

Институт машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики

Диссертационный совет Д. 05.11.043

На правах рукописи
УДК 620.179.118:681.53:621.646.616/958-047.37

ЕРЕНЧИНОВ ДАНИЯР КАГАЗБЕКОВИЧ

**РАЗРАБОТКА ОСНОВ ТЕОРИИ, ТЕХНОЛОГИИ,
ОБОРУДОВАНИЯ И АВТОМАТА КОНТРОЛЯ
ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ПРОБОК ШАРОВЫХ КРАНОВ**

05.02.08 – Технология машиностроения

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Бишкек-2011

Работа выполнена в Казахском университете «Алатау» Республики Казахстан

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Муслимов Аннас Поясович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Кыдыралиев Сабыржан

доктор технических наук, профессор
Шеров Каримбек Тогаевич

доктор технических наук, профессор
Абсадыков Бахыт Нарикбаевич

Ведущая (оппонирующая) организация: Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова (г. Бишкек, пр-т Мира, 66а).

Защита диссертации состоится 13 января 2012 г. 14.⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д.05.11.043 при Институте машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики по адресу: 720055, г. Бишкек, ул. Скрябина, д. 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах с подписью, заверенной гербовой печатью организации, просим направлять в адрес диссертационного совета (720055, г. Бишкек, ул. Скрябина, 23, Институт машиноведения НАН КР, Диссертационный совет Д 05.11.043), а также по e-mail: imash_kg@mail.ru.

Телефон для справок (0312) 54 11 49, факс: (0312) 56-27-85,

Автореферат разослан « 12 » декабря 2011г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд. техн. наук, с.н.с.



Квитко С.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Основной технологической проблемой при производстве шаровых кранов является относительная сложность получения необходимого качества при финишной обработке запорной поверхности сферических пробок: отклонение от круглости 20-40 микрон и шероховатость поверхности в пределах R_a 0,2 мкм, а также отсутствие автоматического контроля дефектов ее наружной поверхности.

При изготовлении пробок шаровых кранов для чистовой обработки применяются следующие традиционные варианты: притирка пробки двумя притирами, притирка одним плавающим притиром, шлифование пробок чашечным кругом, шлифование пробки при установке ее на центровую оправку, алмазное хонингование, обкатывание пробки шариковым или роликовым обкатником, обтачивание алмазным резцом. Контроль же дефектов ее поверхности осуществляется визуально, поэтому изготовление пробок шаровых кранов имеет существенный недостаток – низкую производительность.

Наличие в пробках сквозного отверстия и паза под шпиндель не позволяет применять известные высокопроизводительные способы финишной обработки, используемые в подшипниковом производстве, так как эти способы предполагают доводку партии высокоточных шариков между двумя дисками в кольцевых пазах с конусными или плоскими поверхностями.

Таким образом, разработка основ теории, новых технологических методов и устройств для высокопроизводительной финишной обработки и автоматического контроля дефектов поверхности пробок шаровых кранов является актуальной проблемой, решению которой посвящается данная работа.

Цель и задачи исследования. Целью настоящего исследования являлась разработка основ теории, новых технологических методов, устройств, предназначенных для финишной обработки и автоматического контроля дефектов поверхности пробок шаровых кранов.

Для достижения поставленной цели были определены основные **задачи исследования:**

- дать обзор и провести анализ научно-технической и патентной литературы по данной проблеме;
- разработать классификацию существующих и новых предлагаемых способов финишной обработки и автоматического контроля пробок шаровых кранов;
- разработать основы теории, методов финишной обработки и автоматического контроля дефектов наружных поверхностей пробок шаровых кранов;
- исследовать кинематику и динамику процесса;
- определить решение локальной контактной задачи;

- исследовать особенности способа;
- обосновать технологические параметры обкатывания пробок шаровых кранов;
- разработать автоматическую систему стабилизации нагрузки при обработке ее математической модели;
- разработать, изготовить и провести исследование и внедрение в производство специального обкатного станка;
- разработать универсальную автоматическую систему контроля дефектов и шероховатости поверхности изделия;
- разработать автомат контроля дефектов поверхности изделия;
- разработать рекомендации по конструированию высокопроизводительного оборудования для финишной обработки и автоматического контроля дефектов поверхности пробок шаровых кранов.

Научная новизна исследования состоит в разработке нового научного направления в технологии финишной обработки пробок шаровых кранов и автоматического контроля дефектов его поверхностей, включающего:

- разработку новой технологии финишной обработки изделия;
- разработку основ теории способа чистового обкатывания пробок шаровых кранов между двумя дисками в торовых желобах;
- впервые предложенные эмпирические формулы для расчета размеров дисков, желобов и технологических зазоров;
- разработку автоматической системы стабилизации нагрузки при обработке и ее математической модели для расчета основных параметров системы;
- разработку принципиально новой универсальной автоматической системы контроля дефектов и шероховатости изделия и ее математической модели.

Принципиально новыми также являются конструкции обкатного станка – полуавтомата, автомата контроля дефектов и шероховатости поверхности изделия, подготовлены рекомендации по их проектированию.

Практическая значимость работы состоит в том, что в результате диссертационного исследования:

1. Разработан, изготовлен и внедрен в производство высокоэффективный специальный станок - полуавтомат для финишной обработки пробок шаровых кранов Ду 15-50 мм;
2. Разработан универсальный автомат контроля дефектов и шероховатости поверхности изделия;
3. Разработанные методические рекомендации, математические модели, а также эмпирические формулы обработки контроля изделия позволяют выбрать рациональные значения параметров обработки и контроля качества изделия, а также успешно решать проектные задачи по созданию оборудования примени-

тельно к любым аналогичным изделиям типа тел вращения, отличающиеся другими геометрическими размерами.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Классификация существующих и новых методов финишной обработки, разработанная по критерию шероховатости.

2. Новая технология финишной обработки пробок шаровых кранов которая подтверждена экспериментальными испытаниями в лабораторных и промышленных условиях.

3. Автоматическая система стабилизации давления верхнего диска и ее математическая модель.

4. Результаты экспериментального испытания специального станка-полуавтомата в лабораторных и производственных условиях.

5. Методические рекомендации по проектированию обкатного оборудования для пробок шаровых кранов.

6. Разработка принципиально новой универсальной автоматической системы контроля, позволяющая выявлять дефекты и шероховатости поверхности изделия типа тел вращения.

7. Математические модели элементов и узлов автомата контроля, позволяющие произвести расчет их основных параметров, необходимых для проектирования его, а также для выбора режимов работ.

8. Методика расчетов конструктивных элементов и узлов автомата контроля.

Личный вклад соискателя состоит в том, что им выполнены: научно обоснованные теоретические и экспериментальные исследования способа чистового обкатывания пробок шаровых кранов; разработана автоматическая система стабилизации давления верхнего диска и ее математическая модель и принципиально новая универсальная автоматическая система контроля и математические модели элементов и узлов автомата контроля дефектов и шероховатости поверхности изделия типа тел вращения.

Проектно-конструкторская документация станка-полуавтомата и экспериментальные исследования, подтверждающие теоретические результаты обкатывания пробок шаровых кранов выполнены совместно с канд. техн. наук Зиминим В.В.

