

6  
A48

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

Саратовский государственный университет

на правах рукописи

А.А. САКИНА

Автоматизация и управление системными процессами

в системах для управления объектами управления в

автоматизированных системах

Специальность 05.02.02, конструкторско-технологическая техника

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук.

г. Ленинград  
1971г.

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

Северо-Западный заочный политехнический институт

На правах рукописи

А.А. САРВИН

Исследование и разработка оптических базных  
приборов для измерения больших размеров в  
машиностроении.

Специальность № 05-250, контрольно-измерительная техника.

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук.

г. Ленинград  
1971г.

## В В Е Д Е Н И Е

В Директивах XXIV съезда КПСС указывается на необходимость скорейшего развития и совершенствования измерительной техники, повышения точности и надёжности контроля продукции.

В ряде отраслей промышленности, таких, как крупное машиностроение, судостроение, нефтедобывающая промышленность, ж-дорожный транспорт и др. весьма остро стоит проблема измерения размеров в диапазоне 0,5-20 м.

Существующие средства измерения больших размеров (скобы, штихмассы, рулетки, оптические устройства) в большинстве случаев не удовлетворяют требованиям точности, малоудобны в обращении и, что самое важное, не позволяют контролировать форму деталей.

Требуемая точность измерения составляет 0,1-0,005%. В отдельных случаях детали с размерами до 15 м изготавливают по 3-му и 2-му классам точности.

Часто возникает необходимость измерений в труднодоступных местах, при движущемся объекте измерения, при отсутствии измерительной базы. Решение таких задач существующими средствами весьма затруднительно.

Отсутствие точных, надёжных и удобных в эксплуатации приборов вызывает усложнение технологии процессов, большие непроизводительные затраты, преждевременный выход из строя машин и сооружений.

В последние годы проводилась и продолжает проводиться значительная работа по созданию средств и методов измерения больших размеров, которые отвечали бы требованиям промышленности.

Можно указать три основных направления в решении этой проблемы :

I) модернизация существующих и создание новых механических

средств прямого измерения (скобы и нутромеры) ;

2) применение известных методов косвенного измерения (накладные приборы, обкатные ролики, оптические геометрические методы);

3) использование принципиально новых методов, основанных на физических явлениях и эффектах ( оптических, электронных, электромагнитных).

Наиболее перспективны физические и оптические геометрические методы измерения. Принципиально они могут обеспечить высокую точность, бесконтактность и автоматизацию измерений, возможность контроля формы. Однако, физические методы измерения еще недостаточно разработаны, требуют громоздкой аппаратуры и для обмера деталей пока не применяются. Оптические геометрические методы опробованы в производстве, но существующие измерительные установки этого типа имеют большие габариты, процесс измерения сложен и связан с вычислениями. Широкое внедрение оптических методов возможно при условии создания компактных приборов с высокой точностной надежностью и достаточно простых в обращении. С этой точки зрения внимание специалистов привлекает возможность использования оптических внутрибазных дальномеров.

Создание высокоточных и компактных дальномеров для машиностроения связано с решением ряда принципиальных задач, вытекающих из особых условий их работы. Решение этих задач рассматривается в теоретической части диссертации. В диссертации сделан анализ свойств дальномеров для расстояний 0,5-20 м, на его основе даны сравнительные точностные характеристики основных способов построения дальномера, рассмотрены вопросы применения систем плоских зеркал в качестве оптических компенсаторов.

Экспериментальная проверка теоретических выводов была проведена для трех типов дальномеров, которые длительное время испыты-

вались в лабораторных и производственных условиях.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения

## I

Первая глава содержит краткий обзор известных методов измерения больших размеров в машиностроении.

К числу наиболее актуальных метрологических задач в тяжелой промышленности отнесены следующие :

- измерение деталей с размерами 15-20 м и контроль их формы с точностью 0,1±0,01%,

- автоматизация измерений размеров и формы деталей.

На основании опубликованных материалов сделан анализ существующих средств измерения и приведены их основные данные.

На заводах до сих пор применяются главным образом механические средства контактного измерения. Точность 0,01% они обеспечивают для размеров до 6-8 м, а контроль формы и измерения в недоступных местах с их помощью практически невозможны.

Более широкие возможности открывают оптические геометрические методы измерения. В литературе рассмотрены: фотограмметрический метод, методы измерения на основе точного теодолита и точного внутрибазного дальномера.

