**Булатов, Виталий Владимирович. Оптико-электронная система детектирования пороков листового стекла на основе технологии технического зрения : диссертация ... кандидата технических наук : 05.11.13 / Булатов Виталий Владимирович; [Место защиты: Нац. минерально-сырьевой ун-т "Горный"].- Санкт-Петербург, 2013.- 149 с.: ил. РГБ ОД, 61 14-5/1415**

**Министерство образования и науки Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»**

*На правах рукописи*

04201455260

**Булатов Виталий Владимирович**



**ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПОРОКОВ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО**

**ЗРЕНИЯ**

*Специальность 05.11.13* — *Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий*

**Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук**

**НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - доктор технических наук,**

**профессор А.А. Сарвин**

**кандидат технических наук, доцент А.А. Кульчицкий**

Санкт-Петербург - 2013

**Оглавление**

[Введение 5](#bookmark1)

1. [Контроль пороков листового стекла 14](#bookmark2)
   1. [Пороки листового стекла. Классификация 14](#bookmark3)
   2. [Требования, предъявляемые к качеству стекла 17](#bookmark4)
   3. [Методы контроля пороков листового стекла 18](#bookmark5)
   4. [Средства контроля на основе систем технического зрения 27](#bookmark6)

[Выводы по главе 1 34](#bookmark7)

1. [Математическое описание пороков листового стекла 35](#bookmark8)
   1. Моделирование получения информации в оптико-электронных

[системах 35](#bookmark10)

* 1. [Общие требования к системе освещения. Выбор оптической схемы устройства контроля дефектов стекла 43](#bookmark11)
  2. [Моделирование пороков листового стекла 44](#bookmark12)
  3. [Признаки пороков листового стекла 47](#bookmark15)
  4. [Модель изображения 49](#bookmark16)
     1. Понятие модели изображения.

Классификация моделей изображения 49

* + 1. Определение связности объектов на модели

изображения с дефектами 52

* + 1. [Выделение линейных и эллипсовидных объектов на изображении на основе расчета коэффициента корреляции 58](#bookmark19)

[Выводы по главе 2 62](#bookmark21)

1. Экспериментальная установка детектирования пороков листового

стекла 63

* 1. Описание устройства автоматизированного детектирования пороков

листового стекла (АДПС) 63

* 1. Система освещения рабочей зоны контроля устройства АДПС 66
  2. [Алгоритм работы системы АДПС 73](#bookmark24)

[Выводы по главе 3 76](#bookmark25)

1. Алгоритмы и программное обеспечение для детектирования

пороков листового стекла 77

* 1. Синхронная модель детектирования пороков листового стекла 77
  2. Фильтрация изображения с целью поиска пороков листового стекла 78
     1. [Математические основы фильтрации изображений 78](#bookmark27)
     2. Выбор наборов фильтров для обработки изображения

с дефектами 80

* + 1. [Сравнение действий фильтров на модели изображения с пороками листового стекла в среде N1 Vision Builder 83](#bookmark35)
    2. [Особенности фильтрации царапин на стеклопакетах 90](#bookmark39)
    3. Фильтрация объектов на монохромном изображении,

не являющихся пороками стекла 94

* + 1. Исследования по определению эффективности применения нелинейных фильтров с целью детектирования объектов контроля 97
  1. [Алгоритм классификации пороков 99](#bookmark49)
  2. [Алгоритм определения линейных размеров и подсчёта основных пороков стекла и изделий из стекол (стеклопакетов) 100](#bookmark50)
  3. Реализация алгоритма распознавания пороков стекла на базе программы

N1 Vision Builder для дефектов царапина, пузырь и камень 103

* 1. Программа детектирования дефектов листового стекла 115

[Выводы по главе 4 118](#bookmark54)

1. [Оценка метрологических свойств системы А ДПС 119](#bookmark55)
   1. Источники погрешностей системы контроля пороков листового

[стекла 119](#bookmark57)

* 1. Калибровка устройства автоматизированного детектирования пороков стекла 121
  2. Определение яркостного перепада основных дефектов листового

[стекла 128](#bookmark62)

* 1. [Оценка эффективности работы системы АДПС 130](#bookmark63)

[Выводы по главе 5 137](#bookmark65)

[Заключение 138](#bookmark66)

[Список литературы 140](#bookmark67)

Приложение А - Акт внедрения результатов научно-исследовательских, опытно­конструкторских и технологических работ 149

**Введение**

Огромная конкуренция заставляет предприятия, производящие стекло и изделия из стекол (стеклопакеты), обращать самое пристальное внимание на качество изготавливаемой продукции.