Расчеты основных параметров элементов и узлов и проектирование автомата контроля дефектов и шероховатости поверхности изделия типа тел вращения выполнены совместно с докт. техн. наук, профессором Муслимовым А.П.

Апробация работы

Тема диссертации обсуждалась на расширенном заседании кафедры «Транспорт и организация движения» Казахского университета «Алатау» (протокол №1 от 08.09.2011 г.); на заседании совместного научного семинара кафедр «Инженерной графики и прикладной механики» и «Инженерной кибернетики» Некоммерческого АО «Алматинского университета энергетики и связи» (протокол от 15.09.2011 г.).

Основные положения диссертации рассматривались на первой международной научно-технической конференции молодых ученых, студентов и учащихся «Наука-2030». (Казахстан, Алматы, 2009); 10-ом Юбилейном международном научно-техническом семинаре «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте». (Киев, 2010); научно-практической конференции «Инженерные системы- 2010» - Москва, 2010; «Strategiczne pytania swiatowej nauki – 2010». Nauki i studia. – Przemysl, Польша, 2010; «Strategiczne pytania swiatowej nauki – 2010». Nauki i studia. – Przemysl, (Польша, 2010); 10-й Юбилейной Международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий». (Киев, 2010); V - MIEDZYNARODOWEJ NAUKOWI KONFERENCJI 07-15 Lutego 2010 roku. Испытание станка-полуавтомата осуществлено в Алматинском АО «ДАСУ». Диссертация рекомендована к защите.

Реализация работы. Один из станков, реализующий новую технологию обработки изделия, был изготовлен и испытан в АО «ДАСУ». При одновременном обкатывании 6-ти латунных пробок шаровых кранов Ду 25 мм шероховатость сферических поверхностей изменялась с R_a 2,5 до R 0,2 мкм за 35 секунд.

Производительность по сравнению с существующими способами была увеличена примерно в 5 раз.

Станок внедрен в производство (см. *Акт в главе 6*).

Публикации

Результаты диссертационной работы опубликованы в 2-х монографиях и 26-и научных работах, отражающих все основные результаты исследований, в том числе: в периодических изданиях Российской Федерации – 1; Кыргызской Республики – 7; Республики Казахстан – 10; в сборниках трудов Международных конференций – 8, из них 21 индивидуальных.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 9 глав, вывода, списка использованной литературы из 112 наименований.

Диссертация изложена на 284 страницах основного машинописного текста, содержит 101 рисунок, 22 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** показана актуальность проблемы и сформулирована цель работы. Представлена научная новизна и практическая значимость диссертации.

Кратко приведены структура и содержание работы.

В **первой главе** «Обзор и анализ научно-технической литературы по технологии изготовления и контроля качества изделий типа тел вращения» содержатся материалы обзора и анализа научно-технической литературы по технологии изготовления и контроля качества изделий типа тел вращения.

Даны основные понятия и определения качества поверхности по таким параметрам, как шероховатость, волнистость и отклонение от правильной геометрической формы, оказывающие значительное влияние на надежность и долговечность деталей машины.

Рассматриваются виды технологического обеспечения геометрических параметров качества поверхности детали: тонкое точение, шлифование, хонингование, обработка лентами, магнитоабразивная обработка, доводка и притирка и отделочно-упрочняющая обработка.

По результатам обзора и анализа существующих методов технологического обеспечения качества поверхности изделия типа тел вращения была разработана их классификация (*рис. 1*), в которой представлен новый вид отделочно-упрочняющей обработки изделий между двумя дисками путем обкатывания.

Основным параметром, по которому была разработана классификация, $-R_a$ – среднее арифметическое отклонение профиля.

Во **второй главе** «Разработка метода финишной обработки пробки шарового крана путем обкатывания между двумя дисками» подробно рассматриваются существующие методы и устройства для чистовой обработки сферических поверхностей.

Основными методами доводки пробок шаровых кранов являются: бесцентровая притирка пробок двумя притирами, шлифование чашечным кругом, притирка плавающим притиром, шлифование пробки при установке ее на центровую оправку, алмазное хонингование чугунных пробок, обкатывание пробки шариковым обкатником и обтачиванием алмазным резцом – на основании их анализа было проведено обоснование нового метода обработки.

По новому методу одновременно обрабатываются только 3 пробки, равномерно расположенные не в конусном, а торовом желобе. Это позволяет обеспечить одинаковое давление на каждую деталь и, несмотря на наличие у пробок отверстия, лысок и пазок, получить одинаковое качество сферических поверхностей.

Перемещение пробки в желобе происходит по закону движения шарика в упорном подшипнике, т.е. качение пробки сопровождается ее «верчением» во-

круг вертикальной оси, поэтому такая обработка не является только поверхностным пластическим деформированием, а сочетает в себе два элемента: обкатывание и фрикционное воздействие.

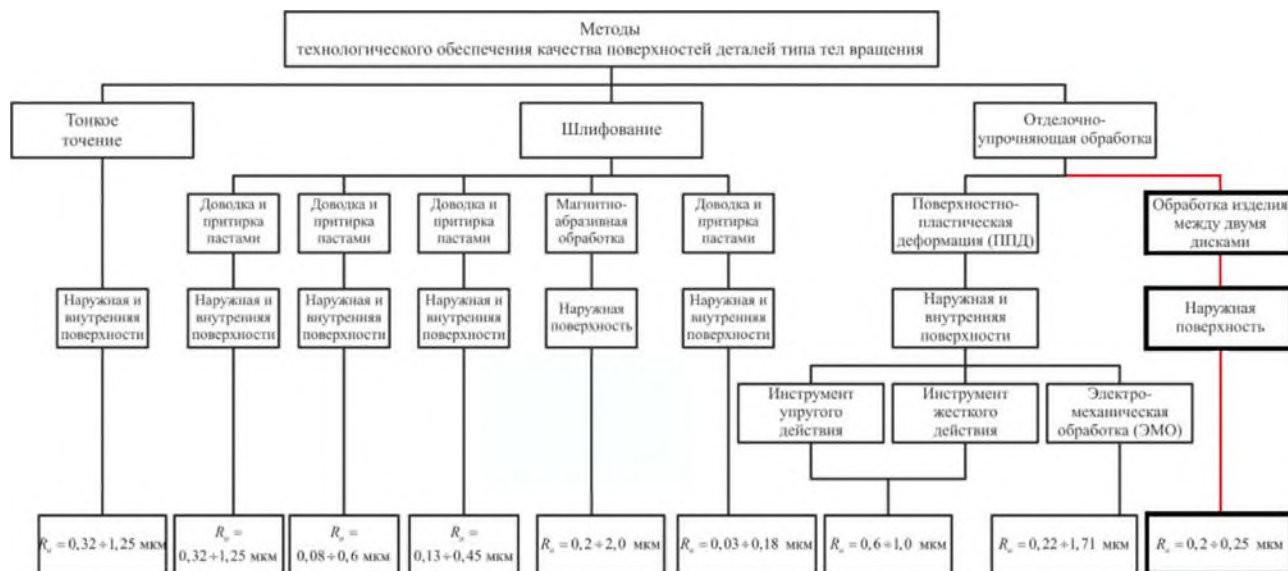


Рис. 1. Классификация технологических методов обеспечения качества поверхностей деталей типа тел вращения

Обработка по такой схеме производилась на специальном приспособлении на станке 2Н135 (рис. 2).

