалы, отъюстированной традиционным способом, 2 и 3 - погрешности юстировки шкалы левой (ведущей) направляющей, 4 - график погрешности шкалы станка "Waldrich Coburd", отъюстированной с помощью двухчастотного интерферометра фирмы "Hewlett-Packard" HP5526B, 5 - результат контроля пространственного положения портала с помощью углового интерферометра ИПЛ-10.

сборщиков станка НС 66Ф3 на ульяновском заводе, когда они, оснащенные наличием на этом заводе трёх лазерных измерителей перемещений (в их числе два прибора производства НПЗ им. Ленина и один чешский), приехали на сборку станка без ИПЛ-20 и не смогли ничего сделать. У станка НС 66Ф3 длина направляющих - 48 м, а приборы, которые предоставил заказчик станка, смогли более или менее сносно работать только в диапазоне 10 ÷ 12 м. Пришлось срочно отправлять человека с прибором ИПЛ-20 в Ульяновск.

4. Лазерно-интерферометрические преобразователи перемещений (ЛИПП)

Очень важной сферой применения лазерных интерферометров в Институте были автоматизированные комплексы "Зенит" и ГЗУ. Многоцелевой фотограмметрический комплекс "Зенит", разработанный в 1971 г. в Институте автоматики и электрометрии СО АН СССР, явился первым в СССР комплексом, в котором в качестве датчиков обратной связи по двум координатам использовались лазерные интерферометры.

4.1. Лазерно-интерферометрические преобразователи перемещений (ЛИПП) субмикронного разрешения

Первой версией ЛИПП модульной конструкции для комплекса "Зенит" стала модель преобразователя, представленная на рис. 2.

Благодаря применению в интерфейсном блоке преобразователя модифицированного метода реверсивного счета импульсов с запоминанием направления счета в нем была реализована весьма высокая допустимая скорость перемещения отражателя измерительного плеча интерферометра, равная ≈ 1 м/с при разрешении 0,079 мкм. Такая же скорость была достигнута в других преобразователях на новой элементной базе только в начале 90-х гг.

Другой версией ЛИПП модульного типа, разработанного в Институте совместно с СКБ научного приборостроения СО АН СССР в конце 70-х - начале 80-х гг., был комплект "Зеркало", созданный для управления станками алмазного точения металлических зеркал для НПО "Оптика" (г. Москва).

Впоследствии комплект выпускался в СКБ НП СО АН СССР как самостоятельное изделие и получил условное обозначение ИПЛП (интерферометрический преобразователь линейных перемещений). С разработки комплекта "Зеркало" началось участие СКБ НП в лазерно-интерферометрической тематике ИАиЭ. Если

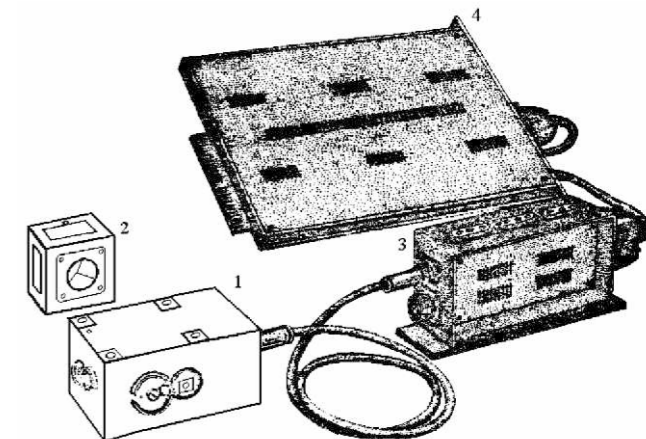


Рис. 2. Внешний вид ЛИПП модульного типа модели «Зенит». 1 - интерферометр, 2 - отражатель, 3 - ресивер, 4 - адаптер.

на начальном этапе в работе по комплексу "Зеркало" принимали участие только конструкторские подразделения, то позднее подключились и исследовательские. Качественно изменился к тому времени также состав разработчиков от Института. Защитили кандидатские диссертации сотрудники, не только начинавшие данное направление: А.М. Щербаченко, В.П. Кирьянов, Г.А. Ленкова, но и подключившиеся к работам на более поздних этапах: В.А. Ханов, П.М. Цапенко и М.А. Кокшаров.

