

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ**

На правах рукописи  
УДК 681.586.7.068

**ШИПУЛИН Юрий Геннадьевич**

**ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ  
ПОЛЫХ СВЕТОВОДОВ С ВНЕШНЕЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ДЛЯ  
СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ**

Специальность 05.11.13 – «Приборы и методы контроля  
природной среды, веществ, материалов и изделий»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Ташкент – 2007

Работа выполнена на кафедрах «Автоматизация и управление» и «Метрология, стандартизация и сертификация» Ташкентского государственного технического университета имени Абу Райхана Беруни.

**Официальные оппоненты:** – академик АН РУз, доктор физико-математических наук, профессор **Раджабов Тельман Дадаевич**,  
– доктор технических наук, профессор **Хакимов Ортогали Шарипович**,

А  
41636 А/2435  
Шипулин Ю.Г.  
Оптоэлектронное преобразование на основе  
2007. 8/ц

нерное общество  
асов на заседании  
государственном  
адресу: 700095,

спец  
техн  
г.Таш

Таш  
Райх

Уче  
спец  
док

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

**Актуальность работы.** Автоматизация и контроль в таких важнейших отраслях народного хозяйства Республики Узбекистан, как – гидромелиорация, машиностроение, нефтегазовая, химическая и пищевая промышленности требуют применения комплекса первичных преобразователей, что позволит сэкономить большое количество оросительной воды, повысить качество продукции, улучшить условия труда и, в конечном итоге, рационально использовать водные, энергетические и материальные ресурсы.

Одним из основных препятствий этому является отсутствие приборов для контроля расхода вода в открытых каналах, уровня в аванкамерах, шероховатости поверхностей, запыленности окружающей среды и других параметров, отвечающих современным требованиям при работе в тяжелых условиях эксплуатации с повышенной влажностью, запыленностью, загазованностью, наличием в потоках воды большого количества наносов, плавника и т.п.

Потребность в таких преобразователях весьма высока: в настоящее время на территории Республики Узбекистан необходимо обеспечить приборами для измерения расхода воды более 2000 открытых каналов, а приборами для контроля уровня более 5000 аванкамер и водохранилищ. Большое количество приборов необходимо для контроля запыленности, шероховатости поверхностей и других величин.

Для практического решения этих задач необходимо использовать достижения измерительной, микроэлектронной, микропроцессорной и вычислительной техники.

В настоящее время существенно увеличилось количество промышленных установок, оборудованных микропроцессорами, которые обеспечивают эффективную связь объектов контроля со средствами контроля и управления. Этот фактор диктует необходимость разработки преобразователей, совместимых с микропроцессорами электрически и конструктивно, а также по точности, надежности, быстродействию и стоимости.

Одним из универсальных преобразователей, совместимых с микропроцессорами и способных эффективно осуществлять преобразования различных физических величин, являются оптоэлектронные преобразователи (ОП), в которых измеряемая величина воздействует на оптический канал, изменяя параметр излучаемого потока при его распространении от источника к приемнику.

С учетом того, что оптический канал (световод) в значительной степени определяет метрологические и конструктивные характеристики оптоэлектронных преобразователей, а также того, что модуляция потока излучения осуществляется в световоде под воздействием контролируемой величины, эти устройства получили название оптоэлектронные преобразователи с внешней модуляцией и среди них наибольшее развитие и

применение получили оптоэлектронные преобразователи на основе волоконных световодов с внешней модуляцией (ВОПВМ).

Среди оптоэлектронных преобразователей, основанных на принципе модуляции света, недостаточно исследованы и разработаны оптоэлектронные преобразователи на основе полых световодов с внешней модуляцией (ОПВМ), которые, однако, имеют ряд достоинств, таких, как высокая чувствительность, широкий диапазон, технологичность изготовления, низкая стоимость и наиболее пригодны для контроля расхода воды в каналах, уровня жидкостей, шероховатости поверхностей и других величин.

По мере совершенствования существующих и создания новых систем контроля и управления, требования к ОПВМ возрастают. Недостатки существующих ОПВМ сводятся к следующему: конструктивная недоработка, возникающая вследствие использования при их проектировании неэффективных методов; значительные массогабаритные показатели; сложность автоматизации технологического процесса изготовления; повышенная стоимость и материалоемкость, и в ряде конструкций — недостаточная надежность, точность, быстродействие, а также отсутствие приборов на базе ОПВМ со встроенными микропроцессорами.

Наиболее пригодными по комплексу показателей для контроля расхода воды в открытых каналах, уровня воды и положения затворов в гидротехнических сооружениях, запыленности окружающей среды, шероховатости поверхностей в производстве металлических, полимерных и композиционных материалов и других величин, являются ОПВМ. Эффективное решение указанных задач возможно путем создания приборов на основе ОПВМ и введения микропроцессорных комплектов в их состав.

Таким образом, необходимость обеспечения гидромелиоративных, машиностроительных, нефтегазовых, химических, пищевых и других отраслей, вызвали, имеющую важное народнохозяйственное значение, научную проблему создания комплекса микропроцессорных приборов на основе ОПВМ путем развития их теории и методов проектирования.

**Степень изученности проблемы.** Анализ научно-технической литературы и информации по вопросам разработки и исследования оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией позволяет сделать вывод о том, что существовали отдельные работы, в которых были исследованы лишь некоторые типы ОПВМ и которым присущи следующие недостатки: ограниченные функциональные возможности, узкие диапазоны, невысокие надежность и точность. Практически не изучены принципы построения ОПВМ, отсутствие которых не позволяет систематизировать существующие, разработать новые конструкции ОПВМ с улучшенными характеристиками и не создает предпосылок для создания элементов общей теории ОПВМ.

В известных работах также отсутствовали рекомендации по разработке математических моделей ОПВМ, исследованию их основных статических и динамических характеристик, методов их проектирования, а также предложения по методам уменьшения их погрешностей.

Таким образом, отсутствие математических моделей ОПВМ, рекомендаций по расчету и проектированию как самих преобразователей, так и микропроцессорных устройств на их основе, существенно сдерживало развитие ОПВМ и их использование в народном хозяйстве Республики Узбекистан.

**Проблема создания и совершенствования ОПВМ, удовлетворяющих современным требованиям, функционирующих в различных сложных условиях эксплуатации и являющихся неотъемлемой частью системы контроля и управления, несмотря на определенный прогресс в ее решении, остается чрезвычайно актуальной.**

Создание новых ОПВМ и встроенных в комплекте с ними интеллектуальных микропроцессорных устройств как более эффективных средств получения первичной информации, способствуют совершенствованию как ОПВМ так и систем контроля и управления.

**Диссертационная работа связана с тематическими планами НИР** и проводилась в соответствии с координационным планом ЦНИТ при КМ РУз и МВ и ССО Республики Узбекистан по проблеме 3.6.2.4 по теме «Разработка эффективных неразрушающих методов и устройств контроля, качественных и количественных характеристик композиционных материалов и их компонентов»; Государственным заказом на выполнение фундаментальных и прикладных научных исследований, Координационного совета по научно-техническому развитию, Центра по науке и технологиям при КМ РУз по контракту П-10.39 по теме «Разработка микропроцессорной информационно-измерительной системы контроля, регистрации и управления температурой, расходом, уровнем, перемещением и вибрацией технологических агрегатов в производстве композиционных материалов»; по заказу Центра науки и технологии при КМ РУз на выполнение инновационного проекта ИД-5-1 по теме: «Разработка и внедрение интеллектуальных программируемых микропроцессорных систем для измерения, контроля и управления уровнем газовых конденсатов, жидкостей и сыпучих материалов в технологических установках и агрегатах»; темой НИР кафедры «Автоматизация и управление» ТашГТУ «Разработка машинно-ориентированных методов структурного анализа и параметрического синтеза многофункциональных преобразователей и создание микропроцессорных систем автоматизированного контроля и регулирования технологическими параметрами сельхозагрегатов» (шифр проблемы 0.80.02, Гос. регистр 0187.00003914); «Разработка, внедрение интеллектуальных систем с программно-алгоритмической поддержкой принятия управленческих решений в задачах анализа и синтеза иерархических многоуровневых систем управления непрерывными и дискретными технологическими объектами»; планами НИР Ташкентского государственного технического университета имени Абу Райхана Бериуни (Гос. регистр 72040204, 73035132, 77003388, 78029870, 7961067, 01823044779, 018600002367, 01920015391).

**Целью исследования** является теоретическое обобщение и развитие методов создания оптоэлектронных первичных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией и разработка на их основе комплекса приборов и устройств с микропроцессорными средствами для систем контроля и управления.

**Задачи исследования.** Основными задачами исследования являются:

- обоснование перспективности развития оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией;
- разработка принципов построения ОПВМ;
- разработка математических моделей ОПВМ;
- анализ основных характеристик ОПВМ;
- разработка методики расчета и проектирования ОПВМ;
- создание новых эффективных ОПВМ и приборов на их базе со встроенными интеллектуальными микропроцессорными устройствами для различных систем контроля и управления технологическими процессами.

**Объект и предмет исследования.**

**Объектом исследования** являются оптоэлектронные преобразователи на основе полых световодов с внешней модуляцией и микропроцессорные приборы на их основе для систем контроля и управления.

**Предметом исследования** являются: анализ принципов построения оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией; разработка их математических моделей; анализ их основных характеристик; разработка методики их расчета и проектирования; разработка новых конструкций ОПВМ и микропроцессорных приборов на их основе для различных систем контроля и управления.

**Методы исследования.** Решение указанных задач выполнялось с использованием следующих методов исследования: аналитических и экспериментальных методов; теории геометрической оптики; теории графов; теории автоматического управления; теории измерительных преобразователей; теории погрешностей.

**Основные положения, выносимые на защиту.**

- принципы построения оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией;
- математические модели оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией;
- статические и динамические модели основных характеристик оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией;
- анализ погрешностей оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией и разработка методов их компенсации;
- методика проектирования и расчета оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией.

**Научная новизна** результатов диссертации заключается в следующем:

- обобщены принципы построения оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией;
- классифицированы и выявлены обобщенные конструктивные схемы и приемы улучшения основных характеристик оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией;
- разработаны и исследованы новые конструкции и построены их статические модели, позволяющие математически описывать взаимосвязи физических явлений, протекающих в процессе преобразования, с учетом конструктивных особенностей различных типов оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией;
- разработаны статические и динамические модели оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией, позволяющие анализировать все основные и точностные характеристики;
- разработана методика структурного синтеза оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией на основе графовых моделей, морфологических матриц и обобщенных приемов с учетом требований, определяемых системами контроля и управления;
- разработана методика параметрического проектирования оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией с применением ЭВМ, которая позволяет выбрать оптимальные параметры.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Развиваемые в диссертации общие принципы построения ОПВМ позволяют проанализировать существующие и разработать новые конструкции преобразователей. Разработанные методы анализа и синтеза распределения светового потока в полых световодах ОПВМ могут быть использованы для исследования и разработки новых приборов на основе ОПВМ.