Из-за наличия у пробок шаровых кранов отверстия (DN) для чистовой обработки шаров, продолжены работы, рассмотренные в кандидатской диссертации с разработкой нового способа (рис. 3), при котором шарик имеет контакт с соосно установленными верхним 1 и нижним 2 дисками. Верхний и нижний диски имеют одинаковые желоба в форме тора, где размещаются шары 3. Верхний диск связан с приводом вращения 4. Нижний диск имеет кольцевой желоб с торовой поверхностью с сепаратором 5, который обеспечивает равномерность расположения шаров по окружности. Верхний диск имеет кольцевой желоб, идентичный желобу нижнего диска. Сепаратор выполнен из относительно мягкого материала, например из текстолита, и имеет вырезы по размеру шаров (рис. 3 а).

Недостатком плоского сепаратора является его неподвижность и соответственно препятствие процессу вращательного и поступательного движения шарика, что снижает качество обрабатываемой сферической поверхности, а также ведет к увеличению времени выгрузки обработанных деталей и загрузки шариков на обработку в связи с необходимостью перестановки сепаратора.

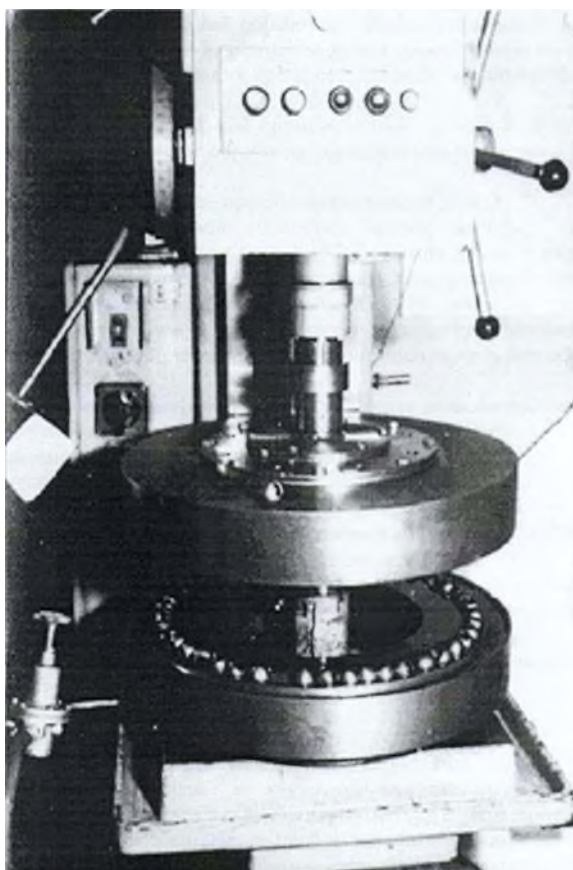


Рис. 2. Приспособление для абразивной доводки пробок

Требования к повышению качества и увеличению производительности устройства обработки пробок шаровых кранов привели к созданию секционного сепаратора (рис. 3 б) с подвижными элементами в виде трех секторов (рис. 3 в), размещенных в желобе с торовой поверхностью нижнего диска. Гнезда сепаратора образованы конусообразными элементами 1 (рис. 3 в), направленными большими основаниями друг к другу, и соединенными между собой дугообразными стержнями 2, установленными в шайбах 3.

Сепаратор, выполненный из трех идентичных секторов, движется по желобу при вращательно-поступательном движении шарика. Использование конусообразных элементов для формирования гнезд сепаратора позволяет шарик совершать свободное вращение. Шайбы секторов обеспечивают соосное расположение конусообразных элементов и скольжение секторов сепаратора по желобу.

Предлагаемый способ чистовой обработки шаров обеспечивает равномерную и качественную обработку поверхности шаров и увеличивает производительность за счет сокращения времени на выгрузку и загрузку шариков. Кроме этого, допуски на диаметры пробок шаровых кранов на порядок больше допускаемых отклонений размеров шариков подшипников, поэтому для равно-

мерного распределения усилий прижима на каждую пробку одновременно обкатываются только три детали, расположенные в сепараторе.

На один из дисков с плавающим креплением 5 действуют усилием P . Если это усилие увеличивать, то обработку можно производить без абразива, то есть обкатыванием.

Такая обработка объединяет в себе такие положительные качества, как:
 надежное качество пробок с отверстием;
 равномерность давления на каждую пробку;
 высокую производительность.

Схема нового способа показана на *рис.3*.

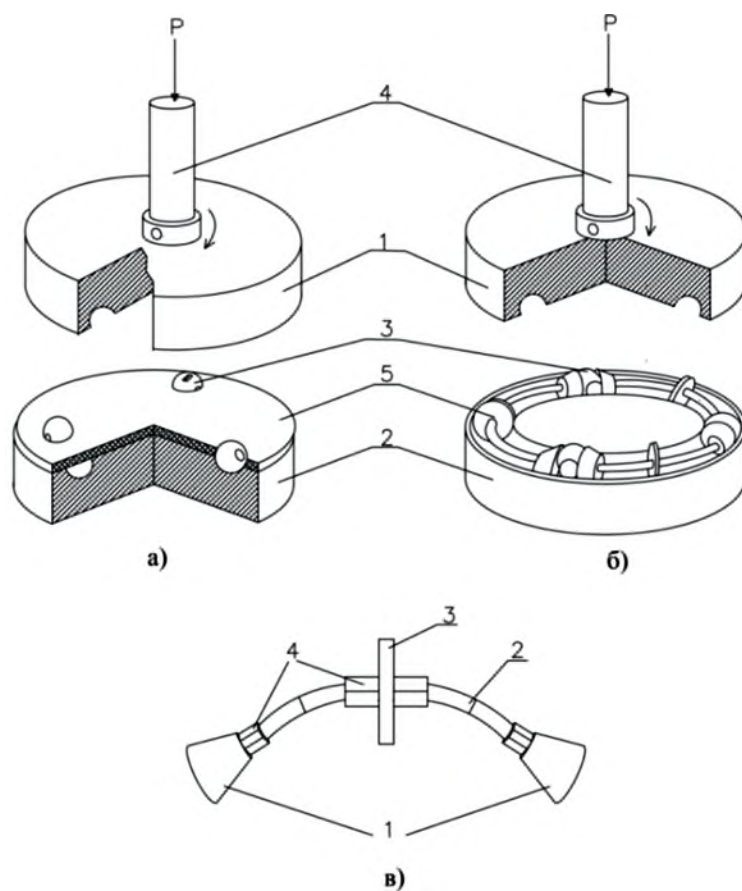


Рис. 3. Схема обкатывания пробок между двумя дисками а, б – 1,2 – диски; 3 – сферические детали; 4 – сепаратор; 5 – плавающее крепление; в- 1 – усеченный конус; 2 – дугообразный стержень; 3 – шайба; 4 – гайка

В третьей главе «Разработка основ теории технологии обработки изделия» исследованы основы теории финишной обработки изделия по новой технологии, основанной на процессе изнашивания, который происходит за счет упругопластической деформации.