4.2. Системы позиционирования с ЛИПП субмикронного разрешения

Первая реально заработавшая система управления двухкоординатным столом фотограмметрического автомата "Зенит", использовавшая в качестве датчиков обратной связи ЛИПП модульного типа с субмикронным разрешением, была разработана в тематической группе к.т.н. А.М. Щербаченко и имела перестраиваемую структуру. Перестройка структуры состояла в том, что для быстрого перевода стола в некоторую сравнительно малую зону использовалось оптимальное или квазиоптимальное управление, а для точного выхода в точку позиционирования в пределах этой малой зоны - пропорциональное управление.

На базе данной разработки были созданы цифровые системы управления двухкоординатными прецизионными столами, входившими в состав уникальных установок "Зенит-2", ГЗУ и ГЗУ-2, предназначенных для проведения исследований в различных областях; кроме того, она легла в основу опытно-конструкторской разработки (ОКР) цифровой системы позиционирования 5Р.021 "Зеркало". Разработан-

ные ОКР-овские образцы систем использовались для управления перемещениями портала лазерных генераторов изображений "Видеодиск" (рис. 3) и КЛГИ.

Если в задачах обработки изображений, решаемых с помощью установок "Зенит" и ГЗУ, разрешающей способности лазерно-интерферометрических датчиков типа "Зенит" и "Зеркало" оказывалось достаточно, то в последних применениях, особенно в задачах форматирования мастер-дисков магнитооптической памяти ее стало недостаточно, чтобы удовлетворить требованиям международного стандарта ISSO на качество формирования спиральных синхро-дорожек мастер-диска, для которых $\xi \leq 0,05$ мкм, где ξ - погрешность формирования периода.

Эксперименты с формированием периодических структур на высокоразрешающих фотоматериалах подтвердили это и показали, что в структурах, записанных с помощью данных систем, наблюдается довольно значительная модуляция пространственного положения линий. Важнейшей причиной таких произвольных флюктуаций была недостаточная разрешающая способность ЛИПП.

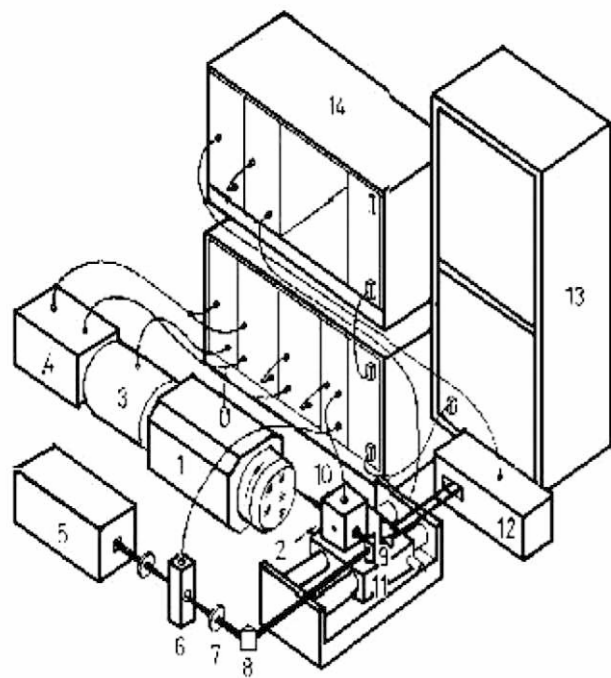


Рис. 3.

Структурная схема ЛГИ с горизонтальной осью вращения.

- 1 - шпиндель, 2 - планшайба, 3 - электродвигатель,
- 4 - датчик углового положения, 5 - мощный лазер,
- 6 - акусто-оптический модулятор, 7 - коллиматор,
- 8 и 9 поворотная оптика, 10 - система автофокусировки, 11 - подвижная каретка стола,
- 12 - стол, 13 - управляющий компьютер, 14 - система синхродорожек.