Фотограмметрический метод связан с длительным и сложным процессом обработки информации. Он применяется в судостроении для контроля сложных профилей, где является пока единственно возможным.

Измерительные устройства на основе точного теодолита представляют собой своего рода дальномеры с базой у цели и отличаются друг от друга способом задания этой базы. Их общими недостатками являются сложность измерений, необходимость установки базы на объекте измерения, настройка перед каждым измерением, чувстви-

тельность к вибрациям и громоздкие вычисления.

Методы измерения внутрибазными дальномерами свободны от этих недостатков. Процесс измерения в этом случае может быть максимально упрощен, измерения могут быть бесконтактными и автоматическими. Однако для технических измерений дальномеры применяются сравнительно редко. Это объясняется тем, что (из числа известных) приборы, удобные в обращении, дают низкую точность (не выше 0,2%), а приборы, в которых достигнута точность 0,01%, громоздки, малоудобны в обращении и предназначены для узкого круга цеховых измерений.

В работе рассмотрены дальномеры различных типов и видов, приведены их основные данные и отмечены недостатки. Дан анализ особенностей прецизионных дальномеров, предназначенных для измерения расстояний до 20 м. На основе этого анализа сформулированы основные требования к синтезу прецизионных дальномеров для машиностроения :

- синхронизация перемещения подвижных оптических элементов в двух ветвях дальномера ;
- возможность изменения и измерения параллактического угла в диапазоне нескольких градусов с точностью не ниже 0",25-0",5 ;
- возможность автоматизации измерений.

Для выполнения этих требований необходимо найти способ определения законов перемещения изображений в процессе измерения, исследовать методы построения дальномеров и методы точного определения положения изображений. Решению этих вопросов посвящена теоретическая часть диссертации.

II

Во второй главе выполнен теоретический анализ внутрибазных

дальномеров для расстояний 0,5-20 м, включающий :

1) вывод расчетных соотношений, связывающих координаты сопряженных точек в пространстве предметов и в пространстве изображений отдельной ветви дальномера ;

2) сравнение коэффициентов влияния для ошибок базиса, параллактического угла и фокусного расстояния объектива при различных способах построения измерительного треугольника дальномера ;

3) рассмотрение совместного действия двух ветвей дальномера при последовательном и параллельном их соединении.

Для вывода аналитических соотношений принят метод последовательных координатных преобразований. С этой целью введены основная система координат  $xOy$  и две вспомогательные  $x_1O_1y_1$  и  $x'_1O'_1y'_1$ . Ось  $Ox$  основной системы направлена по линии расстояний, а ось  $Oy$  совмещена с базисом прибора. Вспомогательные системы координат связаны с объективом. Система координат  $x_1O_1y_1$  расположена в пространстве предметов, ось  $O_1x_1$  ее направлена по оптической оси объектива, а начало координат дежит в его передней узловой точке. Система координат  $x'_1O'_1y'_1$  расположена в пространстве изображений. Ось  $O'_1x'_1$  также направлена по оптической оси объектива, а начальная точка лежит в его задней узловой точке.

Такой метод позволяет получить уравнения в матричной форме, общие для всех типов дальномеров. Кроме того, он упрощает расчет дальномеров с зеркальными системами, поскольку для последних матричный метод подробно разработан.

Координаты изображения  $M'$  точки  $M$ , лежащей на линии расстояний, относительно вспомогательной системы координат  $x'_1O'_1y'_1$  могут быть выражены соотношением, полученным на основании формул для преобразования координат и законов геометрической оптики.

$$R'_1 = V_m \cdot E \cdot A_1 \cdot \begin{pmatrix} R \\ 1 \end{pmatrix} \quad (I)$$

где :  $R'_1$  - одностолбцовая матрица из координат изображения  $M'$  точки  $M$  во вспомогательной системе координат  $x'_1, y'_1$  ;

$R$  - одностолбцовая матрица из координат предметной точки  $M(D; 0)$  в основной системе  $xOy$  ;

$A_1$  - матрица перехода от основной системы координат  $xOy$  к вспомогательной  $x_1, y_1$  в пространстве предметов ;

$E$  - единичная матрица второго порядка ;

$V_M$  - линейное увеличение объектива в сопряженных точках  $M$  и  $M'$  .