Изложенные в диссертации основные положения позволяют производить предварительный выбор структуры и основных элементов ОПВМ, предназначенных для различных систем контроля и управления; расчет основных характеристик ОПВМ; разработку высоконадежных, многофункциональных и точных первичных преобразователей для тяжелых условий эксплуатации в различных системах контроля и управления с помощью программ расчета на ЭВМ.

**Реализация результатов.** Результаты работы использованы при разработке микропроцессорных приборов и устройств для контроля: расхода воды в открытых каналах; уровня воды в аванкамерах насосных станций; линейных и угловых перемещений исполнительных механизмов работающих в агрессивных условиях окружающей среды; параметров шероховатости

композиционных материалов; уровня запыленности технологических объектов. Оптоэлектронные интеллектуальные микропроцессорные системы учета расхода воды в открытых каналах и уровня воды в аванкамерах насосных станций были внедрены в подразделениях Наманганского управления водным хозяйством и на отводящем канале Газалкентской гидроэлектростанции; микропроцессорное устройство контроля и управления перемещением исполнительных механизмов внедрено в Бухарском нефтеперерабатывающем заводе; микропроцессорное устройство контроля уровня запыленности в производственных помещениях внедрено в Ханкинском хлопкоочистительном заводе Хорезмской области; микропроцессорная система контроля штучных изделий внедрена в подразделениях «Узмевамахсулотузумсаноат» Холдинг; микропроцессорная многоканальная система контроля и регистрации освещенности и скорости внедрена в научно-производственном объединении «NIPO STANDART».

В учебный процесс внедрены принципы построения оптоэлектронных первичных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией, материалы по их расчету и моделированию на ПЭВМ, отдельные конструкции первичных преобразователей для лабораторных и практических занятий.

Элементы общей теории и методика оптимального синтеза ОПВМ используются при чтении лекций, выполнении курсовых и выпускных работ бакалавров и диссертационных работ магистров в Ташкентском государственном техническом университете, Ташкентском институте текстильной и легкой промышленности, Ташкентском университете информационных технологий и Кыргызско-Узбекском университете (КР, г. Ош). Общий экономический эффект от внедрения результатов работы составил более 28,05 млн. сум в год.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на: ежегодных НТК профессорско-преподавательского состава ТашГТУ (1970-2006 гг.); II и IV научно-технических семинарах «Методы синтеза и планирования развития структур сложных систем» (Ташкент, 1981, 1987 гг.); III Всесоюзной научно-технической конференции «Программное алгоритмическое обеспечение АСУТП» (Ташкент, 1985 г.); научно-технической конференции «По методам и техническим средствам, применяемым при испытании сельскохозяйственной техники» (Москва, 1985 г.); Республиканской конференции «Научно-техническое творчество: проблемы эврилогии» (Рига, 1987 г.); IV Всесоюзной научно-технической конференции «Математическое, алгоритмическое и техническое обеспечение АСУТП» (Москва, Ташкент, 1988 г.); семинаре МДНТП им. Ф.Э.Дзержинского «Применение опико-электронных приборов и волоконной оптики в народном хозяйстве» (Москва, 1989 г.); Всесоюзной конференции «Опико-электронные измерительные устройства и системы» (Томск, 1989 г.); II Международной конференции «Системный анализ, моделирование и управление сложными процессами и объектами на базе ЭВМ» (Ташкент, 1992 г.); Международной научно-технической конференции



«Вибрационные машины и технологии» (Курск, 1997 г.); III Международной конференции «Распознавание-97» (Курск, 1997 г.); I и II Международных научно-теоретических и практических конференциях «Проблемы и перспективы автоматизации производства и управления» (Ташкент, 1997, 1999 гг.); «World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation» (WCIS-2000, Tashkent, Uzbekistan-2000); Международной научно-практической конференции «Иновация-2000» (Бухара, 2000 г.); I-VI научно-практических конференциях одаренных студентов «Молодежь в развитии науки и техники» (Ташкент, 2001-2006 гг.); X юбилейной Российской научно-технической конференции с международным участием, посвященный 90-летию образования Курского Государственного Технического Университета (Курск, 2003 г.); Third World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation (WCIS-2004, Tashkent, Uzbekistan-2004); Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Тюрко-согдийский синтез и развитие проблемы культурного наследия» (Ош, 2004 г.); Fourth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation (WCIS-2006, Tashkent, Uzbekistan-2006).

**Опубликованность результатов.** По результатам выполненных исследований опубликовано 60 научных работ, в том числе – 2 монографии, 2 учебных пособия, 21 журнальных статей, получено 5 авторских свидетельств и патентов РУз.

В совместных публикациях автору принадлежит: постановка и формализация задач исследования, разработка графовых моделей, принципов построения ОПВМ, анализ основных характеристик и источников погрешностей ОПВМ, участие в технической реализации и внедрении ОПВМ, микропроцессорных приборов и устройств на их основе в различных отраслях промышленности.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка используемой литературы (224 источника) и приложений. Работа изложена на 234 страницах машинописного текста, содержит 58 рисунков и 10 таблиц.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, дана общая характеристика выполненной работы и новизна исследований, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** дано обоснование существования проблемы развития ОПВМ, показана ее актуальность, перспективность и намечены пути ее решения.

Среди существующих преобразователей, основанных на различных физических принципах действия (электромагнитные, тепловые, емкостные, ультразвуковые и другие), оптоэлектронные преобразователи имеют ряд преимуществ, основными из которых являются: высокая точность и большое быстродействие, широкий диапазон преобразований, простота стыковки с ЭВМ, гальваническая развязка цепей входа и выхода.

Развитие систем контроля и управления в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства приводит к росту потребности в различных приборах для измерения расхода жидкостей и газов, линейных и угловых перемещений, уровня жидкостей, шероховатости поверхностей, запыленности и загазованности помещений и других величин.

Для контроля вышеуказанных величин широко используются оптоэлектронные преобразователи, которые основаны на известных оптических явлениях: отражения, поглощения, преломления, полном внутреннем отражении света и других.

В оптоэлектронных преобразователях используются различные источники излучения (ИИ) и приемники излучения (ПИ). При этом ИИ и ПИ могут быть как сосредоточенными, так и распределенными. Так же широко применяются различные измерительные схемы (ИС), оптические каналы (ОК) в виде специальных световодов (СВ) и оптически прозрачных газовых, жидкостных и твердых тел и сред; оптические элементы (ОЭ): линзы, зеркала, фильтры; различные экраны и другие.

Анализ принципов построения оптоэлектронных преобразователей показывает, что именно световоды во многом определяют конструктивное разнообразие и метрологические характеристики оптоэлектронных преобразователей.

В настоящее время наибольшее развитие получили оптоэлектронные преобразователи с внешней модуляцией на основе волоконных световодов (ВОПВМ). Оптоэлектронные преобразователи с внешней модуляцией на основе полых световодов (ОПВМ) из-за конструктивной недоработки и ограниченных функциональных возможностей недостаточно разработаны и менее используются в системах контроля и управления.

В оптоэлектронных преобразователях на основе полых световодов выходной сигнал формируется в результате воздействия (модуляции) входной величины на распределение светового потока внутри полого световода. Имеются значительные возможности улучшения характеристик ОПВМ за счет конструктивных мер и рационального выбора режима работы. Реализации этих возможностей во многом мешает сложность и ненаглядность существующих методов исследования и расчета ОПВМ. Поэтому для совершенствования ОПВМ и создания новых эффективных приборов на основе ОПВМ необходимо разработать методы анализа и синтеза ОПВМ и широко использовать для обработки выходных сигналов современную элементную базу, включая микропроцессоры.

С целью выявления основных принципов построения ОПВМ, на основе которых могут быть созданы приборы для систем контроля и управления, разработаны графовые модели ОПВМ, морфологические таблицы основных элементов ОПВМ: источников и приемников излучения; полых световодов; продольных и поперечных подвижных элементов, модулирующих световой поток в полом световоде. Результаты этих исследований обобщены в классификационных таблицах, отражающих принципы построения ОПВМ, (таблица 1 (а и б)), в которой конструкции ОПВМ рассмотрены по сочетанию

Классификация ОПВМ: а – с продольным перемещением подвижных элементов; б – с поперечным перемещением подвижных элементов.

а)

		Приемники излучения	
		Обыкновенные (ОПИ)	Кольцевые (КПИ)
Подвижные элементы	Внутренний световод		
	Наружный световод		
	Наружный экран		
	Шток с ПИ и отражателем		
	Магнит с ПИ и отражателем		

б)

Продолжение

## Приемники излучения

		Приемники излучения	
		Обыкновенные (ОПИ)	Кольцевые (КПИ)
Подвижные элементы	Светоход (СВ)		
	Непрозрачная итгорка-экран (Э)		
	Шероховатая поверхность (ШП)		
	Лента со светлой и темной полосой (ЛП)		
	Светоотражающий шар (СШ)		

продольно и поперечно перемещающихся основных элементов и приемников излучения, которые подразделены на обыкновенные (ОПИ) и кольцевые (КПИ).

Проведенные исследования принципов построения ОПВМ позволили систематизировать и классифицировать конструкции ОПВМ и сделать следующие выводы:

1. Характерными конструктивными признаками ОПВМ являются:

а) Наличие следующих основных элементов: источника излучения – ИИ; полого световода – ПС; приемника излучения – ПИ; оптического экрана – ОЭ; дополнительного световода – ДСВ; светостражающего тела – СОТ или внешнего модулирующего тела (ВМТ) и различных оптических элементов (линзы, диафрагмы, зеркала и другие).

б) Наличие следующих продольно или поперечно перемещающихся подвижных элементов: дополнительных внутренних или внешних СОТ или ВМТ.

2. Характерными признаками ОПВМ, раскрывающими принцип их действия, являются:

а) Определенный закон изменения вдоль полого световода текущих значений распределения светового потока  $\Phi(x)$  от соответствующих источников излучения: распределенного (РИИ) и сосредоточенного (СИИ).

б) Изменение распределения освещенной поверхности  $S_{осв}(x)$  приемника излучения, вызванное изменением входной величины.

3. Роль подвижных элементов ОПВМ заключается в следующем:

а) Роль подвижного источника излучения – в изменении распределений светового потока  $\Phi(x)$ .

б) Роль подвижного приемника излучения – в определении параметров распределения  $\Phi(x)$ .

в) Роль подвижного дополнительного световода – в увеличении проводимости на пути светового потока  $\Phi(x)$ .

г) Роль подвижного оптического экрана – в увеличении оптического сопротивления на участке полого световода с оптическим экраном.

д) Роль подвижных СОТ и ВМТ – в увеличении отраженного светового потока и в модуляции светового потока под воздействием входной величины  $x_{вх}$  в той или иной конструкции.

Зная роль тех или иных основных и подвижных элементов в конкретной конструкции можно определить назначение ОПВМ, основные характеристики и преимущества при его применении в конкретной области.

Ряд конструкций ОПВМ, приведенные в таблице 1 (а, б), защищены авторскими свидетельствами и патентами.