В Российской Федерации существует более десятка предприятий- изготовителей стекол (ОАО «Борский стекольный завод», ОАО «Салаватстекло», ОАО «Российская стекольная компания» и др.). Вопросам качества уделяется большое внимание и на предприятиях, использующих стекольную продукцию в своих изделиях (ОАО «ПФ «КМТ»). Здесь осуществляется входной контроль продукции, а также приемно-сдаточные испытания изделий.

С 2000 года общий объем выпуска листового стекла в России увеличен в два с половиной раза: в 2000 г. было произведено 80 млн. м2, а в 2010-2011 гг. около 200 млн. м2[101]. Основными потребителями стекла в России являются такие отрасли, как строительство, автомобилестроение и машиностроение. В 2011 году объём внутреннего производства пластиковых окон составил 20,2 млн. кв. метров, что на 26% выше уровня 2010 года. За 2010-2012 наметился рост объемов производства в вагоностроении: производство трамвайных вагонов - 8%, производство вагонов метро на 21% [100]. Это говорит о необходимости обеспечения конкурентоспособности выпускаемых изделий и ставит проблему организации контроля в ряд наиболее актуальных.

По мере повышения требований к качеству выпускаемой продукции в отраслях народного хозяйства быстро растут требования к контролю качества стекол и стеклопакетов.

Исследовательские работы в этой области [48,50,54,56] посвящены изучению методов контроля светопропускания стекла и оконных блоков, созданию системы статической оценки внутренних напряжений, а также общим вопросам системы качества безопасного стекла. Однако до сих пор отсутствуют исследования в области автоматизированного контроля пороков стекла и изделий из стекол. Единственной отечественной работой, посвященной автоматизации визуального контроля стекла, является диссертация [49]. Её автор уделяет большее внимание конструкции установки контроля, но не рассматривает вопрос классификации дефектов, измерения их линейных размеров и создания программных алгоритмов.

На сегодняшний день промышленно выпускаемых отечественных установок контроля дефектов не существует, а зарубежные чрезвычайно дороги: их стоимость приближается к нескольким сотням тысяч долларов США. Это приводит к тому, что на большинстве российских предприятий неавтоматизированный контроль является единственным способом оценки качества изделий. Использование такого метода приводит к браку, порядка 24 % [62] выпускаемой продукции. Более 75%[62] изделий бракуется по порокам стекла.

Визуальный контроль обладает рядом существенных недостатков. Основным недостатком является человеческий фактор. Его следствием часто является субъективность и низкая достоверность. При таком способе контроля оценка является качественной («в работу» или «брак»). К существенным недостаткам данного метода контроля можно отнести длительность процесса. Кроме того, контроль сложных изделий с применением простейших оптических приборов (луп, микроскопов), по словам работников бюро технического контроля (БТК), очень сильно напрягает зрение и приводит к быстрому утомлению, что, безусловно, представляет опасность для здоровья.

Рассмотрим более подробно сущность человеческого фактора применительно к визуальному контролю изделий из стекла.

Значимым является то, что контролируемый объект должен быть размещен в центральной зоне поля зрения или в зоне ясного видения, в пределах которой контролер при неподвижном глазе может опознавать наличие порока контролируемого объекта, но не различать их мелких деталей, т. е. фактически только определять их присутствие на объекте контроля.

Во-вторых, видимость объекта контроля (степень различимости пороков стекла при их наблюдении) зависит от продолжительности просматривания, от контраста, яркости, цвета, угловых размеров объекта, резкости контуров и условий освещённости. Каждое свойство имеет абсолютный порог видимости, ниже которого дефект не может быть виден, сколь бы благоприятными ни были условия наблюдения с точки зрения других факторов. Человеческий глаз при слишком малой яркости или очень малом контрасте не может различить объект контроля, даже при продолжительном рассматривании.