Величина  $V_M$  определяется из выражения

$$V_M = \frac{1}{\frac{D}{f_{об}} \cos \gamma_{о1} + \frac{b}{f_{об}} \sin \gamma_{о1} - 1} \quad (2)$$

где :  $b$  - отрезок базиса, равный ординате передней узловой точки объектива в основной системе координат  $xOy$  ;

$D$  - расстояние до точки  $M$  по оси  $Ox$  ;

$f_{об}$  - фокусное расстояние объектива ;

$\gamma_{о1}$  - угол наклона оптической оси объектива к оси  $Ox$  .

На основании формулы (1) могут быть получены уравнения линии, по которым смещается изображение  $M'$  в процессе измерения. Эти смещения в дальномере могут быть вызваны изменением расстояния  $D$  , изменением базиса ( т.е. ординаты  $b$  ) и изменением угла  $\gamma_{о1}$  наклона оптической оси объектива. Для случая, когда положение объектива постоянно, смещение изображения  $M'$  относительно системы координат  $x'_1, y'_1$  в результате изменения расстояния может быть представлено уравнением

$$x'_{1M} = [b - y'_M \cos \gamma_{о1}] V_0 \frac{1}{\sin \gamma_{о1}} \quad (3)$$

где :  $V_0$  - линейное увеличение объектива в точке пересечения его оптической оси с осью  $Ox$  .

Уравнение (3) выражает прямую линию, наклоненную к оси  $Ox$  на угол

$$\gamma'_{о1} = \arctg \left[ \frac{b}{f_{об} \cos \gamma_{о1}} - \tg \gamma_{о1} \right] \quad (4)$$

При изменении базиса  $b$  прибора изображение  $M'$  предметной точки  $M$  перемещается по прямой линии, наклоненной к оси  $Ox$  на угол  $\beta' = \frac{\pi}{2}$  .

При изменении угла  $\gamma_{о1}$  наклона оптической оси объектива к оси  $Ox$  изображение  $M'$  относительно системы  $x'_1, y'_1$  перемещается по гиперболе.

На основании полученных уравнений (1-4) выполнен теоретический анализ основных способов построения дальномеров, который позволил впервые предложить принципиально новые способы достижения высокой точности дальномеров при малых базисах ( $\frac{b}{D} < 0,1$  ). Исследования конкретных образцов приборов показали хорошее совпадение экспериментальных данных с расчётами, проведенными по предложенной методике.

На основании формулы (1) и уравнения (3) измеряемое расстояние  $D_M$  до точки  $M$  может быть представлено как функция координат изображения  $M'$  этой точки

$$D_M = D_H + \frac{1}{V_H \left[ \frac{1}{L_1 \cos \gamma'_{о1}} - \frac{1}{V_H f_{об}} \right] \cos \gamma_{о1}} \quad (5)$$

где :  $D_H$  - начальное расстояние, постоянное для данного прибора или устанавливаемое перед измерением ;

$L_1$  - величина перемещения изображения  $M'$  соответственно приращению расстояния  $L = D_M - D_H$  .

Такой способ определения расстояния в диссертации исследован особо, поскольку он открывает возможность построения прецизионных дальномеров для расстояний до 20 м с малым базисом. Базис  $b$  и паралактический угол  $\gamma_{о1}$  в уравнение (5) входят в неявном виде и учитываются членами  $V_H$  и  $\gamma_{о1}$  . При этом из (2) видно, что линей-

ное увеличение  $V$  мало зависит от параметра  $\beta$ . Малые изменения  $\beta_{01}'$  и  $\beta_{01}$  учитываются косинусами этих углов, поэтому их влиянием в (5) можно пренебречь.