**Во второй главе** рассмотрен общий подход к получению математических моделей ОПВМ. На основании аналитических исследований получены математические модели для различных типов ОПВМ, приведенных на рис. 1. При разработке математических моделей ОПВМ учитывалось, что геометрические размеры полых световодов намного больше длины волны света, что позволяет с достаточной точностью получать математические

модели ОПВМ на основе законов геометрической оптики. Методы расчета светопрохождения в полых световодах на основе положений геометрической оптики были разработаны в работах Вейнберга В.Б., Крупина Д.М., Гершуна А.А. и других. Однако в этих работах полые световоды рассматривались только как каналы для прохождения светового потока, а в ОПВМ полый световод является измерительным каналом, где происходят измерительные процессы преобразования входной величины в выходную и поэтому математические модели ОПВМ должны позволять исследовать все основные характеристики ОПВМ и разрабатывать новые конструкции.

Функция распределения светового потока вдоль полого световода  $\Phi(x)$  является весьма сложной, зависящей от:  $\rho_1$  – коэффициента отражения внутренней поверхности полого световода;  $\rho_2$  – коэффициента отражения поверхности внешнего модулирующего тела;  $D$  – внутреннего диаметра полого световода, м;  $b$  – толщины стенки полого световода;  $K_x$  – коэффициента поглощения среды, заполняющей полый световод;  $K_y$  – коэффициента поглощения материалом внутренней поверхности полого световода;  $D_0$  – диаметра диафрагмы, м;  $u_0$  – угла вхождения луча;  $u$  – текущего угла луча;  $n$  – числа отражений луча от внутренней поверхности полого световода;  $n_{pc}$  – показателя преломления материала полого световода;  $x$  – линейной координаты;  $L$  – длины полого световода.

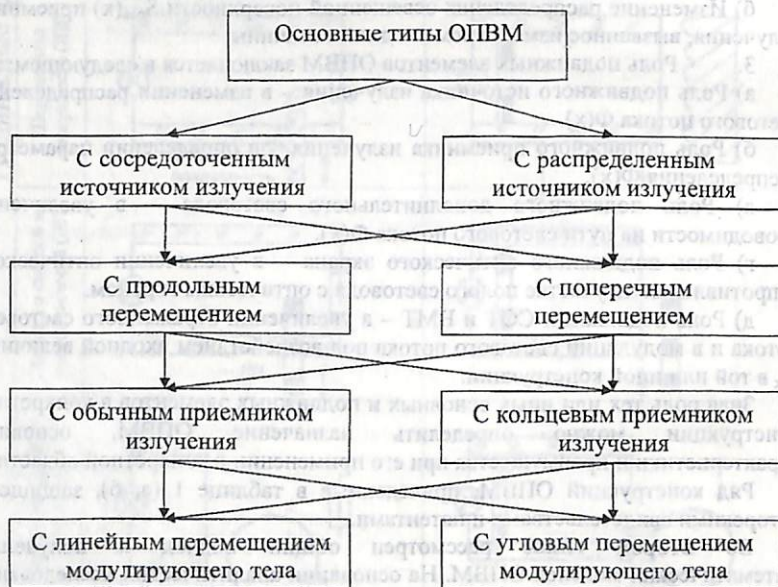


Рис. 1. Обобщенная классификация типов ОПВМ.

Полые световоды могут быть оптически прозрачными или непрозрачными, иметь разнообразные геометрические формы и размеры с различными сочетаниями параметров и коэффициентов  $\rho_1, \rho_2, k_x, k_y$ , которые, в свою очередь, могут быть распределенными вдоль оси полого световода (по координате  $X$ ):  $\rho_1(x), k_x(x), k_y(x)$ .

Так как расчет распределения светового потока  $\Phi(x)$  вдоль такого полого световода представляет крайне сложную задачу, то целесообразно с практической точки зрения разработать методику расчета распределения  $\Phi(x)$  для полого световода с параметрами  $D(x) = const; \rho_1(x) = const; k_x(x) = const; k_y(x) = const$ , которые получили наибольшее распространение при разработке различных измерительных приборов на основе ОПВМ. Отклонения параметров полых световодов от вышеуказанных учитываются при анализе источников погрешностей ОПВМ.

Показано, что ОПВМ с распределенным на торце полого световода источником излучения (РИИ) имеют конструкции, аналогичные по принципу построения оптоэлектронным концентратометрам, мутномерам, фотопотенциометрам и другим приборам, но отличаются ОПВМ от вышеупомянутых устройств в структуре конструкции наличием большого числа продольно и поперечно перемежающихся элементов (источников и приемников излучения, световодов, экранов, цилиндрических и шарообразных тел и других). Наличие полого световода в этих конструкциях ОПВМ позволяет получить: во-первых, заданные распределения светового потока вдоль полого световода, во-вторых, защитить светораспределение от внешних фоновых помех и т.д., что существенно повышает точность таких конструкций ОПВМ.

Математическая модель ОПВМ с распределенным на входном торце полого световода источником излучения (рис.2,а) получена на основе закона Бугера и имеет вид:

$$\Phi_{\Sigma}(x) = \Phi(0)e^{-(K_{x_1}x_1 + K_{x_2}x_2)}, \quad (1)$$

где  $K_{x_1}, K_{x_2}$  - соответственно коэффициенты поглощения на участках  $x_1, x_2$ ,  $\Phi_{\Sigma}(x)$  - распределение светового потока на участке  $x$ ;  $\Phi(0)$  - распределение светового потока на торце полого световода.

Математическая модель ОПВМ с сосредоточенным на торце источником излучения существенно отличается от математической модели ОПВМ с распределенным источником излучения. Как показано на рис. 2,б кроме прямого светового потока  $\Phi_{пр}(x)$  на приемник излучения падает световой поток  $\Phi_{отр}(x)$ , образованный лучами, отраженными от внутренней поверхности полого световода. Кроме того, световой поток внутри полого световода непрерывно поглощается средой заполняющей полость световода и материалом стенки полого световода.

Математическая модель ОПВМ с СИИ получена для основного типа

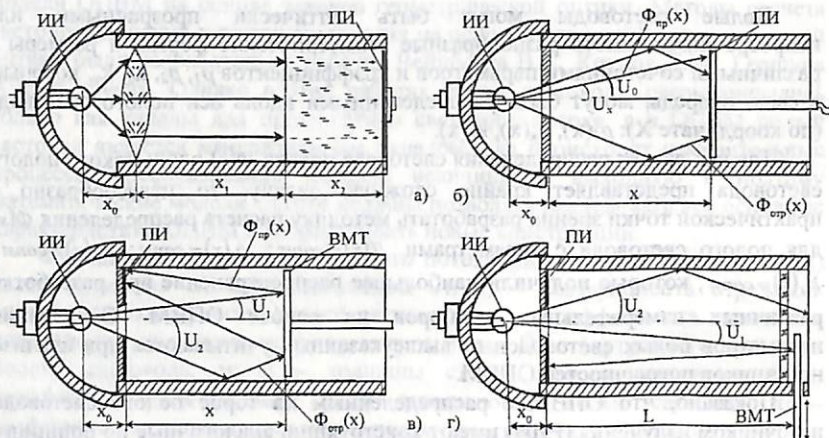


Рис. 2. Физические модели ОПВМ: а – с РИИ и ОИ; б – с СИИ и ОИ; в – с СИИ и КПИ; г – с СИИ и КПИ и поперечно перемещающимся ВМТ

трубчатого полого световода (рис. 2,б) с  $D(x) = const$ ;  $\rho_1(x) = const$ ;  $k_x(x) = const$ ;  $k_y(x) = const$ .

Уравнение распределения прямого светового потока в пределах угла вхождения  $0 \leq U_x \leq U_0$  имеет вид:

$$\Phi_{пр}(x) = I \Omega \exp(-K_x x) = I \frac{S}{x^2} \exp(-K_x x). \quad (2)$$

При наличии в полом световоде лучей света с малой апертурой, длина пути луча, вошедшего в световод под углом  $U$  к оси, равна:

$$L_s = \frac{L}{\cos u}. \quad (3)$$

Число отражений такого луча от стенки полого световода

$$n = \frac{L}{D} \operatorname{tg} u. \quad (4)$$

Полный световой поток распространяется в полом световоде, имея входной телесный угол  $\Omega_{\text{вх}}$ , поэтому

$$\Phi_{\Sigma}(x) = I \int_0^{\Omega_{\text{вх}}(x)} d\Omega. \quad (5)$$

Световой поток, падающий (до отражения) на внутреннюю поверхность стенки полого световода, определяется из выражения

$$\Phi_{\text{пад}}(x) = I \int_{\Omega_x(x)}^{\Omega_{\text{вх}}(x)} d\Omega = IS \left( \frac{1}{x_0^2} - \frac{1}{x^2} \right), \quad (6)$$

где  $I$  – сила света;  $S$  – площадь;  $x_0$  – расстояние ИИ от диафрагмы, и



$$\Phi_{\text{отп}}(x) = \Phi_{\text{пад}}(x) \rho_{\text{отп}}. \quad (7)$$

С учетом числа отражений расчетный коэффициент отражения

$$\rho_{\text{отп}} = \int_{u_x}^{u_0} \rho^D \operatorname{tg}^u u, \quad (8)$$

где

$$u_0 = \operatorname{arctg} \frac{D}{2x_0}; \quad u_x = \operatorname{arctg} \frac{D}{2x}.$$

$$\Phi_{\text{отп}}(x) = IS \left( \frac{1}{x_0^2} - \frac{1}{x^2} \right) \int_{u_x}^{u_0} \rho^D \operatorname{tg}^u u \, du \, e^{-K_x x \int_{u_x}^{u_0} \frac{1}{\cos u} \, du}. \quad (9)$$

Суммарный световой поток, падающий на ПИ, равен

$$\Phi_{\Sigma}(x) = I \frac{S}{x^2} \left[ e^{-K_x x} + \left( \frac{x^2}{x_0^2} - 1 \right) e^{-K_x x \int_{u_x}^{u_0} \frac{1}{\cos u} \, du} \int_{u_x}^{u_0} \rho^D \operatorname{tg}^u u \, du \right]. \quad (10)$$

На основе (10) получены математические модели ОПВМ следующих конструкций: с продольным перемещением полого световода при неподвижных СИИ и ПИ; с продольным перемещением полого световода совместно с ОПИ; с двумя полыми световодами, из которых наружный световод продольно перемещается относительно неподвижного внутреннего полого световода.

Весьма эффективной является конструкция ОПВМ с кольцевым приемником излучения, расположенным возле источника излучения, выполняющий роль диафрагмы (рис. 2, в).

При продольном перемещении внешнего модулирующего тела (пластины) на приемник излучения падает суммарный световой поток, равный

$$\Phi_{\Sigma}(x) = \Phi_{\text{пр1}}(x) + \Phi_{\text{отп2}}(x), \quad (11)$$

где  $\Phi_{\text{пр1}}(x)$  – прямой световой поток, входящий в полый световод в пределах угла  $0 \leq U \leq U_1$ ,  $\Phi_{\text{отп2}}(x)$  – обратный световой поток, входящий в полый световод в пределах угла  $U_1 \leq U \leq U_2$ .