Интенсивность изнашивания применительно к рассматриваемому изделию может быть определена по следующей формуле:

$$I_n = \frac{\lambda}{\gamma} \cdot \frac{\Delta G}{A_a L_{mp}}, \quad (1)$$

где γ - плотность изнашиваемого материала;
 $\lambda = \frac{A_a}{A_T}$ - отношение номинальной площади контакта к площади поверхности трения;

ΔG – масса изношенного материала;

L_{mp} – искомый путь трения.

Расчет интенсивности изнашивания сводится к установлению зависимости удельного износа i_n от физико-механических свойств материала, условий нагружения, микрогеометрических характеристик поверхностного слоя.

$$i_n = \frac{\varepsilon}{(\gamma+1)n} \cdot \frac{R_{max}}{\bar{d}}, \quad (2)$$

где ε - коэффициент сближения;

n - число циклов воздействия;

R_{max} - наибольшая высота неровностей профиля;

\bar{d} - средний размер пятна в направлении, перпендикулярном направлению скольжения.

Установлены факторы, влияющие на интенсивность изнашивания: трение, механические свойства, микрогеометрические и фрикционные характеристики материала.

Для рационального выбора режимов и параметров обработки необходимо их теоретическое обоснование.

Установлены следующие кинематические зависимости: линейная скорость центра пробки в относительном движении ее вокруг оси диска, м/с

$$v_0 = \frac{\pi D_0 n}{120000}, \quad (3)$$

где D_0 - диаметр центральной окружности тора, мм;

n - частота вращения верхнего диска, об/мин.

Число полных оборотов пробки за один оборот сепаратора (2 оборота диска)

$$K_0 = \frac{D_0}{2R_1}, \quad (4)$$

где R_1 - радиус сферической поверхности пробки, мм.

На *рис. 4* (кандидатская диссертация) представлена схема расположения пробки при обкатывании между двумя дисками.

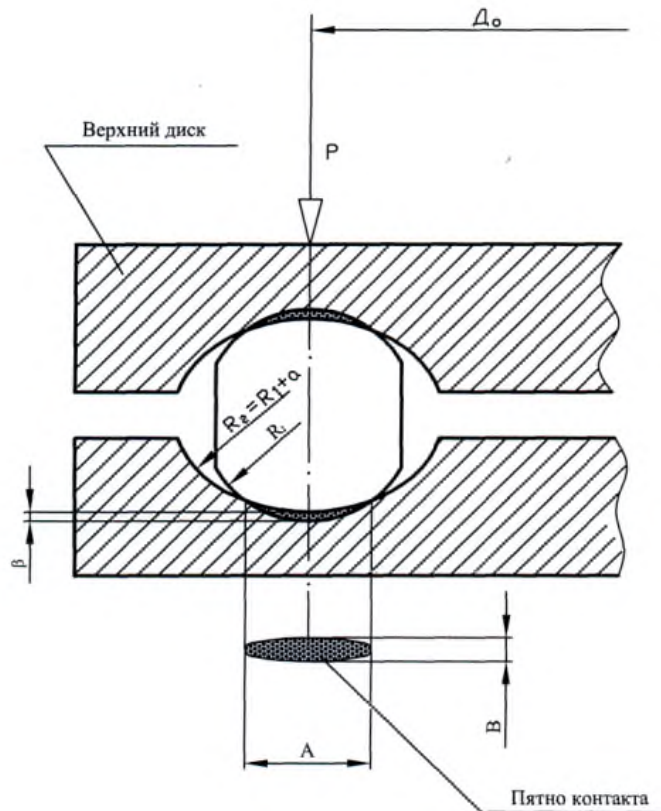


Рис. 4. Схема расположения пробки при обкатывании между двумя дисками

Расчетные размеры осей эллиптического контакта, мм
 большая ось:

$$A = 0,118\mu^2 \sqrt{\frac{P}{\sum \rho}}, \quad (5)$$

малая ось:

$$B = A \frac{\nu}{\mu}, \quad (6)$$

где μ и ν - коэффициенты, зависящие от соотношения радиусов кривизны поверхностей;

P - сжимаемая сила;

$\sum \rho$ - сумма кривизны соприкасающихся поверхностей с радиусами R_1 и R_2 , и радиальным зазором между ними $a = R_2 - R_1$, где R_2 - радиус сечения желоба диска.

Величина нормального усилия на каждую латунную пробку при обкатывании ее в торовом стальном желобе равна

$$P = \frac{138}{m\sqrt{m\sum\rho}} \quad (7)$$

где $m = \frac{2k}{\pi\mu}$.

Усилие давления верхнего диска на 3 пробки равно 3Р. Расчетные данные технологических параметров для обработки латунных пробок шаровых кранов Ду 6 - 50 мм приведены в *табл. 1*.

Таблица 1 – Расчетные данные технологических параметров для обработки латунных пробок шаровых кранов ДУ 6-50 мм

Ду, мм	R ₁ , мм	a = R ₂ -R ₁ , мм	cos τ	Σρ	m = $\frac{2k}{\pi\mu}$	P = $\frac{138}{\sqrt[m]{m \sum \rho}}$ Н	Коэффици- енты		Пятно кон-		σ _{max} , МПа
							μ	ν	Ось А, мм	Ось В, мм	
a = (0,1-0,15) мм											
6	9	0,1	0,978	0,112	0,47	1280	5,72	0,335	7,05	0,41	840
10	11	0,1	0,982	0,091	0,447	1530	6,19	0,321	8,66	0,45	750
15	12,5	0,1	0,984	0,08	0,433	1710	6,47	0,314	9,8	0,47	700
20	17	0,15	0,983	0,059	0,44	1940	6,33	0,317	11,09	0,55	600
25	22	0,15	0,987	0,045	0,41	2440	7,02	0,301	14,46	0,62	520
32	28	0,15	0,989	0,035	0,393	2960	7,49	0,292	17,86	0,69	450
40	37,5	0,15	0,992	0,026	0,362	3880	8,47	0,275	24,38	0,79	380
50	45	0,15	0,993	0,022	0,35	4470	8,92	0,268	28,63	0,85	350
a = (0,2-0,3) мм											
6	9	0,2	0,957	0,114	0,556	980	4,38	0,384	4,92	0,43	880
10	11	0,2	0,965	0,093	0,52	1160	4,76	0,367	6,06	0,46	790
15	12,5	0,2	0,969	0,081	0,513	1310	4,98	0,359	6,9	0,49	730
20	17	0,3	0,966	0,06	0,526	1420	4,81	0,365	7,65	0,58	630
25	22	0,3	0,973	0,046	0,495	1840	5,28	0,349	9,89	0,65	540
32	28	0,3	0,979	0,036	0,465	2300	5,83	0,332	12,76	0,72	470
Ду, мм	R ₁ , мм	a = R ₂ -R ₁ , мм	cos τ	Σρ	m = $\frac{2k}{\pi\mu}$	P = $\frac{138}{\sqrt[m]{m \sum \rho}}$ Н	Коэффици- енты		Пятно кон- такта		σ _{max} , МПа
							μ	ν	Ось А, мм	Ось В, мм	
40	37,5	0,3	0,984	0,027	0,433	2940	6,47	0,314	16,91	0,82	400
50	45	0,3	0,987	0,022	0,41	3450	7,02	0,301	20,7	0,89	350
a = (0,4-0,6) мм											
6	9	0,4	0,918	0,115	0,65	780	3,36	0,441	3,48	0,45	950
10	11	0,4	0,932	0,094	0,622	920	3,36	0,423	4,25	0,49	840
15	12,5	0,4	0,938	0,082	0,608	1010	3,78	0,415	4,78	0,52	770
20	17	0,6	0,934	0,06	0,618	1160	3,68	0,42	5,39	0,61	670
25	22	0,6	0,948	0,046	0,583	1440	4,05	0,399	6,96	0,68	580
32	28	0,6	0,959	0,036	0,55	1760	4,47	0,38	8,9	0,75	500
40	37,5	0,6	0,969	0,027	0,518	2260	4,92	0,361	11,77	0,85	430
50	45	0,6	0,974	0,022	0,491	2680	5,35	0,346	14,4	0,93	380