Доминирующей ошибкой в (5) является погрешность измерения длины отрезка  $L'$ . Коэффициент влияния для этой ошибки вычислен как частную производную от (5) по параметру  $L'$

$$K_{L'} = \frac{\partial D}{\partial L'} = \frac{\cos \beta_{01}'}{V_m \cos \beta_{01}}$$

Для погрешностей базиса, угла  $\beta_{01}$  и фокусного расстояния объектива коэффициенты влияния составляют по отношению к (6)

$$K_B = K_{\beta_{01}} = 0,01 \cdot V_m \cdot K_{L'} \quad (7)$$

$$K_{\beta_{01}} \approx 2 \cdot V_m \cdot K_{L'} \quad (8)$$

Недостатком способа определения расстояний по (5) является сравнительно узкий диапазон измерения, ограничиваемый аберрациями астигматизма в наклонных пучках лучей. Однако он может быть устранен за счет изменения угла  $\beta$  на  $1-2^\circ$ , что позволяет увеличить диапазон измерения в 1,5-2 раза. При такой величине изменения угла  $\beta$  как было показано ранее, соотношение (5) практически не изменяется. Влияние приращений угла  $\beta_{01}$  на положение отрезка  $L'$  относительно основной системы координат  $XOY$  также незначительно, что следует из уравнения (I), дифференцированного по  $\beta_{01}$

$$\Delta R' = \begin{pmatrix} X_{M'} \\ Y_{M'} - \beta \end{pmatrix} 2 \sin^2 \beta_{01} \quad (9)$$

где:  $\Delta R'$  - одно столбцовая матрица из приращений координат точки  $M'$  относительно системы  $XOY$  при изменении угла  $\beta_{01}$  на величину  $\Delta \beta_{01}$ .

Таким образом, предложенный способ определения расстояний

согласно (5) впервые позволяет почти полностью исключить влияние погрешностей положения объектива на точность измерения расстояний до 20 м.

Дальномеры, основанные на этом принципе, открывают широкую возможность применения их для различных технических измерений. Однако практическое осуществление их требует детального анализа способов измерения отрезков  $L'$  в пространстве изображений и создания специальных компенсаторов для смещения изображения точки в достаточно широком диапазоне.

### III

В третьей главе исследуется возможность достижения высокой точности определения координат изображений  $M'$  предметной точки и измерения отрезков  $L'$ .

В качестве компенсаторов смещения изображения рассматриваются системы плоских зеркал с компланарными нормальными. Простейшим компенсатором может служить плоское одиночное зеркало (ОЗ), поставленное в пространстве изображений таким образом, что бы его нормаль  $n$  была коллинеарна с отрезком  $L'$ . Перемещение ОЗ в любом направлении вызывает смещение изображений только вдоль самого отрезка  $L'$ . Недостатком ОЗ является большой масштабный коэффициент, связывающий его перемещение и соответственное смещение изображения. Для этой же цели может быть использовано угловое зеркало (УЗ) с угловым базисом  $\beta$ . Масштабный коэффициент  $K_{УЗ}$  в этом случае равен, как известно,

$$K_{УЗ} = 2 \cdot \sin \beta \quad (10)$$

и, может быть, задан весьма малым. Но направление перемещения УЗ не может быть произвольным, что затрудняет компоновку прибора и синхронизацию работы двух его ветвей.

Значительно более широкие возможности обеспечивает исследуемая в диссертации система из трех зеркал, в которой ОЗ поставлено в ходе лучей в УЗ. Такая система обладает целым рядом замечательных для данной задачи свойств. Перемещаемым элементом в ней могут быть ОЗ, УЗ или система в целом. В случае поступательного перемещения ОЗ смещение изображения определяется из уравнения

$$S' = \begin{pmatrix} \cos(\theta + \epsilon) \\ -\sin(\theta + \epsilon) \end{pmatrix} 2 \cos \alpha_2 \cdot S_2, \quad (II)$$

- где :  $S_2$  - перемещение ОЗ вдоль оси  $Ox$  основной системы координат  $xOy$  ;  
 $S'$  - одностолбцовая матрица из координат вектора смещения изображения ;  
 $\theta = \epsilon + 2\alpha_1 - \alpha_2$  ;  
 $\alpha_1$  - угол наклона нормали первого зеркала УЗ к оси  $Ox$  ;  
 $\epsilon$  - угловой базис УЗ ;  
 $\alpha_2$  - угол наклона нормали ОЗ к оси  $Ox$  ;

В случае поступательного перемещения УЗ получим уравнение:

$$S' = \begin{pmatrix} \cos(2\theta + \alpha_s) + 2\cos(\theta + \epsilon)\cos(\alpha_2 + \alpha_s) + \cos \alpha_s \\ -\sin(2\theta + \alpha_s) - 2\sin(\theta + \epsilon)\cos(\alpha_2 + \alpha_s) + \sin \alpha_s \end{pmatrix} \cdot |\bar{S}_1|, \quad (I2)$$

- где :  $\alpha_s$  - угол между вектором  $\bar{S}_1$  перемещения УЗ и осью  $Ox$  .  
 В случае, если  $\alpha_2 = \epsilon + 2\alpha_1$ , направление смещения изображения не зависит от направления переноса УЗ.