На основании исследований получено:

$$\Phi_{\Sigma} = I_0 \frac{\pi(D^2 - D_1^2)}{16x^2} \left[ \rho_2 e^{-K_x 2x} + \left( \frac{4x^2}{x_0^2} - 1 \right) \cdot e^{-K_x 2x \int_{U_1}^{U_2} \frac{1}{\cos U} \, dU} \cdot \int_{U_1}^{U_2} \rho_1 \frac{2x}{D} \operatorname{tg} U \, dU \right]. \quad (12)$$

При поперечном перемещении внешнего модулирующего тела (рис. 2, г) получена математическая модель в виде:

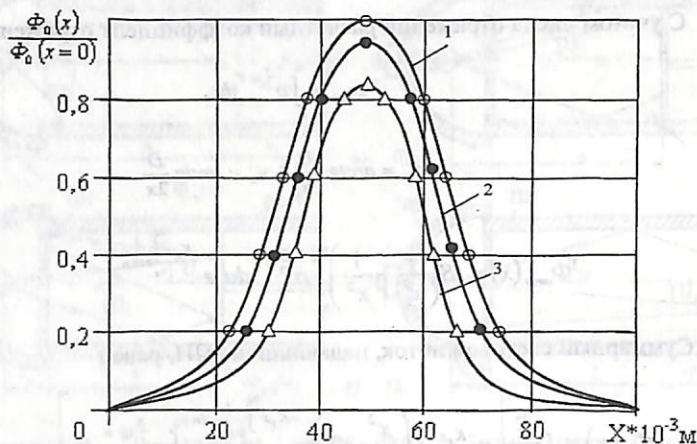


Рис. 3. Графики изменения относительного значения  $\Phi_0(x)/\Phi_0(x_0)$

$$\Phi_{\Sigma}(x) = I \frac{K \cdot S(x)}{4L^2} \left[ \rho_2 \cdot e^{-Kx/2L} + \left( \frac{4L^2}{y_0^2} - 1 \right) \cdot e^{-K_y/2L} \int_{u_1}^{u_2} \frac{1}{u_1 \cos U} dU \cdot \int_{u_1}^{u_2} \rho_1 \frac{2L}{R} e^{iU} dU \right]. \quad (13)$$

С учетом того, что

$$K \cdot S(x) \approx \left( 1 - \frac{D_1^2}{D^2} \right) / \frac{4}{3} \sqrt{R^2 - (R-x)^2} \cdot x \quad (14)$$

то

$$K \approx \frac{S_{nu}(x)}{S(x)} = \left( 1 - \frac{D_1^2}{D^2} \right). \quad (15)$$

На рис. 3 приведены графики изменения относительного значения  $\Phi_0(x)/\Phi_0(x_0)$ , который показывает, что световой поток, а следовательно и выходной сигнал ОПВМ, при поперечных перемещениях внешних модулирующих тел (1 – пластина, 2 – шар, 3 – цилиндр) изменяются в виде импульса, имеющего колоколообразную форму, что позволяет использовать данный ОПВМ для создания дискретных преобразователей.

В этой же главе приводятся результаты сравнения результатов теоретических и экспериментальных исследований математических моделей на экспериментальных установках для исследования ОПВМ с продольным и поперечным перемещением подвижных элементов. Сравнение расчетных и экспериментальных распределений световых потоков показывает, что расхождение не превышает 8-10%.

В третьей главе рассмотрены вопросы анализа статических и динамических характеристик, чувствительности и надежности ОПВМ. Статические характеристики получены для ОПВМ с продольным и поперечным перемещением внешнего модулирующего тела (подвижного элемента) с обычным и кольцевым приемниками излучения и при сосредоточенных и распределенных на входном торце полого световода источниках излучения.

Статические характеристики ОПВМ наиболее эффективно реализуются с помощью делительных или мостовых схем, в плечи которых включаются наиболее распространенные приемники излучения – фоторезисторы, фотодиоды и другие.

Выражение статической характеристики ОПВМ для конструкции с одним активным приемником излучения будет иметь вид:

$$U_{\text{вых}} = U_M K / (K+1)^2 * [1 - \Phi_0(X_{\text{мин}}) / \Phi_0(X)], \quad (16)$$

где  $U_{\text{вых}}$  – выходное напряжение мостовой схемы; где  $U_M$  – напряжение питания мостовой схемы;  $K$  – коэффициент симметрии мостовой схемы;  $\Phi_0(X_{\text{мин}})$  – световой поток, падающий на приемник излучения при начальном положении подвижного элемента;  $\Phi_0(x)$  – текущее значение светового потока.

Для дифференциальной конструкции ОПВМ статическую характеристику можно записать в виде

$$U_{\text{вых}} = U_M \cdot \frac{K}{(K+1)^2} \cdot \left[ \frac{\Phi_{02}(x_{2\text{мин}})}{\Phi_{02}(x_2)} - \frac{\Phi_{01}(x_{1\text{мин}})}{\Phi_{01}(x_1)} \right], \quad (17)$$

где  $\Phi_{01}(X_{1\text{мин}})$ ,  $\Phi_{02}(X_{2\text{мин}})$  – световые потоки левой и правой частей полых световодов при начальном положении соответствующих подвижных элементов;  $\Phi_{01}(X_1)$ ,  $\Phi_{02}(X_2)$  – текущие значения световых потоков в левых и правых частях полого световода.

Для определения статической характеристики ОПВМ необходимо, как было указано выше, определить значения световых потоков  $\Phi_0(X)$  или  $\Phi_{01}(X)$ ,  $\Phi_{02}(X)$ , падающих на освещенную поверхность  $S_{\text{осв}}$  приемника излучения.

Для ОПВМ с обычным приемником излучения и продольным перемещением подвижного элемента

$$S_{\text{осв}}(x) = \pi / 4 \cdot D_0^2 [1 + 2x/x_0 + x^2/x_0^2]. \quad (18)$$

Чувствительность преобразования

$$K = \pi D_0^2 / (2x_0) * (1 + x/x_0). \quad (19)$$

Диапазон преобразований

$$x_{\text{макс}} = x_0 (D/D_0 - 1). \quad (20)$$

Световой поток для данного ОПВМ равен

$$\Phi_0(x) = I_0 \frac{S_{\text{осн}}(x)}{(x_0 + x)^2} e^{-K_x(x_0 + x)} \quad (21)$$

Рассмотренный тип ОПВМ наиболее пригоден для контроля диапазона малых перемещений. Для ОПВМ с кольцевым приемником излучения и с продольным перемещением подвижного элемента для диапазона малых перемещений (до 10 мм)

$$S_{\text{осн}} = \pi D_0^2 x / x_0 (1 + x / x_0), \quad (22)$$

$$\Phi_0(x) = I_0 \frac{S_{\text{осн}}(x) \rho_1}{(x_0 + 2x)^2} e^{-K_x(x_0 + 2x)} \quad (23)$$

Для ОПВМ с распределенным на торце источником излучения

$$U_{\text{вых}} = U_M \cdot \frac{K}{(K+1)^2} \cdot \left[ \frac{\Phi_0(x_0)}{\Phi_0(x)} - 1 \right] \cdot \frac{1}{[1 - S_{\text{пр}} \cdot \Phi_0(x_0) \cdot R_H / U_M]}, \quad (24)$$

$$\Phi_0(x_0) = \Phi_0(x=0) e^{-K_x x_0}, \quad (25)$$

$$\Phi_0(x) = \Phi_0(x=0) e^{-K_x x}. \quad (26)$$

Чувствительность данного ОПВМ

$$S_0 = U_M \cdot \frac{K e^{-K_x x}}{(K+1)^2} \cdot \left[ 1 - \frac{S_{\text{пр}} \Phi_0(x_0) R_H}{U_M} \right]^{-1} K_x, \quad (27)$$

где  $S_{\text{пр}}$  – интегральная чувствительность приемника излучения;  $R_H$  – сопротивление нагрузки.

Для выбора диапазона продольных перемещений и оценки чувствительности ОПВМ важным является анализ зависимости  $\Phi(x)$  от продольного перемещения подвижного элемента  $\Phi_0(x) / \Phi_0(x_0) = f(x)$  вдоль всей длины полого световода, приведенный на рис.4.

Из зависимости  $\Phi_0(x) / \Phi_0(x_0) = f(x)$  видно, что чувствительность ОПВМ к линейным перемещениям имеет наибольшее значение на участке 1 и достаточно хорошее значение на участке 3. На участке 2 ОПВМ имеет минимальную чувствительность и поэтому, данный участок 2 целесообразно использовать для работы ОПВМ при поперечных перемещениях.

Для преобразования поперечных перемещений подвижных элементов наибольшее развитие получили ОПВМ с распределенным на одном торце источником излучения и расположенным на другом торце приемником излучения, а также ОПВМ с сосредоточенным источником излучения и кольцевым приемником излучения.

Получены статические характеристики ОПВМ с распределенным источником излучения на торце полого световода для преобразования угловых перемещений, концентрации пыли и при контроле цилиндрических и других штучных изделий.

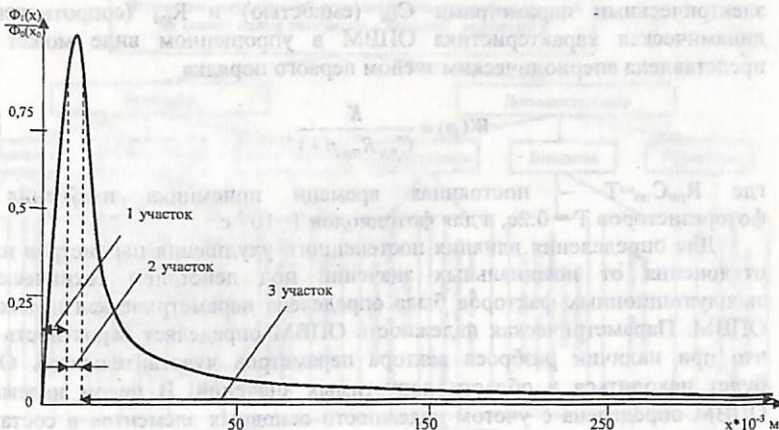


Рис. 4. Зависимость  $\Phi_0(x)/\Phi_0(x_0)=f(x)$  для ОПВМ

Статические характеристики ОПВМ с сосредоточенным источником излучения при поперечных перемещениях подвижных элементов проанализированы для конструкций с поперечно перемещающимися светоотражающими шаром и лентой (пластинкой) с поочередными светлыми и темными участками.

Для анализа динамических характеристик ОПВМ целесообразно использовать динамическую графовую модель с учетом взаимодействия цепей источника излучения, полого световода и приемника излучения. Передаточная функция ОПВМ в общем может быть записана в виде

$$W(p) = W_{ин}(p) \cdot W_{пс}(p) \cdot W_{пр}(p), \quad (28)$$

где:

$$W_{ин}(p) = \frac{T_{ин}(p) \Pi_{ин}(p)}{1 + T_{ин}(p) \Pi_{ин}(p) T_{пс}(p) \Pi_{пс}(p)}, \quad (29)$$

$$W_{пс}(p) = \frac{T_{пс}(p) \Pi_{пс}(p)}{1 + T_{пс}(p) \Pi_{пс}(p) T_{пс}(p) \Pi_{пс}(p)}, \quad (30)$$

$$W_{пр}(p) = \frac{T_{пр}(p) \Pi_{пр}(p)}{1 + T_{пр}(p) \Pi_{пр}(p) T_{пс}(p) \Pi_{пс}(p)}, \quad (31)$$

где:  $W_{ин}(p)$  – передаточная функция цепи источника излучения;  $W_{пс}(p)$  – передаточная функция цепи полого световода;  $W_{пр}(p)$  – передаточная функция цепи приемника излучения;  $T_i(p)$ ,  $\Pi_i(p)$  – соответственно схемные функции и параметры соответствующих цепей (источника и приемника излучения и полого световода).