Также следует помнить, что минимальная величина яркостного контраста, при которой контролёр способен различать пороки стекла, для человека составляет 0,01-0,02 (1-2%) при оптимальных условиях осмотра предмета с угловыми размерами не менее 0,5°.

В реальных производственных условиях контроля стекла и изделий из стекол пороговое значение чувствительности выше и составляет около 0,05 (5%), что объясняется малой яркостью дефектов, их небольшими угловыми размерами и другими факторами.

Таким образом, некоторые, даже крупные пороки стекла, не могут быть обнаружены глазом из-за малого контраста на поверхности детали.

В-третьих, существенное влияние на детектирование пороков стекла человеком оказывает разрешающая способность глаза и острота зрения, которые непосредственно зависят от освещённости контролируемого объекта, продолжительности осмотра, спектрального состава света и также определяются структурой сетчатки и дифракцией света в глазных средах, что в общем случае индивидуально для каждого контролера.

Следует отметить, что человеческий глаз, как и любая реагирующая система, обладает инерцией. Время, необходимое для возникновения зрительного ощущения, зависит от длины волны, яркости объекта и составляет 0,025-0,1 с. [14].

*і*

Скорость луча зрения, скользящего по объекту контроля, достигает 300-400 мм/с. Некоторые царапины и пузыри на стекле длиной 2-5 мм при такой скоростиосмотра могут быть не обнаружены, т.к. продолжительность их осмотра мала (0,005-0,01 с) и зрительное ощущение контролера не успевает сформироваться [14].

Именно человеческий фактор является основной проблемой оценки качества прозрачных сред. Следует отметить, что осмотр изделий производится путём выборочного контроля, что не служит гарантией качества всей партии.

Автоматизация визуального контроля прозрачных сред позволит исключить глаз человека, как оптический прибор, из процесса контроля, тем самым уменьшив вероятность ошибок, повысить точность определения качественных характеристик стекла, ускорить процесс контроля.

Кроме того, автоматизация визуального контроля даст возможность оценивать параметры каждого изготавливаемого объекта, что повысит качество выпускаемой продукции в целом.

Таким образом, задача автоматизированного процесса контроля качества стекла, несомненно, является значимой для современной российской промышленности.

**Цель работы:** разработка системы детектирования пороков листового стекла, основанной на использовании технического зрения и позволяющая автоматизировать процесс контроля качества стекла и изделий из стекол (стеклопакетов) и обеспечить их распознавание с высоким коэффициентом выделения дефекта, для проведения мероприятий по приемочному неразрушающему контролю изделий.

**Задачи исследования:**

1. Разработка математических моделей основных пороков для их идентификации при контроле стекол и изделий из стекла (стеклопакетов) в зависимости от природы происхождения.
2. Разработка алгоритмов обнаружения и распознавания основных пороков стекла и изделий из стекла (стеклопакетов), на основе которых возможно четкое выделение дефекта стекла по определенным признакам.
3. Компьютерное моделирование процессов технической диагностики основных пороков стекла на основе программного обеспечения в программных средах N1 Vision Builder и Labview.
4. Разработка оптико-электронной установки для исследования основных пороков листового стекла и проверка предложенных алгоритмов.
5. Оценка коэффициента выделения дефекта автоматизированной системой контроля пороков листового стекла.

**Научная новизна работы:**

1. Предложены математические модели пороков (царапина, пузырь и камень), на основе которых разработаны алгоритмы выявления пороков, учитывающие геометрические свойства каждого дефекта.
2. Разработана методика классификации пороков стекла, основанная на комплексном применении набора признаков включающих в себя сравнение с эталоном, фильтрацию изображения и управление освещением.
3. Выявлена зависимость применения нелинейных фильтров для обработки изображения на процесс распознавания и классификацию дефектов листового стекла.
4. Предложен алгоритм контроля дефектов, учитывающий классификацию пороков и определение их размеров с точностью, необходимой по требованиям стандартов, реализованный на экспериментальной оптико-электронной установке автоматизированного детектирования пороков стекла (АДПС).
5. Произведена оценка влияния интенсивности освещения и способа подсветки рабочей зоны на коэффициент выделения дефектов листового стекла.