Для поступательного перемещения всей системы будем иметь

$$S' = \begin{pmatrix} \cos(2\theta + \alpha_s) + \cos \alpha_s \\ -\sin(2\theta + \alpha_s) + \sin \alpha_s \end{pmatrix} \cdot |\bar{S}|. \quad (I3)$$

Система из трех зеркал нечувствительна к смещению в направ-

лении  $\alpha_s = -(\theta + \frac{\epsilon}{2})$ .

Согласно уравнениям (II-I3), масштабный коэффициент  $K$ , связывающий перемещение подвижного элемента системы и соответственное смещение изображения  $M'$ , может быть задан в пределах  $0 \leq K \leq 4$  при любом требуемом направлении перемещения подвижного элемента системы.

Юстировка дальномера с системой из трех зеркал в пространстве изображений осуществляется полностью за счет подвижек ОЗ и УЗ. Кроме этого, при определенном расположении ОЗ и УЗ в приборе может быть достигнута автоматическая компенсация температурных погрешностей. Юстировка прибора в этом случае осуществляется только за счет подвижек ОЗ и УЗ, что существенно упрощает ее.

Все три рассмотренных варианта зеркальных компенсаторов одновременно выполняют функции фокусирующих элементов прибора, благодаря чему упрощается схема прибора, число подвижных элементов сводится до минимального и соответственно снижается число факторов, влияющих на точность измерений.

Рассмотрен компенсатор в виде УЗ, вращаемого вокруг оси, параллельной его ребру, и даны необходимые для его расчёта формулы.

Приведенные схемы зеркальных компенсаторов в сочетании с оптическими микрометрами обеспечивают возможность измерения отрезков  $L'$  в пространстве изображений с точностью 1-2 мкм, что соответствует теоретической погрешности измерения расстояний до 15 м таким прибором выше 0,005% при базисе 500 мм.

Далее в этой главе выполнен анализ визуальной ветви дальномера с зеркальным компенсатором за объективом. Получены соотношения для расчета положения и возможной децентрировки выходных зрачков системы. Отдельно исследован вопрос расчета



двойного клина Додена, поставленного в плоскости изображений. По этому вопросу существуют два мнения. Одни авторы считают, что точность наведения на картинную плоскость с помощью клина Додена определяется углом клина. Другие решающую роль отводят величине разведения главных лучей. Результаты расчёта в том и другом случаях не совпадают. Автором экспериментально доказано, что точность системы с двойным клином полностью определяется величиной его угла отклонения и для одного и того же клина при разных диафрагмах одинакова.

Измерение расстояний по величине смещения изображения при использовании в качестве компенсаторов плоских зеркал может быть автоматизировано с помощью известных фотоэлектрических способов наведения.

#### IV

В четвертой главе выполнен расчет и исследование трех дальномеров для бесконтактного измерения размеров в диапазонах 0,75-1,5; 3-8; 2-15 м.

Наиболее полно теоретические положения, выведенные в предыдущих главах II и III, воплощены в приборе ДПС-I. Прибор содержит проекционно-визуальный дальномер с постоянным базисом  $B = 500$  мм. Диапазон измерения 3-8 м. Расстояние определяется по величине смещения изображения  $M'$  предметной точки согласно уравнению (5). Для измерения величины смещения  $L'$  изображения  $M'$  использована система из трех плоских зеркал с подвижным ОЗ и оптический микрометр с телескопической линзой. Шкала оптического микрометра жестко связана с подвижным ОЗ, благодаря чему полностью исключается влияние погрешностей механической системы прибора.

Для прибора ДПС-I выполнен подробный теоретический анализ

точности, разработана методика юстировки, тарировки шкалы и аттестации прибора.

Теоретическая относительная погрешность прибора составляет 0,002% для расстояния 3 м и 0,007% для расстояния 8 м. Прибор ДПС-I предназначен, главным образом, для контроля формы сложных профилей судовых деталей и конструкций. В процессе работы был выявлен ряд других технических измерений, которые с помощью этого прибора осуществляются проще и точнее, чем применяемыми ныне средствами. Он может быть использован для контроля точности сборки пластин статоров крупных генераторов, для контроля емкости заполненных нефтехранилищ и т.п.