Учитывая то обстоятельство, что динамические свойства ОПВМ в основном определяются динамическими свойствами цепи приемников

излучения, динамические свойства которых, в свою очередь, определяются электрическими параметрами  $C_{\text{пн}}$  (емкостью) и  $R_{\text{пн}}$  (сопротивлением), динамическая характеристика ОПВМ в упрощенном виде может быть представлена апериодическим звеном первого порядка

$$W(p) = \frac{K}{C_{\text{пн}} R_{\text{пн}} p + 1}, \quad (32)$$

где  $R_{\text{пн}} C_{\text{пн}} = T$  — постоянная времени приемника излучения для фоторезисторов  $T = 0.2 \text{ с}$ , а для фотодиодов  $T = 10^{-5} \text{ с}$ .

Для определения влияния постепенного ухудшения параметров или их отклонения от номинальных значений под действием технических и эксплуатационных факторов была определена параметрическая надежность ОПВМ. Параметрическая надежность ОПВМ определяет вероятность того, что при наличии разброса вектора параметров чувствительность ОПВМ будет находиться в области допустимых значений. В целом надежность ОПВМ определена с учетом надежности основных элементов и составляет  $p = 0,97$ .

В четвертой главе на основании разработанной классификации источников погрешностей (рис.5) проанализированы составляющие общей погрешности ОПВМ. Были получены аналитические выражения составляющих основных и дополнительных погрешностей: методических, инструментальных, эксплуатационных, внутренних, внешних и режимных.

Степень нелинейности статических характеристик ОПВМ проанализирована на основе формулы

$$\gamma_{\text{нл}} = 0.5 \frac{(U_{\text{внл}} - U_{\text{линей}})}{(U_{\text{внл}} + U_{\text{линей}})} \cdot 100\%, \quad (33)$$

где  $U_{\text{внл}}$ ,  $U_{\text{линей}}$  — нелинейные и линейные значения выходного сигнала статической (аппроксимирующей) характеристики ОПВМ.

Показано, что степень нелинейности зависит от диапазона преобразования и увеличивается с увеличением последней. Степень нелинейности разработанных ОПВМ не превышает  $\gamma_{\text{нл}} = 0,1 - 0,2$ . К методической погрешности относятся также инерционность приемника излучения, непостоянство коэффициентов  $K_x$ ,  $\rho_1$  и  $\rho_2$ .

Как было указано выше, передаточные функции ОПВМ можно отнести к апериодическим моделям первого (иногда и второго) порядка, и для их уменьшения могут быть использованы электрические корректирующие цепочки.

Анализ инструментальных источников погрешности показал, что погрешность от неточности изготовления и установки элементов ОПВМ может быть уменьшена за счет настройки источников и приемников излучения.



Рис. 5. Классификация источников погрешностей ОПВМ

На эксплуатационные источники погрешностей ОПВМ, являющиеся случайными по характеру проявления, наибольшее влияние оказывает люфт между подвижными и неподвижными элементами.

Погрешность от механического гистерезиса может быть определена по формуле:

$$\gamma_{мг} = \pm \Delta L / x_{мг} \quad (34)$$

где  $\Delta L$  – величина максимального продольного отставания подвижного элемента от рабочего элемента объекта контроля или управления.

Изменение температуры окружающей среды является наиболее существенным источником дополнительной погрешности ОПВМ. Температурная погрешность ОПВМ в основном определяется температурной чувствительностью приемника излучения и мостовой измерительной схемы и получена в виде

$$\gamma_T = \frac{\partial F}{\partial R_{пн}} \frac{\partial R_{пн}}{\partial \Delta T} \Delta T = -\alpha_0 R_0 \frac{\partial F}{\partial R_{пн}} \Delta T = K_T \Delta T, \quad (35)$$

где  $F$  – функция преобразования ОПВМ,  $K_T$  – температурная чувствительность ОПВМ,  $\alpha_0$  – температурный коэффициент приемника излучения;  $R_0$  – значение сопротивления приемника излучения при начальной температуре.

Для уменьшения температурной погрешности с основным приемником излучения, в смежное плечо мостовой измерительной схемы включается компенсационный приемник излучения и температурная погрешность

$$K_T = \alpha_0 R_0 \left( \frac{\partial F}{\partial R_{\text{пн1}}} - \frac{\partial F}{\partial R_{\text{пн2}}} \right), \quad (36)$$

где  $R_{\text{пн1}}$ ,  $R_{\text{пн2}}$  – соответственно сопротивления основного и компенсационного приемников излучения.

Для компенсации температурной погрешности целесообразно использовать корректирующую цепочку из термистора и постоянных сопротивлений в цепи питания мостовой измерительной схемы.

Полная погрешность ОПВМ была определена на основе информационной теории измерительных устройств и с учетом суммарной среднеквадратической погрешности основных элементов, относительных весов дисперсий и значений энтропийных коэффициентов и составляет не более 0,79%.

В пятой главе разработаны основы методики структурного и параметрического проектирования элементов и всей конструкции ОПВМ.

Эта методика представляет собой сочетание эвристических и параметрических методов в виде последовательности процедуры выбора основных элементов структуры, компоновки конструкции, выбора оптимальных параметров элементов и всего комплекса ОПВМ с микропроцессорной обработкой выходных сигналов.

С целью выбора оптимальной структуры ОПВМ были разработаны морфологические таблицы основных элементов ОПВМ (источников и приемников излучений, полых световодов, продольно и поперечно перемещающихся элементов). Выбор оптимальной структуры ОПВМ по заданным требованиям осуществляется по разработанному алгоритму (рис.6) на основе ранжирования основных элементов и вариантов конструкций.

После структурного проектирования осуществляется переход к параметрическому проектированию ОПВМ (рис.7). В результате оптимального параметрического проектирования необходимо найти параметры ОПВМ

$$\bar{a} = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, \dots, a_n\}, \quad (37)$$

где  $a_1$  – сила источника излучения;  $a_2$  – диаметр полого световода;  $a_3$  – диаметр отверстия диафрагмы;  $a_4$  – коэффициент отражения внутренней стенки полого световода;  $a_5$  – коэффициент отражения поверхности внешнего модулирующего тела;  $a_6$  – длина полого световода и другие, при которых достигается оптимальное значение критерия оптимальности  $I(\bar{a})$ .

$$I(\bar{a}) = \text{opt } I(\bar{a}) \quad \bar{a} \in D\bar{a}, \quad (38)$$

где  $D\bar{a}$  – область допустимых решений.

Если обозначить  $\Pi$  – область поиска, то

$$\Pi = \{\bar{a}: b_i \leq a_i \leq c_i, \quad i = \overline{1, n}\}, \quad (39)$$



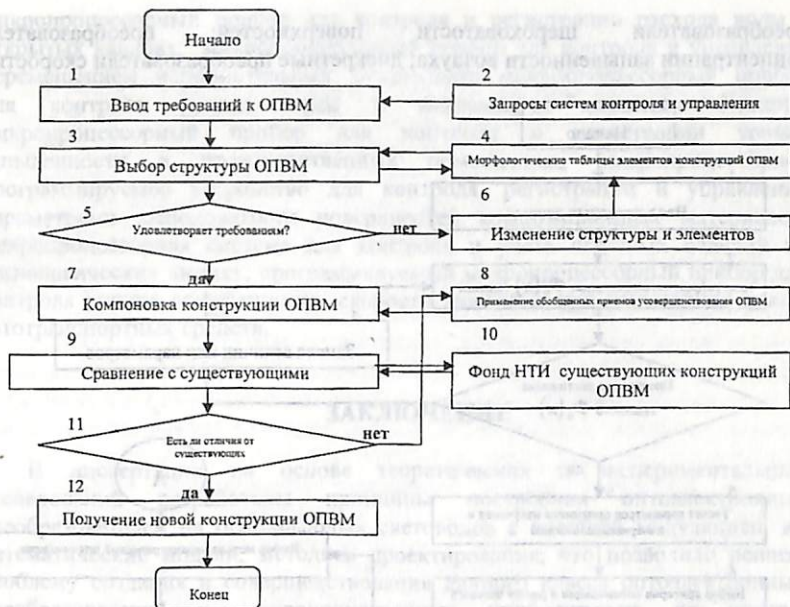


Рис. 6. Схема алгоритма выбора структуры ОПВМ

где  $b_i$  и  $c_i$  – минимальные и максимальные значения  $a_i$ .

В процессе проектирования необходимо учитывать, что ОПВМ выполняет свои функции и остается исправным только при условии, что входная величина  $X_{вх}$  не выходит из диапазона измерений, т.е.  $X_{вх} \in (X_{мин}, X_{макс})$ , где  $X_{мин}$ ,  $X_{макс}$  – минимальные и максимальные значения входной величины.

Для поиска оптимальных параметров используются математические модели основных характеристик ОПВМ.

Рассмотрены и реализованы методики проектирования ОПВМ по критерию чувствительности, линейности статической характеристики, точности и быстродействия. Приведены примеры проектирования ОПВМ для контроля линейных перемещений и уровня жидкости.

В шестой главе приведены наиболее характерные конструкции ОПВМ и микропроцессорные приборы на их основе. Разработанные микропроцессорные приборы на основе ОПВМ отличаются от известных высокой: функциональной возможностью, надежностью и чувствительностью, а также широким диапазоном входных и выходных величин, простотой конструкции и низкой стоимостью.