Исследованы процессы, происходящие при упругой деформации пробки, зависимость расчетного усилия на одну пробку от диаметра сферы и радиаль-

ных зазоров. Определена мощность привода, которая зависит от силы сопротивления качению и скорости обкатывания:

$$N = 2 \left(0,08 \mu P \frac{A_k^2}{R_1} \right) v = 2 \left(0,08 \cdot 0,09 \cdot 1840 \cdot \frac{4,95^2}{22} \right) = 50 \text{ Вт}, \quad (8)$$

где R_1 - радиус шара, мм.

Получены зависимости расчетной мощности обкатывания от радиального зазора между желобом и пробкой при $v = 1,7$ м/с, из которой ясно, что уменьшение зазора приводит к увеличению мощности привода, а зависимость площади контакта, усилия и нормального напряжения – от зазора между желобом и пробкой. Эти зависимости в виде графиков приведены в диссертации.

Кроме того, исследованы физико-механические процессы при обкатывании сферы в торовом желобе.

Доказано, что в реальных условиях радиальный зазор между изделием и желобом и их деформации обеспечивают пятна контакта пространственной формы, в котором происходит интенсивное проскальзывание контактирующих поверхностей и имеют место упругие и пластические деформации.

В разработанной нами технологии обработки изделия давление верхнего диска на пробку является важным параметром, влияющим на его качество и производительность обработки, поэтому в пневмосистеме необходимо предусмотреть автоматическую систему регулирования давления.

Структурная схема автоматической системы регулирования показана на рис. 5, которая состоит из объекта регулирования – пневмоцилиндра и регулятора расхода.

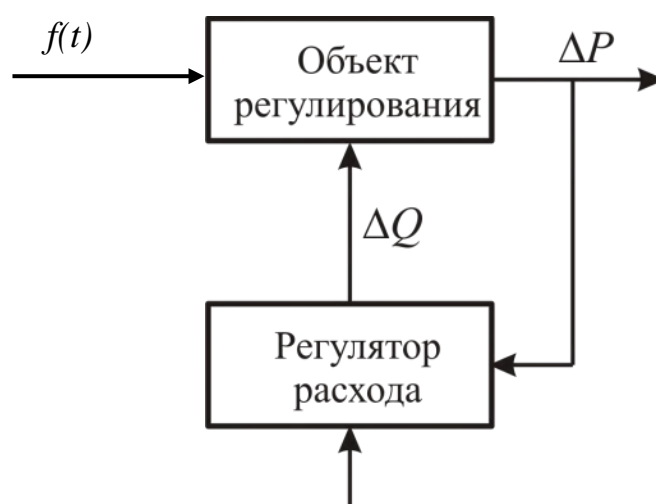


Рис. 5. Структурная схема объекта с регулятором

Уравнение регулируемого объекта имеет вид:

$$T_0 \frac{d\Delta p}{dt} + \Delta p = K_0 \Delta Q + f(t), \quad (9)$$

где T_0 - постоянная времени объекта;
 ΔP и ΔQ - приращение давления и расхода соответственно;
 K_0 - коэффициент усиления объекта;
 $f(t)$ - внешнее возмущающее воздействие.

Уравнение идеального регулятора

$$\Delta Q = -K_{pez} \Delta P, \quad (10)$$

где K_{pez} - коэффициент усиления регулятора расхода.

Решая совместно уравнения (9) и (10), получим уравнение динамики всей системы

$$T_0 \frac{d\Delta P}{dt} + (1 + K_0 K_{pez}) \Delta P = f(t), \quad (11)$$

решение уравнения (11) запишется в виде:

$$\Delta P = \frac{f^0}{1 + K_0 K_{pez}} \left(1 - e^{-\frac{1 + K_0 K_{pez}}{T_0} t} \right), \quad (12)$$

где $f(t) = f^0$ – скачкообразное воздействие при нулевых начальных условиях.

Из (12) видно, что присоединение идеального автоматического регулятора уменьшает длительность переходного процесса и статическое отклонение давления в $(1 + K_0 K_{pez})$ раз.

Переходные процессы объекта с регулятором и без него представлены на рис.6.

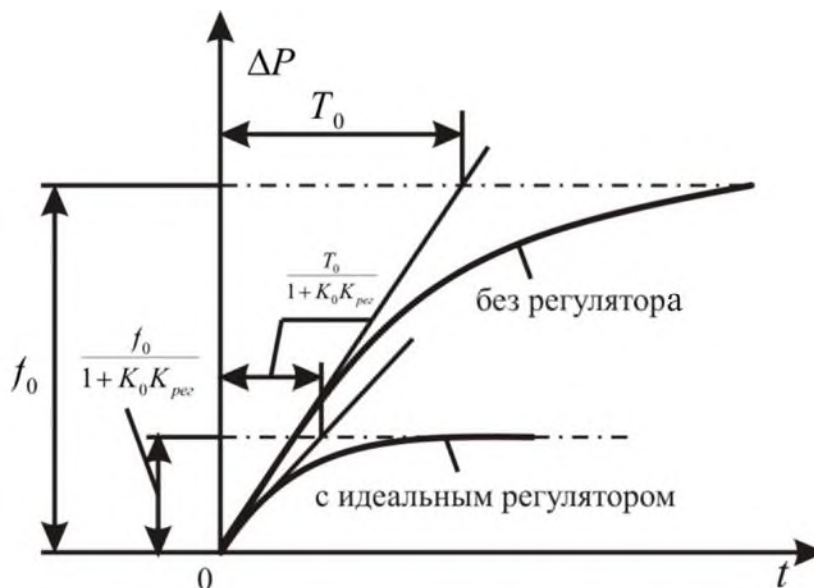


Рис. 6. Переходные процессы объекта с регулятором и без него

Если же к объекту присоединить инерционный регулятор расхода, уравнение которого

$$T \frac{d\Delta Q}{dt} + \Delta Q = -K_{pez} \Delta P, \quad (13)$$

где T - постоянная времени регулятора, то уравнение динамики системы будет

$$T_0 T \frac{d^2 \Delta P}{dt^2} + (T_0 + T) \frac{d\Delta P}{dt} + (1 + K_0 K_{pez}) \Delta P = T \frac{df}{dt} + f(t). \quad (14)$$

Из выражений корней характеристического уравнения (14) можно определить коэффициенты усиления регулятора при различных значениях параметров системы.