**Практическая значимость работы** состоит в разработке автоматизированного способа контроля основных пороков стекла с использованием экспериментальной оптической системы; в получении формализованного способа отбраковки стекла в производстве. Разработанное математическое и алгоритмическое обеспечение исследовано и проверено на экспериментальной оптико-электронной установке АДПС на кафедре автоматизации технологических процессов и производств (АТПП) Национального минерально-сырьевого университета «Горный».

В частности, практическим результатом диссертации является разработка «Устройства автоматизированного детектирования пороков стекла», что подтверждается патентом на полезную модель №115463 и программы распознавания дефектов листового стекла, что подтверждается свидетельством №2012617219.

Полученные результаты могут быть использованы на предприятиях стекольной промышленности, а также на предприятиях применяющих листовое стекло в своих изделиях.

Результаты исследования рекомендуются к применению в учебном процессе кафедры АТПП Национального минерально-сырьевого университета «Горный» в дисциплинах «Основы систем технического зрения», «Технические измерения и приборы», «Диагностика и надежность автоматизированных систем» и «Методы и алгоритмы обработки сигналов и изображений».

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач в диссертационной работе использованы методы современного компьютерного моделирования, методы цифровой обработки изображений.

Для подтверждения эффективности и достоверности предложенных методов проводились экспериментальные исследования в лабораторных условиях с использованием специального оборудования. Исследование путей улучшения метрологических показателей контрольных образцов проводилось эмпирическим методом и интерпретацией статистических данных.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Возможность применения синхронной модели позволяет детектировать пороки листового стекла различной формы и природы происхождения с использованием программы классификации по разработанным признакам на базе технологии технического зрения.
2. Выделение яркостных перепадов между дефектом и фоном должно осуществляться путем выбора параметров масок-фильтров и является дополнительным признаком при классификации пороков.
3. С целью получения достоверных результатов для детектирования пороков листового стекла следует использовать рассеянную систему освещения подсветки рабочей зоны и алгоритм поиска дефектов на основе разработанного классификатора.

**Обоснованность и достоверность** научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации, подтверждается корректным применением в исследованиях теоретических положений фундаментальных наук, непротиворечивостью экспериментальных данных, полученных при физическом исследовании образцов контроля, теоретическим положениям.

**Апробация работы.** Результаты, полученные в диссертационной работе, внедрены на ОАО «Производственная фирма «КМТ» - Ломоносовский опытный завод». Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались автором на XI Международной научно- практической конференции молодых ученых, студентов и аспирантов «Анализ и прогнозирование систем управления» (г. Санкт-Петербург, СЗТУ, 2010), Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию СЗТУ «Системы и процессы управления и обработки информации» (г. Санкт-Петербург, СЗТУ, 2010), V Всероссийском форуме студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и инновации в технических университетах» (г. Санкт-Петербург, СПбГПУ, 2011), VIII Всероссийской межвузовской конференции молодых ученых СПбГУ ИТМО (г. Санкт-Петербург, 2011), VI международной научно- практической конференции «Инновационные технологии автоматизации и диспетчеризации промышленных предприятий» (Национальный Минерально- Сырьевой Университет «Горный», 2012).

Работа отмечена дипломом комитета по науке и высшей школы Санкт- Петербурга за лучший инновационный проект в сфере науки и высшего профессионального образования Санкт-Петербурга в 2011 году и дипломом **II** степени Северо-Западного Государственного Заочного Технического У ниверситета в конкурсе молодежных бизнес-идей и научно-технических разработок за 2010 - 2011 учебный год в номинации «Лучшая молодежная инновационная научно-техническая разработка».

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе четыре в изданиях, входящих в список рекомендуемых ВАК Министерства образования и науки РФ. Получен патент на полезную модель № 115463 и свидетельство на программу для ЭВМ № 2012617219.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения, изложенных на 149 страницах машинописного текста. Содержит 84 рисунка, 8 таблиц. Библиографический список включает в себя 101 источник.