Основные разновидности новых ОПВМ следующие: преобразователи линейных и угловых перемещений; преобразователи уровня жидкости;

преобразователи шероховатости поверхностей; преобразователи концентрации запыленности воздуха; дискретные преобразователи скорости

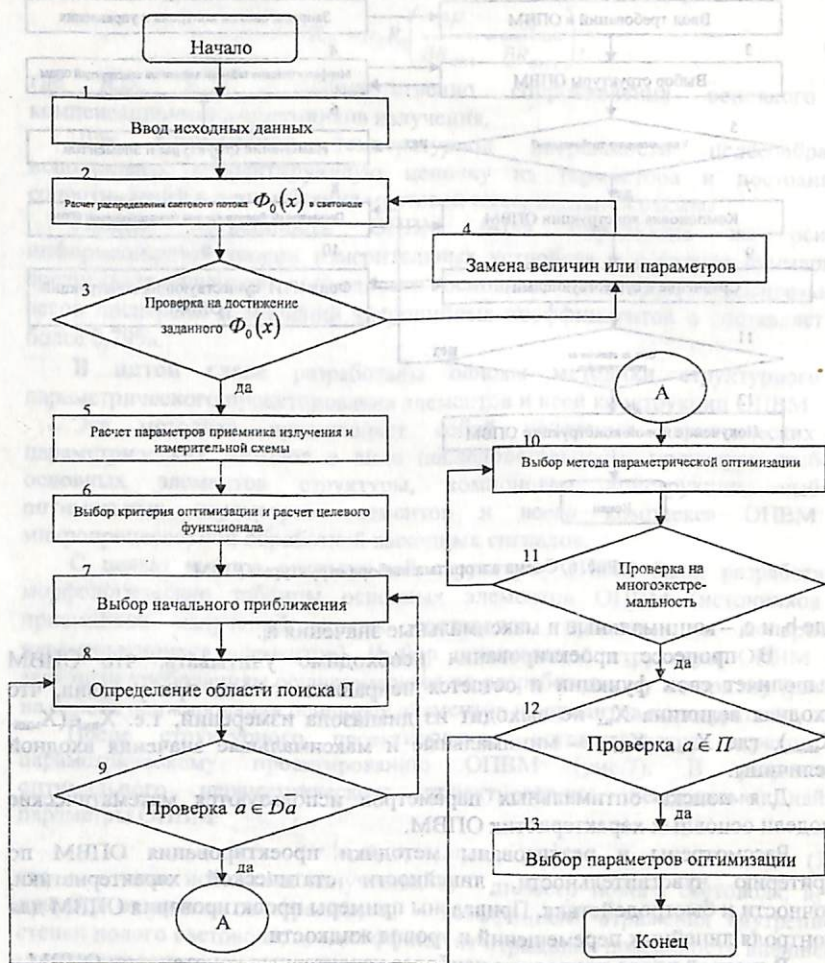


Рис. 7. Блок-схема алгоритма расчета и оптимизации ОВПМ

и контроля штучных изделий. Описаны результаты внедрения микропроцессорных приборов в различных системах контроля и управления, а также приведены основные характеристики разработанных микропроцессорных систем и приборов на основе ОПВМ:

микропроцессорный прибор для контроля и регистрации расхода воды в открытых каналах; микропроцессорный прибор для контроля и управления перемещением исполнительных механизмов; микропроцессорный прибор для контроля уровня воды в аванкамерах насосных станций; микропроцессорный прибор для контроля и регистрации уровня запыленности в производственных помещениях; микропроцессорное программируемое устройство для контроля, регистрации и управления параметрами шероховатости поверхностей композиционных материалов; микропроцессорная система для контроля и учета штучных изделий на технологических линиях; программируемый микропроцессорный прибор для контроля уровня освещенности, скорости движения при испытаниях новых автотранспортных средств.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны принципы построения оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией, их математические модели, методика проектирования, что позволило решить проблему создания и совершенствования данного класса оптоэлектронных преобразователей и микропроцессорных приборов на их основе, удовлетворяющих современным требованиям и функционирующих в различных системах контроля и управления на конкретных промышленных объектах.

В итоге получены следующие основные результаты:

1. Обоснована необходимость исследования и создания новых конструкций ОПВМ и микропроцессорных приборов на их основе для систем контроля и управления: расходом воды в открытых каналах; уровнем воды в аванкамерах насосных станций; шероховатости поверхностей; линейных и угловых перемещений; запыленности окружающей среды.

2. На основе обобщенной графовой модели и морфологических таблиц выявлены общие принципы построения ОПВМ и показано, что характерными конструктивными признаками ОПВМ является наличие основных элементов: источника и приемника излучения, полого световода, оптического экрана, внешних модулирующих световой поток тел и различных оптических элементов.

3. Установлено, что принцип действия ОПВМ раскрывается следующими признаками:

а) Определенным законом изменения вдоль полого световода распределения светового потока от распределенного или сосредоточенного источника излучения на входном торце полого световода.

б) Изменением степени освещенности поверхности приемника излучения от воздействия входной величины.

4. На основе теории геометрической оптики разработаны математические модели ОПВМ, которые позволяют провести анализ и синтез ОПВМ, содержащих распределенные и сосредоточенные источники излучения на входном торце полого световода, продольно и поперечно перемещающиеся внешние модулирующие тела, обычные и кольцевые приемники излучения. Экспериментальные исследования подтвердили адекватность математических моделей и расхождение между теоретическим и экспериментальным распределением световых потоков в полых световодах не превышает 8-10%.

5. Разработаны статические и динамические графовые модели ОПВМ, позволяющие анализировать основные характеристики: статические, динамические, чувствительность, нелинейность и диапазон преобразований. Установлено, что надежность ОПВМ составляет 0,97 и обеспечивается попаданием величины чувствительности в поле допуска. На основании анализа основных характеристик решена проблема повышения качества ОПВМ.

6. На основании анализа источников погрешностей ОПВМ были получены аналитические выражения методических, инструментальных, эксплуатационных, внутренних и внешних составляющих результирующей погрешности ОПВМ и разработаны методы их компенсации. Показано, что из основных погрешностей наиболее существенной является нелинейность статических характеристик и непостоянство коэффициента отражения полого световода и внешних модулирующих тел. Из дополнительных погрешностей существенной является температурная погрешность. Уменьшение нелинейности статической характеристики достигается путем выбора оптимального диапазона, коррекции в мостовой измерительной схеме и применением микропроцессоров. Оценка энтропийной погрешности ОПВМ и приборов на его основе с учетом конкретных конструкций и области применения составила 0,1 – 1,0%.

7. Разработаны основы структурного проектирования ОПВМ и микропроцессорных приборов на их основе, представляющие собой сочетание выбора оптимальных структур и типов основных элементов преобразователей: источников и приемников излучения; полых световодов; подвижных элементов и микропроцессорных комплектов. Методика выбора выполнена на основе графовых моделей и морфологических таблиц и позволяет проводить анализ основных элементов ОПВМ по нескольким признакам (чувствительность, надежность, быстродействие, цена и другие) и положена в основу проектирования микропроцессорных приборов на основе ОПВМ.

8. Разработаны основы параметрического проектирования ОПВМ, представляющие собой оптимизацию распределения светового потока  $\Phi_0(x)$  в полом световоде и выбора параметров основных элементов на основе критериев оптимизации (максимальные – чувствительность, линейность статической характеристики, диапазон преобразований, точность преобразований).

9. Предложенные математические модели, методы расчета и проектирования позволили создать ряд высокоточных и надежных конструкций ОПВМ и микропроцессорных приборов на их основе для систем контроля и управления расходом воды в открытых каналах, линейным перемещением исполнительных механизмов, уровнем воды в аванкамерах насосных станций, запыленностью производственных помещений, шероховатостью поверхностей композиционных материалов и штучными изделиями. Общий экономический эффект от внедрения микропроцессорных приборов с ОПВМ составляет 28.05 млн. сум в год.

10. Полученные в работе теоретические результаты и выводы могут быть использованы на этапах проектирования первичных преобразователей для различных систем контроля и управления. Результаты диссертации могут быть использованы в производственной деятельности научно-исследовательских, опытно-конструкторских и проектных организаций – НПО «Академприбор» АН РУз, ОАО «Химавтоматика», УзНИИХИМПРОЕКТ, Агентства Узгосстандарт, Узтяжпром, Министерств сельского и водного хозяйства РУз и других.

### 1. Монографии и статьи, опубликованные в научных журналах

1. Азимов Р.К., Ходжаев С.С., Сиддиқов И.Х. Шипулин Ю.Г., «Моделирование с применением ЭВМ распределения светового потока в сложных световодах», Доклады АН УзССР, 1985, с. 15-18.

2. Азимов Р.К., Ходжаев С.С., Шипулин Ю.Г. «Оптический первичный преобразователь информации на основе полого световода», ДАН УзССР №2, 1987. с. 20-22.

3. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г. «Оптоэлектронные преобразователи больших перемещений на основе полых световодов». М.: Энергоатомиздат, 1987.-105с.

4. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Максимова Н.Ф. «Общие вопросы проектирования оптико-электронных устройств на основе полых световодов», Изв. ВУЗов «Приборостроение», том 34, №3, 1991. стр. 87-92.

5. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Титов В.С. «Оптико-электронные устройства для измерения расхода воды в каналах». Изв. ВУЗов. Приборостроение, №4, 1991. с.

6. Азимов Р.К., Ходжаев С.С., Шипулин Ю.Г. «Статические графовые модели измерительных устройств для контроля перемещений», ДАН РУз. №6, 1996. с. 19-22.

7. Азимов Р.К., Каландаров П.И., Нурматов Ш.Ш., Шипулин Ю.Г., Азимов А.Р. «Принципы построения первичных преобразователей технологических приборов», Ургенч – 1996.- 56с.

8. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Ходжаев С.С., Сиддиқов И.Х. «Графовые модели оптико-электронных первичных преобразователей», ДАН РУз, №6, 1997, с. 12-15.

9. Шипулин Ю.Г., Азимов А.Р., «Аналоговые оптоэлектронные преобразователи на основе полых световодов для систем контроля уровня и расхода», Вестник ТашГУ №1-2, 1999. с. 43-46.

10. Shipulin Yu.G. «Intelligence optic electronic converters for level checking»./ World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation, WCIS-2000, b-Quadrat Verlag-2000. pp.240-244.

11. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Азимов А.Р., Шипулин Ш.Ю. «Оптоэлектронные измерительные преобразователи на основе полых световодов с внешней модуляцией», Вестник ТашГУ №2, 2000, стр. 92-97.

12. Арипджанов М.К., Шипулин Ю.Г. «Надежность и достоверность работы цифровых устройств и систем». Учебное пособие, Ташкент, 2003. - 79с.

13. Shipulin Yu.G. «Intelligent gauges for technological object» WCIS-2004, III World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation, b-Quadrat Verlag-2004. pp. 186-188.

14. Шипулин Ю.Г. Бекболотов Т.Б. и др. Микропроцессорные системы. Микроконтроллеры семейства МКС 51. Ош. ОшГУ, 2005. 40с.

15. Шипулин Ю.Г. «Статическая модель интеллектуального оптоэлектронного устройства контроля шероховатости поверхностей» // Химическая технология. Контроль и управление, 2005, №2. с. 36-38.

16. Алланиязов А.Х., Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г. «Оптоэлектронный измерительный преобразователь малых линейных перемещений», // Химическая технология. Контроль и управление, 2005, №4. с. 43-47.

17. Шипулин Ю.Г. «Интеллектуальный оптоэлектронный преобразователь вибраций параметров технологических агрегатов» // Химическая технология. Контроль и управление, 2005, №5. с. 30-33.

18. Шипулин Ю.Г. «Расчет оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией»./ Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2006, №2. с.70-73.

19. Шипулин Ю.Г. «Микропроцессорная система диагностирования параметров оптоэлектронных преобразователей с полыми световодами»./ Вестник ТашГУ, 2006, №3. с. 19-21.

20. Шипулин Ю.Г. «Оптоэлектронное микропроцессорное устройство измерения и регистрации запыленности окружающей среды»./ Химическая технология. Контроль и управление. 2006, №4. с.

21. Shipulin Yu.G. «Informatively-intellectual measuring system of diagnosing parameters of optoelectronic transformers with hollow light cores» WCIS-2006, IV World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation, b-Quadrat Verlag-2006. pp. 186-189.

## 2. Авторские свидетельства и патенты

22. А.С. №1467388 СССР «Оптоэлектронный датчик угловых перемещений»/ Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Усманиев Д.Х., Сиддигов И.Х., Салимова М.С. Б.И., №39, 1988.