Юстировка, тарировка и аттестация прибора ДПС-I осуществляются на компараторе. Для этого компаратор был дополнен специально разработанными устройствами для установки прибора относительно жезла компаратора и для точного задания расстояний внутри метровых интервалов. Испытания приборов выполнялись во ВНИИМ и на кафедре геодезии ЛПИ им. Калинина. При измерениях в лабораторных условиях относительная погрешность прибора при трех отсчетах не превышала 0,008% для расстояний 7-8 м. Средняя квадратическая ошибка из 300 измерений для расстояния 8 м составляет величину  $\sigma = 0,43$  мм.

Для двух образцов прибора была выполнена проверка на надежность в условиях длительного хранения и эксплуатации. За период 15 месяцев приборы периодически проверялись на компараторе. Эксперимент показал, что приборы удовлетворяют требованиям по точностной надежности. По прибору ДПС-I получено положительное заключение Государственного оптического института. В настоящее время прибор принят к серийному изготовлению. В диссертации исследован прибор ТТМ, изготовленный ранее и предназначенный для

бесконтактной съемки поперечных сечений железнодорожных тоннелей. Он содержит проекционно-визуальный дальномер с постоянным базисом  $B = 200$  м и переменным параллактическим углом. Параллактический угол измеряется с помощью УЗ, вращаемого вокруг оси, параллельной ребру. С помощью дискового кулачка угол поворота УЗ преобразуется непосредственно в величину измеряемого расстояния, которая отсчитывается на шкале прибора. Прибор выполнен компактным, легким и достаточно простым в обращении. С помощью прибора ТТМ выполнялись съемки на 48 железнодорожных тоннелях при самых различных условиях. Для расстояний 8-10 м относительная погрешность прибора не превышает 0,1 %. Средняя квадратическая погрешность измерения расстояния 9 м (при  $n = 326$ ) составляла  $\sigma = 5,6$  мм при колебаниях температуры  $\Delta t = 4^\circ$ .

Испытания прибора ТТМ на протяжении 3 лет показали его хорошие эксплуатационные качества. Прибор получил положительную оценку специалистов и рекомендован к серийному изготовлению. Использование прибора ТТМ в сравнении с существующими методами съемки тоннелей дает значительное снижение себестоимости работ за счет уменьшения трудоемкости в 3-4 раза и повышения производительности на 30-50 %.

Дальномер ДПС-2 разработан для целей бесконтактного контроля радиусов круговых цилиндрических оболочек. Прибор позволяет заменить весьма трудоемкий и недостаточно точный метод измерения с помощью механического устройства. Дальномер ДПС-2 обеспечивает относительную погрешность измерения 0,01 % в диапазоне 0,75-1,5 м при отношении  $\frac{B}{r} = 0,1$ . В отличие от рассмотренных выше, этот прибор выполнен с переменным базисом. Точность прибора и возможность использования для указанной цели обеспечивается за счет введения кинематической связи между подвижными эле-

ментами в обеих ветвях прибора: базисными и фокусирующими. В качестве фокусирующих элементов использованы телескопические линзы, благодаря чему обеспечивается возможность применения линейной кинематической связи. На прибор ДПС-1 автором получено авторское свидетельство.

Разработанные приборы при использовании их вместо существующих средств для тех же целей позволяют существенно повысить надежность, точность и производительность измерений. Вместе с тем, следует отметить, что возможности внутрибазных дальномеров для расстояний до 20 м полностью не исчерпаны. В данной работе предложены только визуальные приборы. Результаты теоретического анализа и экспериментальных работ позволяют утверждать, что введение фотоэлектронных способов определения координат изображения даст повышение точности измерения не менее, чем на порядок.

Углубленное изучение процесса измерения дальномером типа ДПС-1 в сочетании с автоматическими фотоэлектронными устройствами откроет новые перспективные возможности использования компактных оптических приборов для измерения размеров и формы деталей в машиностроении.