4.3. Лазерно-интерферометрические преобразователи перемещений (ЛИПП) нанометрового разрешения

Для того, чтобы удовлетворить возросшим требованиям современных, так называемых "высоких технологий", необходимо было использовать новые лазерно-интерферометрические датчики и системы управления, имеющие, как минимум, на порядок более высокое разрешение. Сначала (в 1989 г.) на базе преобразователей модели "Зеркало" были созданы системы позиционирования каретки кругового лазерного генератора изображений (КЛГИ) с повышенным до 10 нм разрешением. При их создании были использованы классические приемы повышения разрешающей способности: метод удвоения чувствительности интерферометра и интерполирование с помощью многофазных сигналов. Преобразователи данной модели были встроены в лазерные генераторы изображений, получившие условное название КЛГИ (круговые лазерные генераторы изображений) и установленные в лаборатории лазерных технологий ИАиЭ и в лаборатории магнитооптической памяти НИИ НПО "Луч" (г. Подольск). В ходе многолетней эксплуатации данной системы управления перемещениями в составе КЛГИ было отмечено два основных недостатка, присущих данной модели ЛИПП. Первый недостаток - это пониженное почти на порядок быстродействие (реально максимально допустимая скорость перемещения стола в данной схеме лазерного генератора изображений не превышает 35 мм/с), второй недостаток - значительный температурный дрейф интерферометра, обусловленный асимметрией хода лучей в измерительном и референтном плечах.

4.4. Высокоскоростные ЛИПП модульного типа повышенного разрешения (вариант "CLWS-300")

Подписание контрактов на экспортные поставки коммерческих образцов КЛГИ, изготовленных в Конструкторско-технологическом институте научного приборостроения (КТИ НП) СО РАН, объективно потребовало изыскать технические средства для устранения недостатков модульных ЛИПП нанометрового разрешения.

В экспортном варианте модернизированные лазерные генераторы изображений получили условное название CLWS-300 (Circular Laser Writing System, 300 - диаметр рабочего поля в мм).

Для создания ЛИПП, удовлетворяющего

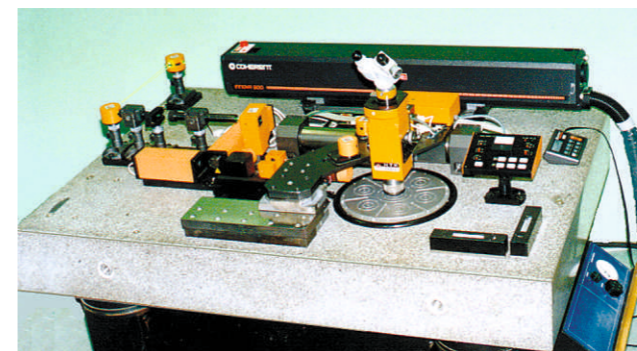


Рис. 4. Внешний вид лазерного генератора изображений CLWS-300.

современным требованиям, в 1992 г. в КТИ НП СО РАН разработан новый алгоритм преобразования выходных сигналов гомодинного интерферометра, получивший название "Метода прямого восстановления фазы квадратурных сигналов на основе селективной коммутации выходных сигналов датчиков". Согласно этому алгоритму аналоговый сигнал с достаточно высокой точностью воспроизводит закон движения объекта и синтезируется из отдельных частей исходных квадратур.

Разрешающая способность систем управления с новым типом ЛИПП в $40 \div 50$ раз превышает разрешение базовой модели гомодинного ЛИПП и в $4 \div 5$ раз - разрешение ЛИПП на основе многофазного интерполятора,

используемого в установках КЛГИ.

ЛИПП, реализующий алгоритм восстановления фазы квадратурных сигналов на основе метода селективной коммутации выходных сигналов датчиков, позволил практически без ухудшения быстродействия системы управления радиальными перемещениями портала лазерного фотопостроителя CLWS-300 позиционировать головку записи оптической системы построителя в нужном месте с разрешением на уровне $1 - 2$ нм; но в нем оказалось трудно реализовать управление включением лазерного излучения установки внутри "грубого" шага перемещения, равного $\lambda/8$.

Данная проблема была решена при создании в 1998 г. в КТИ НП СО РАН новой модели лазерного генератора изображений, получившего условное название CLWS-300/М. Для этой модели лазерного фотопостроителя был создан принципиально новый ЛИПП с полностью цифровой обработкой выходных сигналов интерферометра. В этих ЛИПП реализована разрешающая способность порядка $(0,3 \div 0,6)$ нм при допустимой скорости перемещения в $1,1$ м/с, что соответствует сложившемуся в мире к данному времени уровню требований к ЛИПП, применяемым в задачах управления прецизионными механизмами типа координатных столов.