**Во введении** обоснована актуальность темы исследований, сформулирована общая цель и задачи исследовательской работы, научная новизна и практическая ценность работы, представлены положения, выносимые на защиту. Представлена краткая аннотация разделов диссертации.

**В первой главе** проведен анализ характеристик и причин возникновения пороков листового стекла, представлен обзор существующих методов контроля стекол по данным отечественной и зарубежной литературы, проведён их анализ, на основании которого обозначены преимущества и недостатки существующих подходов в диагностике объекта контроля, проведен анализ современных систем распознавания дефектов листового стекла на базе систем технического зрения. Сформулированы задачи исследований.

**Во второй главе** проведено теоретическое исследование с целью моделирования процессов получения информации в оптико-электронных системах; предложены математические модели пороков: царапина, пузырь и камень; выделены признаки пороков, на основе которых осуществляется классификация объектов на изображении; предложен алгоритм определения связности объектов на изображении; разработан алгоритм выделения линейных и эллипсовидных объектов на изображении на основе расчета коэффициента корреляции.

**В третьей главе** представлено описание разработанного устройства автоматизированного детектирования пороков стекла (АДПС), представлена разработанная система рассеянного освещения устройства АДПС, разработан алгоритм работы системы автоматизированного контроля.

**В четвёртой главе** предложена синхронная модель детектирования дефектов листового стекла, разработана методика и алгоритм контроля пороков: царапина, пузырь и камень, учитывающие количество и размеры дефектов, предложено использование масок-фильтров для детектирования дефектов листового стекла, проведены исследования, целью которых являлось определение эффективности применения нелинейных для детектирования объектов контроля, представлена разработанная «Программа детектирования дефектов стекла».

**В пятой главе** выявлены основные источники погрешностей системы контроля, представлены требования к метрологическому обеспечению измерений дефектов листового стекла, проведена калибровка оптической системы с применением разработанных сеток, рассчитаны погрешности измерения геометрических параметров дефектов, проведено сравнение результатов определения количества пороков и их геометрических параметров, полученных при визуальном осмотре человеком и при использовании системы АДПС.

**В заключении** сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы и проведенных исследований.

**В приложении** А представлен «Акт внедрения результатов научно- исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ».

**Заключение**

В ходе выполнения диссертационной работы были получены следующие результаты:

1. Доказана актуальность исследований, которая связана с несовершенством существующего визуального контроля по российским стандартам, общим ростом производства листового стекла и изделий из стекол (стеклопакетов) и повышающимися требованиями к качеству выпускаемой продукции.
2. На основе анализа методов и алгоритмов неразрушающего контроля определено, что для автоматизации процесса диагностики стекол и изделий из стекла (стеклопакетов) целесообразно применять системы технического зрения.
3. После проведенных теоретических исследований выбран оптико­электронный теневой метод, на основе которого разработана схема устройства детектирования дефектов листового стекла.
4. Яркостный признак определен в качестве первичного признака пороков листового стекла. Геометрические признаки определены как вторичные. Наиболее значимым для выделения внутренних, прозрачных пороков стекла, таких как пузырь и свиль, является теневой признак. Для его реализации требуется разработка специальной системы освещения.
5. Моделирование в среде MathCad подтвердило возможность реализации предложенного алгоритма поиска связных объектов на изображении и выделения линейных и эллипсовидных объектов на основе расчета коэффициента корреляции.
6. Предложенный алгоритм работы системы детектирования пороков стекла, включающий в себя классификацию, расчёт их линейных геометрических размеров и подсчет количества, что в совокупности позволяет произвести оценку качества изделия из стекла в соответствии с ГОСТ.
7. Экспериментально доказана необходимость применения фильтрации изображения для детектирования пороков стекла с использованием наборов масочных фильтров.
8. Экспериментально установлена зависимость степени детектирования от коэффициентов фильтров, что позволило определить оптимальный набор фильтров для разных классов пороков.
9. Разработанная система рассеивающего освещения рабочей зоны обеспечивает контроль внутренних дефектов стекла.
10. В соответствии с предложенным алгоритмом и методикой разработана экспериментальная оптико-электронная установка АДПС, которая обеспечивает коэффициент выделения дефекта от 0,92 до 0,99.
11. Полученные значения максимальной позиционной ошибке на изображении и масштабного коэффициента устройства АДПС доказывают возможность проведения производственного контроля по требованиям стандартов.