23. А.С. №1610299 СССР «Оптоэлектронный преобразователь уровня жидкости»/ Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Усманиев Д.Х., Крикунова Т.В., Мирзаева В.Р., Исмагуллаев П.Р. Б.И., №44, 1990.

24. А.С. SU №1825977 СССР «Оптоэлектронный преобразователь перемещений»/ Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Б.И., №25, 1990.

25. ИД DP 9600273.1/ГФ «Датчик потока газа или жидкости»/ Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Расмий ахборотнома, №2, 1997.

26. ИД DP 9600274.1/ГФ «Поплавковый преобразователь расхода жидкости в канале»/ Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Азимов А.Р., Шипулин Ш.Ю., Расмий ахборотнома, №2, 1997.

## 3. Статьи, опубликованные в научных сборниках, материалы и тезисы докладов конференций

27. Шипулин Ю.Г. «Анализ и классификация приемов улучшения характеристик оптоэлектронных преобразователей больших перемещений с полыми световодами»./ Электромагнитные и полупроводниковые устройства автоматики. Сборник научных трудов. Ташкент, 1984. с. 76-80.

28. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Сиддигов И.Х., Шакиров Ш.М. «Оптимальное проектирование оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов для АСУ ТП»./ Программное, алгоритмическое и техническое обеспечение АСУ ТП. Тезисы докладов III Всесоюзной научно-технической конференции. Ташкент, 1985, ч. IV. с.103-104.

29. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г. «Математические модели оптоэлектронных преобразователей на основе полых световодов»./ Фотоэлектрические и волоконно-оптические преобразователи для систем

управления и вычислительной техники. Сборник научных трудов. Куйбышев, 1986. с. 104-113.

30. Шипулин Ю.Г. «Автоматизированное проектирование фотоэлектронных преобразователей больших перемещений с полыми световодами методом планирования эксперимента»./ Автоматизация проектирования микропроцессорных систем управления. Сборник научных трудов. Ташкент, 1986. с. 69-72.

31. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г. «Применение эвристических методов при системном подходе к созданию новых датчиков»./ Научно-техническое творчество: проблемы эврилогии. Тезисы докладов республиканской конференции г. Юрмала, 16-17 ноября, 1987г. Рига, 1987. с. 218-220.

32. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Усманиев Д.Х., Салимова М.С. «Анализ и синтез элементов систем управления на основе обобщенных графовых и энергоинформационных моделей»./ Методы синтеза и планирования развития структур сложных систем. Четвертый научный семинар. Тезисы докладов. Ташкент, 1987, с. 100.

33. Шипулин Ю.Г. «Методические указания к лабораторным работам по курсу «Основы автоматики и автоматизации производственных процессов»». Выпуск 1. Ташкент, 1987.- 42с.

34. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Усманиев Д.Х., Салимова М.С. «Машинно-ориентированный метод анализа первичных преобразователей для систем управления ГАП»./ Моделирование и управление в гибких автоматизированных производствах. Сборник научных трудов. Ташкент, 1987. с. 67-70.

35. Шипулин Ю.Г., Азимов Р.К., Сиддииков И.Х., Усманиев Д.Х., Исаметдинов А.М., Колмыков С.П., Крикунова Т.В. «Структурная оптимизация многопараметрических первичных преобразователей для АСУ ТП»./ Математическое, алгоритмическое и техническое обеспечение АСУ ТП. Сборник научных трудов IV Всесоюзной НТК – Ташкент, – 1988. с. 150.

36. Шипулин Ю.Г., Азимов Р.К., Усманиев Д.Х., Асанов И. «Информационно-измерительная система для испытания параметров тормозных устройств тракторных поездов»./ Математическое, алгоритмическое и техническое обеспечение АСУ ТП. Сборник научных трудов IV Всесоюзной НТК. Ташкент, 1988.- с. 160.

37. Шипулин Ю.Г., Мирзаходжаева Ф.С. «К вопросу выбора технических средств ГАП»./ Автоматизация исследования и проектирования гибких автоматизированных производств. Сборник научных трудов. Ташкент, ТашПИ, 1988. с. 59-61.



38. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Сиддигов И.Х. «Анализ статических характеристик оптоэлектронных первичных преобразователей на основе протяженных световодов»./ Применение оптико-электронных приборов и волоконной оптики в народном хозяйстве. Материалы семинара. Москва МДНТП им. Ф.Э. Дзержинского, 1989. с. 141-143.

39. Шипулин Ю.Г., Азимов Р.К. «Автоматизация проектирования оптоэлектронных преобразователей информации для контроля подсистем ГАП»./ Алгоритмическое, программное и техническое обеспечение гибких производственных систем. Сборник научных трудов ТашГТУ, Ташкент, 1989. с. 76-79.

40. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Джумашев Э.А. «САПР оптоэлектронных датчиков перемещений и скорости на основе полых световодов»./ Системный анализ, моделирование и управление сложными процессами и объектами на базе ЭВМ («Системный анализ-92»). Вторая международная конференция. Тезисы докладов. Ташкент. – 1992, стр. 93-94.

41. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г. «Оптимальное проектирование технических средств АСУ ТП»./ Системный анализ, моделирование и управление сложными процессами и объектами на базе ЭВМ («Системный анализ-92»). Вторая международная конференция. Тезисы докладов. Ташкент. – 1992, стр. 94.

42. Шипулин Ю.Г. «Перспективы развития первичных преобразователей систем управления, со встроенными микропроцессорными устройствами в условиях рыночной экономики»./ Системный анализ, моделирование и управление сложными процессами и объектами на базе ЭВМ. (Системный анализ-93). Тезисы докладов. Ташкент, 1993. с. 27.

43. Шипулин Ю.Г., Азимов Р.К., Джумашев Э.А., Шипулин Ш.Ю. «Автоматизированная система контроля и измерения концентрации пыли»./ Системный анализ, моделирование и управление сложными процессами и объектами на базе ЭВМ (Системный анализ - 93). Третья международная научно-практическая конференция. Тезисы докладов. Ташкент, 1993. с.154.

44. Шипулин Ю.Г. «Система контроля и диагностирования». Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов специальности «АУТС». Ташкент, ТашГТУ, 1994, ч.2. 56с.

45. Буров Ю.В., Шипулин Ю.Г. «Коррекция искажений изображения, вызванная пространственной нелинейностью датчика информации»./ Распознавание – 97. Сборник материалов III Международной конференции. Курск, 1997. с. 107-108.

46. Гитов Е.В., Ширабакина Т.А., Шипулин Ю.Г. «Оптико-электронные преобразователи на основе полых световодов для автоматического обнаружения объектов». III Международная научно-

техническая конференция «Вибрационные машины и технологии», Сборник научных докладов. Курск, 1997. с. 231-234.

47. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Азимов А.Р., Шипулин Ш.Ю., Титов Е.В. «Оптоэлектронные измерительные преобразователи на основе полых световодов с внешней модуляцией»./ Методы и средства систем обработки информации. Сборник научных статей, КГТУ. Курск, 1997. с. 86-89.

48. Азимов Р.К., Азимов А.Р., Шипулин Ю.Г., Шипулин Ш.Ю. «Первичные оптоэлектронные преобразователи на основе полых световодов». Сборник материалов 3 Международной конференции. «Распознавание -97». Курск, 1997. с. 140-141.

49. Шипулин Ю.Г., Азимов Р.К., Азимов А.Р., Шипулин Ш.Ю. «Моделирование и расчет оптимальных параметров оптоэлектронных преобразователей перемещений на основе полых световодов»./ Проблемы и перспективы автоматизации производства и управления. (Автоматизация - 97). Материалы Первой международной научно-теоретической конференции. Ташкент, 1997, ч.1. с. 99-102.

50. Шипулин Ю.Г., «Оптоэлектронная измерительная система уровня подземных вод»./ Проблемы и перспективы автоматизации производства и управления, (Автоматизация-97). Материалы Первой международной научно-теоретической конференции. Ташкент, 1997, ч.2. с. 41-44.

51. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Азимов А.Р., Шипулин Ш.Ю. «Вопросы проектирования первичных преобразователей на основе полых световодов»./ Моделирование и синтез динамических систем. Сборник научных трудов. – 1997, стр. 26-29.

52. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Азимов А.Р., Шипулин Ш.Ю. «Оптоэлектронные преобразователи на основе полых световодов с внешней модуляцией светового потока»./ Моделирование и синтез динамических систем. Сборник научных трудов. Ташкент, 1997, с. 45-49.

53. Шипулин Ю.Г. «Элементы и устройства автоматизации». Конспект лекций, Ташкент, ТашГТУ, 1999.- 128с.

54. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г. «Дискретные оптоэлектронные преобразователи на основе полых световодов для систем контроля уровня и расхода»./ Проблемы и перспективы автоматизации производства и управления. «Автоматизация-99», Сборник научных трудов Второй международной научно-теоретической и практической конференции. Часть 1. Ташкент, 1999. с. 108-116.

55. Шипулин Ю.Г., Азимов Р.К., Азимов А.Р., Шипулин Ш.Ю. «Методика создания базы данных оптических эффектов для разработки технических устройств и приборов»./ Проблемы и перспективы

автоматизации производства и управления. «Автоматизация -99». Сборник научных трудов Второй международной научно-теоретической и практической конференции. Ташкент, 7-9 октября 1999, ч. 3. с.54-62.

56. Шипулин Ю.Г., Азимов Р.К. «Интеллектуальный микропроцессорный расходомер воды в открытых каналах»,/ Материалы и упрочняющие технологии-2003. Сборник материалов Курского государственного технического университета, часть II, Курск, 2003, с. 30-33.

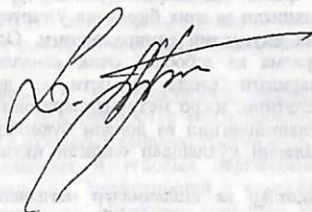
57. Шипулин Ю.Г., Шипулин Ш.Ю., Джураев А.В. «Интеллектуальная оптоэлектронная система измерения и регистрации качественных характеристик шероховатости поверхности композитных материалов»./ Материалы и упрочняющие технологии-2003. Сборник материалов Курского государственного технического университета, часть II, Курск, 2003. с. 33-36.

58. Шипулин Ю.Г., Салиева А.А., Джураев А.В. «Оптоэлектронные устройства контроля шероховатости поверхностей композиционных материалов»./ Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Тюрко-согдийский синтез и развитие проблемы культурного наследия», Ош, 2004. с. 28-29.

59. Данько И., Шипулин Ю.Г., Мойдунов Т.Т. «Оптоэлектронная микропроцессорная система бесконтактного измерения скорости автомобилей»./ Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Тюрко-согдийский синтез и развитие проблемы культурного наследия». Тезисы докладов. Ош, 2004. с. 29-30.

60. Шойимов Ж.Ф., Шипулин Ю.Г. «Интеллектуальная система сбора и регистрации уровня грунтовых и дренажных вод в степных и орошаемых зонах». Пятая научно-практическая конференция одаренных студентов на тему: «Молодежь в развитии науки и техники». Сборник тезисов. Ташкент, 2005, с. 23-25.