Если $K_{pez} < \frac{(T_0 - T)^2}{4T_0 T K_0}$, то мы имеем аperiodический переходный процесс 2-го порядка, а при $K_{pez} > \frac{(T_0 - T)^2}{4T_0 T K_0}$ – колебательный переходный процесс.

Влияние коэффициента усиления регулятора на вид переходного процесса показано на *рис. 7*.

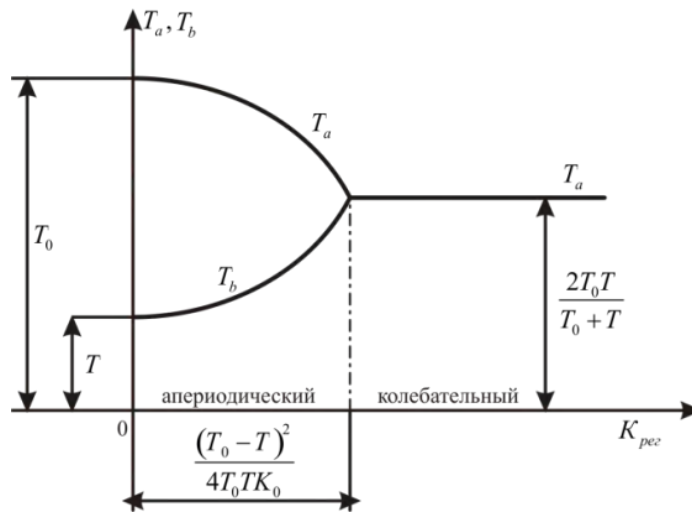


Рис. 7. Влияние параметров регулятора на качество переходного процесса системы

При присоединении к объекту (9) уравнения регулятора расхода второго порядка

$$T_k^2 \frac{d^2 \Delta Q}{dt^2} + T_g \frac{d\Delta Q}{dt} + \Delta Q = -K_{pez} \Delta P, \quad (15)$$

уравнение динамики системы будет иметь вид:

$$\begin{aligned} T_0 T_k^2 \frac{d^2 \Delta p}{dt^2} + (T_0 T_g + T_k^2) \frac{d^2 \Delta p}{dt^2} + (T_0 + T_g) \frac{d\Delta p}{dt} + (1 + K_0 K_{pez}) \Delta p = \\ = T_k^2 \frac{d^2 f}{dt^2} + T_g \frac{df}{dt} + f(t), \end{aligned} \quad (16)$$

где T_k и T_g - постоянные времени регулятора, характеризующие раскачивание и демпфирование колебаний.

В зависимости от корней характеристического уравнения (16) переходные процессы будут суммой трех экспонент, суммы экспоненты и затухающей синусоиды или суммы экспоненты и расходящейся синусоиды.

В работе также определены условия устойчивости для вышеперечисленных случаев объекта с различными типами регуляторов расхода.

В **четвертой главе** «Разработка автоматической системы регулирования постоянства давления в рабочей полости пневмопривода верхнего диска» представлены материалы по разработке автоматической системы регулирования постоянства давления в рабочей полости пневмопривода верхнего диска, принципиальная схема которого показана на *рис. 8*.

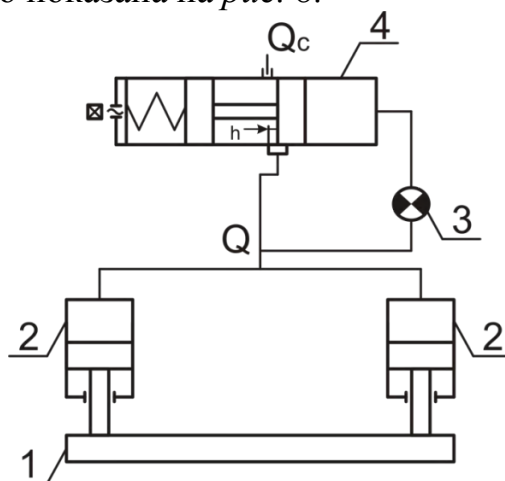


Рис. 8. Принципиальная схема автоматического регулирования давления в пневмоцилиндрах

При повышении давления в рабочих полостях пневмоцилиндров 2 повышается давление и в канале обратной связи, и клапан регулятора расхода 4 перемещается влево, уменьшаются величина открытия рабочей щели h и расход воздуха ровно настолько, чтобы восстановить установленное значение давления.

Из уравнений статики регулятора расхода можно определить его параметры:

$$\Delta Q = K_3 \Delta h; C = \frac{\Delta R f_{кл}}{F \Delta h}, \quad (17)$$

где Δh , ΔR - приращение щели и нагрузки соответственно;

K_3 - коэффициент усиления регулятора;

C - коэффициент жесткости пружины;

F - эффективная площадь пневмоцилиндра;

$f_{кл}$ - площадь торца клапана;

K_y - коэффициент утечки воздуха, зависящий от качества изготовления пары поршень-цилиндр и уплотнения.

Расчетная схема регулятора представлена на *рис. 9*.

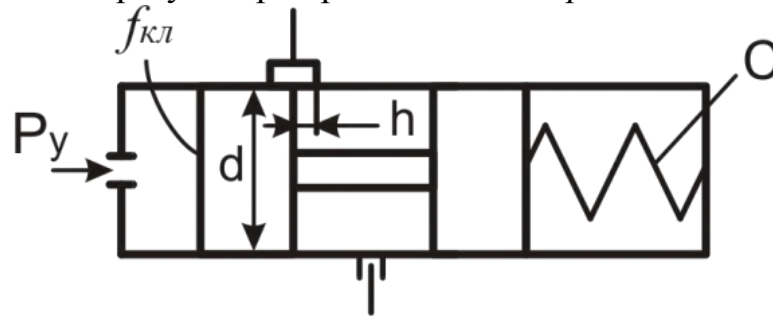


Рис. 9. Расчетная схема регулятора расхода воздуха

Уравнение динамики регулятора имеет вид:

$$m \frac{d^2 h}{dt^2} + \gamma \frac{dh}{dt} + (K_r + C)h = P_y f_{кл} \quad (18)$$

где m - масса клапана;

K_r - коэффициент пропорциональности пневмодинамической силы;

γ - коэффициент вязкого трения;

P_y - давление, действующее на торцы клапана.