**Список литературы**

1. Анисимов Б. В., Курганов В. Д., Злобин В. К. Распознавание и цифровая обработка изображений: Учеб. пособие для студентов вузов. - М.: Высш. шк., 1983.-295 с.
2. Бакут П. А., Колмогоров Г. С., Ворновицкий И. Э. Сегментация

изображений: методы пороговой обработки, Зарубежная радиоэлектроника, №10, 1987

1. Виды брака в производстве стекла. /Х.Бах, Ф.Г.К.Баукке, Р.Брюкнер и др.; Под ред. Г.Иебсена-Марведеля и Р.Брюкнера. Сокращенный перевод с немецкого Л.Г.Байбурт и др.; Под ред.Н.Н.Рохлина./ - М.: Стройиздат, 1986. - 648 с.
2. Бегунов Б.И., Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.И. Теория

оптических систем. М., 1981. - 432 с.

1. Борн М. Основы оптики: справочное пособие/ Борн М., Вольф Э., - М.: Наука, 1973.-720 с.
2. Бусленко Н.П., Шрейдер Ю.А. Метод статистических испытаний. - М.: Фшматгиз, 1961 .-226 с.
3. Визильтер Ю.В. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на Labview и IMAQ Vision/ Ю. В. Визильтер, С. Ю. Желтов, В. А. Князь, А. Н. Ходарев, А. В. Моржин. - М.: ДМК Пресс, 2006 - 464 с.
4. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.:Техносфера, 2006-1072 с.
5. Гридин В.Н., Титов B.C., Труфанов М.И. Адаптивные системы

технического зрения. М.: Наука 2009 - 442 с.

1. Гуторов М.М. Основы светотехники и источники света. М. Энергоатомиздат, 1983-384 с.
2. Дуда Р., Харт П.//Распознавание образов и анализ сцен: Пер. с англ./ Под ред. B.JI. Стефанюка, 1976, М., Мир.
3. Ефремов А.А., Сальников Ю.В. Изготовление и контроль оптических деталей М.: Высшая школа, 1983. - 255 с.
4. Журавлев Ю.И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания и классификации // Проблемы кибернетики: Сб. статей - М.: Наука, 1978-Вып. 33, С. 5-68
5. Каневский И.Н. Неразрушающие методы контроля: учеб. пособие / И.Н. Каневский, Е.Н. Сальникова. - Владивосток: Из-во ДВГТУ, 2007. - 243 с.
6. Кемпинский М.М. «Точность и надежность измерительных приборов». JI.: Машиностроение, 1972.-264с.
7. Ким Н.В. Обработка и анализ изображений в системах технического зрения. Учебное пособие. Москва. МАИ, 2001. - 160 с.
8. Технические средства диагностирования: справочник/ Клюев В.В., Пархоменко П.П., Абрамчук В.Е.и др.; под общ. ред.. Клюева В.В. -М.: Машиностроение, 1989. - 672 с.
9. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник/ Клюев В.В. [ и др ]. М.: Машиностроение, 2005. - 657 с.
10. Креопалова Г.В., Лазарева Н.Л., Пуряев Д.Т. Оптические измерения: учебник для вузов по специальностям "оптико-электронные приборы" и "технологии оптического приборостроения". М.: Машиностроение, 1987. - 264с.
11. Основы теории распознавания образов: Пер. с англ. / Под ред. Б. Р. Левина. — М.: Сов. радио, 1980. - 408 с, ил. /Пер. изд.: США, 1972.
12. Мишкинд С.И. Системы технического зрения для автоматизации машиностроительного производстваУ/Технология машиностроительного производствам.: НИИмаш,1982. -88 с.
13. Николаенок М.М. , Кустова Р.И. Электрическое освещение: учебное пособие. - Минск, 2005. - 144 с.