Соискатель:



Техника фанлари доктори илмий даражасига талабгор

Шипулин Юрий Геннадьевичнинг 05.11.13 – «Табий муҳит, моддалар, материаллар ва маҳсулотларни назорат қилиш асбоблари ва усуллари» ихтисослиги бўйича «Назорат ва бошқариш тизимлари учун ташқи модуляцияли ковак ёруғлик ўтказгичлар асосидаги оптоэлектрон ўзгартиргичлар» мавзусидаги диссертациясининг

### ҚИСКАЧА МАЗМУНИ

**Калиг сўзлар.** Оптоэлектрон ўзгартиргичлар, ковак ёруғлик ўтказгичлар, ташқи модуляция, қуриш усуллари, математик моделлар, асосий тавсифлар, ҳатолик (нуксон) манбалари, структура (таркиб) ларни тавлаш, параметрик оптималлаш, микропроцессорли асбоблар, назорат тизими, тадқиқ этиш самараси.

**Тадқиқот объектлари.** Ташқи модуляцияли ковак ёруғлик ўтказгичлар асосидаги оптоэлектрон ўзгартиргичлар, асосий тавсифларнинг математик моделлари, ҳатолик (нуксон) манбалари, ковак ёруғлик ўтказгичли оптоэлектрон ўзгартиргичлар асосида микропроцессорли асбоблар ва жараёнлар, уларни лойиҳалаш.

**Ишнинг мақсади.** Ташқи модуляцияли ковак ёруғлик ўтказгичлар асосидаги бирламчи оптоэлектрон ўзгартиргичларни (ТМОЎ) назарий умумлаштириш ва ривожлантириш ҳамда улар асосида назорат ва бошқариш тизимлари учун микропроцессорли воситалар ёрдамида асбоб ва қурilmалар мажмуини яратиш.

**Тадқиқот усули.** Аналитик ва тажрибавий, геометрик оптика назарияси, графлар назарияси, автоматик бошқариш назарияси, ўлчов ўзгартиргичлари назарияси, ҳатолик (нуксон) назарияси.

**Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги.** Ташқи модуляцияли оптоэлектрон ўзгартиргичлар ТМОЎни тузилишининг принциплари умумлаштирилган; ТМОЎнинг асосий характеристикаларини яхшилаш усуллари ва умумлашган конструктив схемаларини синфланиши; турли типдаги ТМОЎларнинг конструктив хусусиятларини ҳисобга олинувчи ўзгартириш жараёнига кириб келувчи физик жараённи математик тавсифлашни тақозо этувчи уларнинг статик мазмуини қуриш ва янги конструкцияларини ишлаб чиқиш ва тадқиқ этиш; ТМОЎнинг барча асосий ва аниқлик тавсифларини таҳлил қилишни тақозо этувчи статик ва динамика моделларини ишлаб чиқиш; графли моделлар, морфологик жадваллар ва аниқ назорат ва бошқариш тизимларини талабини ҳисобга олувчи умумлашган усуллар асосида ТМОЎнинг структуравий таҳлили услубиятини келтириш; оптимал параметрларни таълаш имконини берувчи ЭХМ ни қўллаш билан ТМОЎни параметрик лойиҳалаш услубиятини ишлаб чиқиш.

**Амалий аҳамияти.** Диссертациялардаги ТМОЎни тузилиш тамойилларининг кенгайтилиши янги конструкцияли ўзгартиргичларни ишлаб чиқиш ва таҳлил қилишга олиб келади; ТМОЎнинг ёруғлик ўтказиш коваклариди ёруғлик окимининг тақсимланиш синтези ва таҳлилининг ишлаб чиқилган усуллариди ТМОЎ асосида янги асбобларни ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш учун фойдаланиш мумкин. Диссертацияда ифодаланган асосий ҳолат ТМОЎнинг турли бошқариш ва назорат тизимлари учун мўлжалланган асосий элементлари ва структураларини нисбий таълашни ўтказишни тақозо этади; ТМОЎнинг асосий характеристикаларининг ҳисоби, қийин иш шароитлари ва турли назорат ва бошқариш тизимларида ўта ишончли, кўпфункционали ва аниқ бирламчи ўзгартиргичларни яратиш.

**Тадқиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги.** Олинган натижалар асосида яратилган микропроцессорли қурилма ва асбоблар очик каналларда сув сарфини, насос станцияларининг аван камераларидаги ҳамда ер ости ва дренаж сувлари сатҳини, материаллар сиртларини нотекислигини, ижро механизмларининг чизикли силжишларини, технологик объектларнинг чангланганлигини ва донали буюмларнинг микдорини назорат қилишда қўлланилади. Ишланмаларни қўллашдан олинган иқтисодий самара 28,05 млн. сўмни ташкил этади.

**Қўлланиш соҳаси.** Тадқиқотлар ва ишланмалар натижалари очик каналларда сув сарфи ва сув сатҳини назорат қилиш, чизикли ва бурчакли силжишларни, материаллар сиртларини нотекислигини, саноат корхоналаридаги чангланганликни, донали маҳсулотлар ишлаб чиқаришларда ўлчаш ва назорат қилишда қўлланилиши мумкин.

## РЕЗЮМЕ

диссертации Шипулина Ю.Г. на тему: «Оптоэлектронные преобразователи на основе полых световодов с внешней модуляцией для систем контроля и управления» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

**Ключевые слова.** Оптоэлектронные преобразователи, полые световоды, внешняя модуляция, принципы построения, математические модели, основные характеристики, источники погрешностей, выбор структуры, параметрическая оптимизация, микропроцессорные приборы, система контроля, эффективность внедрения.

**Объекты исследования.** Оптоэлектронные преобразователи на основе полых световодов с внешней модуляцией, математические модели основных характеристик, источники погрешностей, микропроцессорные приборы на основе оптоэлектронных преобразователей с полыми световодами и процессы их проектирования.

**Цель работы.** Теоретическое обобщение и развитие оптоэлектронных первичных преобразователей на основе полых световодов с внешней модуляцией (ОПВМ) и создание на их основе комплекса приборов и устройств с микропроцессорными средствами для систем контроля и управления.

**Методы исследования.** Аналитические и экспериментальные, теория геометрической оптики, теория графов, теория автоматического управления, теория измерительных преобразователей, теория погрешностей.

**Полученные результаты и их новизна.** Обобщены принципы построения ОПВМ; классифицированы и выявлены обобщенные конструктивные схемы и приемы улучшения основных характеристик ОПВМ; разработаны и исследованы новые конструкции и построены их статические модели, позволяющие математически описывать взаимосвязи физических явлений, протекающих в процессе преобразования с учетом конструктивных особенностей различных типов ОПВМ; разработаны статические и динамические модели ОПВМ, позволяющие анализировать все основные и точностные характеристики; предложена методика структурного синтеза ОПВМ на основе графовых моделей, морфологических таблиц, и обобщенных приемов с учетом требований определяемых системами контроля и управления; разработана методика параметрического проектирования ОПВМ с применением ЭВМ, которая позволяет выбрать оптимальные параметры.

**Практическая значимость.** Развиваемые в диссертации принципы построения ОПВМ позволяют проанализировать существующие и разработать новые конструкции преобразователей; разработанные методы анализа и синтеза распределения светового потока в полых световодах ОПВМ могут быть использованы для исследования и разработки новых приборов на основе ОПВМ. Изложенные в диссертации основные положения позволяют производить предварительно выбор структуры и основных элементов ОПВМ, предназначенных для различных систем контроля и управления; расчет основных характеристик ОПВМ, разработку высоконадежных, многофункциональных и точных первичных преобразователей для тяжелых условий эксплуатации в различных системах контроля и управления с помощью доведенных до формул, графиков и программ расчета на ЭВМ.

**Степень внедрения и экономическая эффективность.** Полученные в работе результаты использованы при разработке микропроцессорных приборов и устройств для контроля: расхода воды в открытых каналах; уровня воды в аванкамерах и уровня грунтовых и дренажных вод; линейных и угловых перемещений исполнительных механизмов; параметров шероховатости поверхностей композиционных материалов; уровня запыленности технологических объектов; контроля штучных изделий. Экономический эффект от реализации разработок составляет 28,05 миллионов сум.

**Область применения.** Результаты исследований и разработок могут быть использованы в системах контроля и управления расходом и уровнем воды в открытых каналах, линейных и угловых перемещений, шероховатости поверхностей материалов, запыленности производственных помещений, контроля штучной продукции.

## RESUME

dissertations of Shipulin Yu.G. on a theme: «Optoelectronic transformers on the basis of hollow light cores with external modulation for the control and management» systems on competition of graduate degree of doctor engineering sciences on speciality 05.11.13 are «Devices and methods of control of natural environment, matters, materials and wares».

**Keywords.** Optoelectronic transformers, hollow light cores, external modulation, principles of construction, mathematical models, basic descriptions, sources of errors, choice of structure, parametrical optimization, microprocessors devices, checking system, efficiency of introduction.

**Research objects.** Optoelectronic transformers on the basis of hollow light cores with external modulation, mathematical models of basic descriptions, sources of errors, microprocessors devices, on the basis of optoelectronic transformers with hollow light cores and processes of their planning.

**Purpose of work.** There is theoretical generalization and development of optoelectronic primary transformers on the basis of hollow light cores with external modulation (OTEM) and creation on their basis of complex of devices and devices with microprocessors facilities for the checking and management systems.

**Research methods.** Analytical and experimental, theory of geometrical optics, graphs theory, theory of automatic control, theory of measuring transformers, theory of errors.

**Got results and their novelty.** Principles of construction of OTEM are generalized; classified and exposed the generalized structural charts and receptions of improvement of basic descriptions of OTEM; developed and explored new constructions and their static models, allowing mathematically to describe intercommunications of the physical phenomena flowing in the process of transformation taking into account the structural features of different types of OTEM, are built; the static and dynamic models of OTEM, allowing to analyze all basic and exactness descriptions are developed; the method of structural synthesis of OTEM is offered on the basis of counts models, morphological tables and generalized receptions, taking into account the requirements of determined by the checking and management systems; the method of the parametrical planning of OTEM is developed with the use of COMPUTER which allows to choose optimum parameters.

**Practical value.** The principles of construction of OTEM developed in dissertation allow to analyses existing and to develop new constructions of transformers; the developed methods of analysis and synthesis of distributing of light stream in hollow light cores of OTEM can be used for research development of new devices on the basis of OTEM. Expounded in dissertation substantive provisions allow to make preliminary the choice of structure and basic elements of OTEM, intended for the different checking and management systems; calculation of basic descriptions of OTEM, development of high-reliable, multifunction and exact primary transformers for heavy external environments in the different checking and management systems by taken ones to the formulas, graphs and programs of calculation on COMPUTER.

**Degree of introduction and economic efficiency.** Drawn on results got in work at development of microprocessors devices and devices for the control: expense of water in the opened channels; water level in avancameras and water-table and drainages; linear and angular moving of executive mechanisms; parameters of roughness of surfaces of compositions materials; level of made dusty of technological objects; control of pieces wares. An economic effect from realization of developments makes 28,05 millions sums.

**Application domain.** Drawn on results of researches and developments in the checking and management by an expense and water level systems in the opened channels, linear and angular moving, roughness of surfaces of materials, made dusty of productions apartments control of piece products.