Решение уравнения (18) при нулевых начальных условиях

$$h = P_y K_2 \left[1 - e^{-\frac{\xi_2 t}{T_2}} \left(\cos \omega t + \frac{\xi_2}{T_2 \omega} \sin \omega t \right) \right], \quad (19)$$

где K_2 - коэффициент усиления регулятора;

$$\xi_2 = \frac{\gamma}{2\sqrt{m(K_r+C)}}; \quad T_2 = \sqrt{\frac{m}{K_r+C}}; \quad \omega = \frac{1}{T_2} \sqrt{1 - \xi_2^2}$$

График переходного процесса регулятора представлен на *рис. 10*.

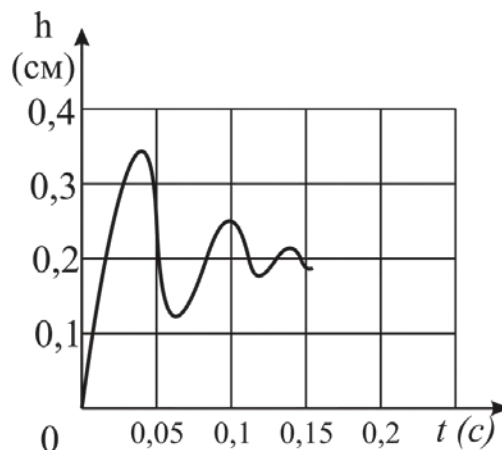


Рис. 10. График переходного процесса регулятора воздуха

Математическая модель пневмоцилиндра составлена на основании обоснования учета и пренебрежения факторов в процессе.

$$T_1 \frac{d^2\vartheta}{dt^2} + 2\xi_1 T_1 \frac{d\vartheta}{dt} + \vartheta + 2\xi_1 T_1 \alpha_0 = \vartheta_0, \quad (20)$$

$$T_1 = \frac{M}{K_b}; \quad \xi_1 = \frac{K_{y\sqrt{MK_b}}}{2F}; \quad \alpha_0 = \frac{R_H + R_{mp}}{F}; \quad \vartheta_0 = \frac{Q}{F}; \quad \vartheta = \frac{dx}{dt},$$

где T_1 - постоянная времени, характеризующая инерционность системы;
 ξ_1 - коэффициент относительного демпфирования;
 ϑ_0 - установившееся значение скорости движения поршня;
 K_b - коэффициент жесткости воздушной пружины;
 M - масса движущихся частей пневмопривода.

На *рис. 11* представлена структурная схема пневмоцилиндра с обратной связью.

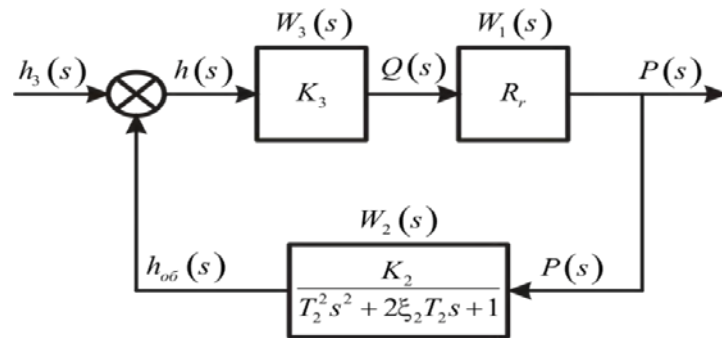


Рис. 11. Структурная схема пневмоцилиндра с обратной связью

График переходного процесса регулятора расхода воздуха показан на *рис.12*.

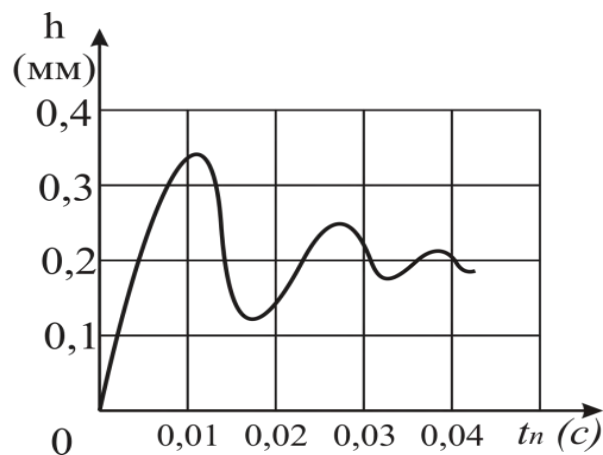


Рис. 12. График переходного процесса регулятора расхода воздуха $h(t) = f(T_2, \xi_2)$ при $\xi_2 = 0,1$

Решение уравнения (20) при нулевых начальных условиях будет иметь вид:

$$\vartheta = (\vartheta_0 - 2\xi_1 T_1 \alpha_0) \left[1 - e^{-\frac{\xi_1 t}{T_1}} \left(\cos \omega t + \frac{\xi_1}{T_1 \omega} \sin \omega t \right) \right], \quad (21)$$

$$\text{где } \omega = \frac{1}{T_1 \sqrt{1-\xi_1^2}}$$

В **пятой главе** «Экспериментальное исследование технологии финишной обработки пробок шаровых кранов» представлены результаты экспериментального исследования технологии финишной обработки пробок шаровых кранов, полученные при выполнении таких видов работ, как:

- составление планирования эксперимента;
- методики проведения экспериментов;
- разработка экспериментального обкатного оборудования и промышленного образца станка - полуавтомата;
- экспериментальное определение автоматической системы регулирования давления верхнего диска;
- разработка методических рекомендаций по проектированию обкатного оборудования.

Для планирования эксперимента был выбран многофакторный анализ. В качестве параметра оптимизации выбрана шероховатость (y) обкатной поверхности, на которую оказывают влияние два фактора: радиальный зазор между желобом и пробкой (x_1) и величина усилия на каждую пробку от верхнего диска (x_2). Время обкатки $t = 35$ с.

Математическая модель в конечном итоге будет иметь вид:

$$y = 0,225 x_0 - 0,015 x_1 - 0,025 x_2 - 0,005 x_{12}. \quad (22)$$

Таблица 2

№ опыта	x_1 , зазор «а» (мм)	x_2 , усилие (Н)	y (R_a мкм)
1	0,4	600	0,26
2	0,3	800	0,24
3	0,2	1000	0,22
4	0,1	1200	0,18

Полученные результаты планирования эксперимента были использованы при проведении опытов и испытании полуавтомата для обкатывания пробок.

Обработка экспериментальных данных позволила составить схематичное изображение расположения последовательных пятен контактов при качении пробки в торовом желобе (рис. 13).