#### ВЫВОДЫ

1. Теоретический анализ прецизионных внутрибазных дальномеров позволил установить характер связей между координатами сопряженных точек в пространстве предметов и пространстве изображений оптической системы дальномера и дать аналитическое выражение их для расчета перемещений изображений в процессе измерения. Полученные соотношения составляют теоретическую основу синтеза и расчета прецизионных дальномеров для расстояний

до 20 м.

2. Предложен способ определения расстояния по величине смещения изображения точки относительно заданного начального положения его. При этом способе повышаются точность и диапазон измерения параллактических углов, значительно снижается влияние ошибок положения объектива. Благодаря этому открывается возможность построения малогабаритных приборов для измерения больших размеров с точностью выше 0,01 %.

3. На основе анализа систем плоских зеркал в качестве оптических компенсаторов за объективом даны принципиальные решения задачи точного определения координат изображения предметной точки. При этом показана возможность совмещения в зеркальном компенсаторе функций измерительного и фокусирующего элементов, которая может быть использована как в монокулярных, так и в стереоскопических дальномерах.

4. На основе теоретического анализа разработаны дальномеры ДПС-1 и ДПС-2 для измерений в диапазоне 0,75 - 8 м и подробно исследован прибор ТМ. Опытные образцы приборов исследованы в лаборатории и испытаны на производстве.

5. Лабораторные исследования дальномера ДПС-1 подтвердили его расчетную точность : не ниже 0,01 % для расстояний 7 - 8 м и не ниже 0,005% для расстояний 3-4 м. Экспериментальные и расчетные данные прибора близко совпадают.

6. Проведенные экспериментальные измерения на 48 железнодорожных туннелях прибором ТМ показали его существенные преимущества по сравнению с существующими средствами съемки поперечных сечений. Использование прибора ТМ дает значительное снижение себестоимости работ по съемке за счет уменьшения трудоемкости в 3-4 раза и повышения производительности на 30-50 %. При этом дви-

жение поездов не останавливается и контактная сеть не отключается, что дает значительный экономический эффект.

7. По результатам производственных испытаний приборов ДПС-1 и ТМ их эксплуатационные качества признаны удовлетворяющими требованиям к средствам измерения больших размеров. Прибор ДПС-1 для ряда измерений в судостроении является единственно возможным средством измерения в настоящее время. Приборы ДПС-1 и ТМ приняты к серийному изготовлению.

8. Предложенные варианты построения дальномеров с зеркальными компенсаторами за объективом создают принципиальную основу для автоматизации измерений. Автоматические фотоэлектронные устройства, в свою очередь, позволяют на порядок повысить точность дальномеров при тех же габаритах. Однако, введение фотоэлектронных устройств требует углубленного анализа условий их применения для данной цели.

Материалы диссертации отражены в следующих работах :

1. Грейм И.А., Сарвин А.А. Точность фокусирования оптической системы с двойным клином. Труды СЗПИ № 9, 1970.
2. Грейм И.А., Сарвин А.А. Оптические функциональные преобразователи. Сборник трудов всесоюзной научно-технической конференции по взаимозаменяемости ( в печати ).
3. Грейм И.А., Сарвин А.А. Тахометр ПВД. Журнал Геодезия, геофизика и маркшейдерские измерения ВНР г. Шопрон ( в печати ).
4. Грейм И.А., Сарвин А.А., Кустов Б.Д. Проекционно-визуальный дальномер с переменным базисом. Решение от 12.IV.1970 г. о выдаче авт.свид. по заявке № 1397017/18-10.
5. Сарвин А.А. и др. Фотоэлектрический прибор для измерения линейных перемещений. Труды СЗПИ № 9 1970 г.

Основные положения диссертационной работы освещались в докладах :

1. Приборы для бесконтактной съемки сечений в тоннелях. Конференция ЛОВАГО 1968 г.
2. Повышение точности дальномеров с внутренним базисом. X научно-техническая конференция СЗПИ 1969 г.
3. Оптические преобразователи в дальномерах с внутренним базисом. XI научно-техническая конференция СЗПИ 1970 г.
4. Измерение больших размеров методом оптического подобия. XII научно-техническая конференция СЗПИ 1971 г.
5. Оптические приборы для измерения размеров крупногабаритных деталей. XXVII научно-техническая конференция БПИ г. Минск 1971 г.
6. Внутрибазные дальномеры для контроля инженерных сооружений. XXX научно-техническая конференция МИСИ им. В.В.Куйбышева. 1971 г.