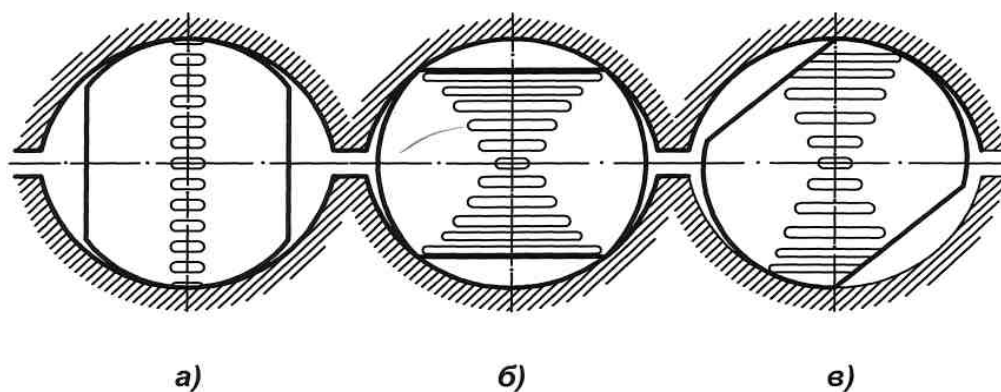


Рис. 13. Схемы последовательных расположений пятен контактов при качении пробки в желобе

Фотография экспериментальной установки показана на *рис.14*.

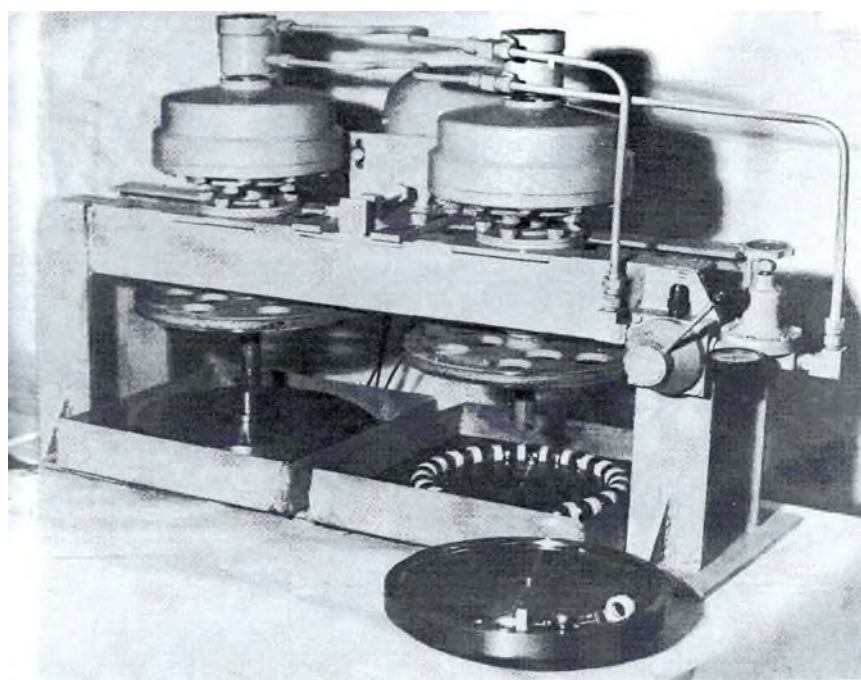


Рис. 14. Экспериментальная установка для обкатывания пробок

Параметры и техническая характеристика экспериментальной установки для обкатывания пробок были определены и уточнены в процессе теоретических и экспериментальных исследований, частота вращения верхних дисков - 150 об/мин, давление их на пробки регулировалось: для латунных деталей – до 700 Н, для чугунных – до 900 Н и для стальных – 1200 Н на каждую пробку. Время обкатывания составляло 35, 45 и 60 секунд соответственно. Зазоры между желобом и пробками минимальные – 0,15-0,2 мм, максимальные – 0,3-0,35 мм. Полученная шероховатость поверхностей менее R_a 0,25.

Результаты пробных обкатываний приведены в *табл. 3*.

Таблица 3

Пробки шарового крана		Режимы обкатывания					
Диаметр материала пробки	Диаметр сферы пробки, мм	Диаметр сечения желоба в дисках, мм	Част. вращения верхн. диска, мин ⁻¹	Усилие прижима диска, Н	Шероховатость		Время обкатывания, с
					Исх. Ra, мкм	Получ. Ra, мкм	
20 мм сер. чугун (СЧ-20)	35,0	35,2	180	6 500	1,6	0,2	40
	34,9	35,2			1,6	0,2	40
	34,8	35,2			1,6	0,25	40
25 мм Латунь (ЛЦ40ЛД)	43,8	44,2	180	5 000	1,6	0,2	35
	43,7	44,2			1,6	0,2	35
	43,6	44,2			1,6	0,25	35
40 мм Сталь 45	75,0	75,3	180	7 000	1,6	0,2	45
	74,9	75,3			1,6	0,2	45
	74,7	75,3			1,6	0,25	45

Фотография специального сферообкатного полуавтомата показана на *рис.15*.

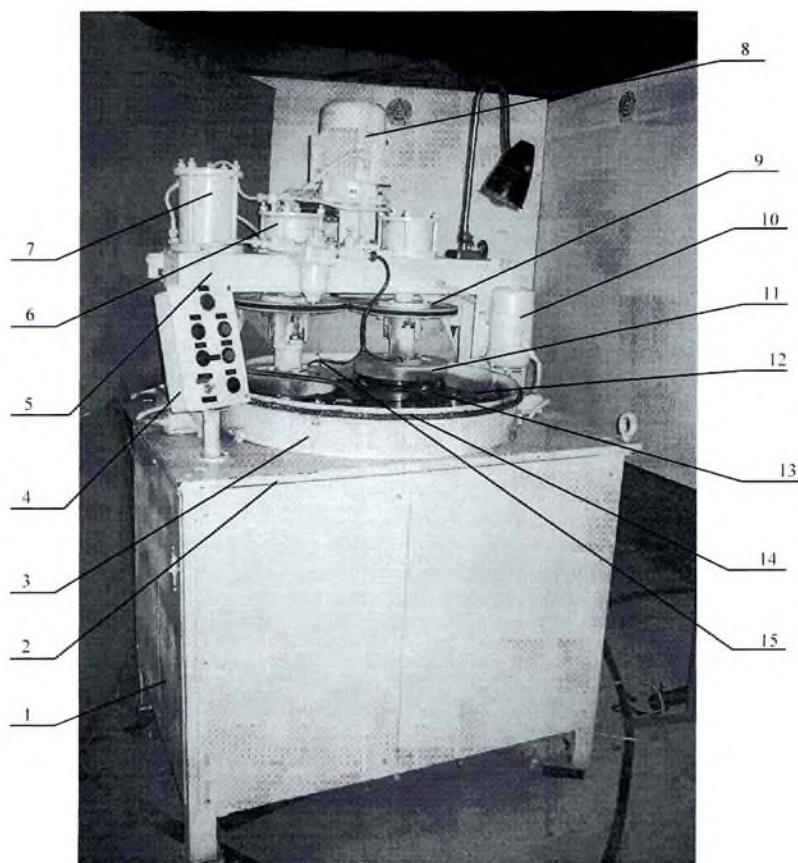


Рис. 15. Специальный сферообкатный полуавтомат

Экспериментальное исследование системы автоматического регулирования давления в пневмоцилиндре было проведено на универсальном пневмостенде П1-25К с добавлением недостающих элементов по схеме (*рис. 16*). Для

этого нами были специально разработаны и изготовлены датчики скорости и давления (приведены в диссертации).

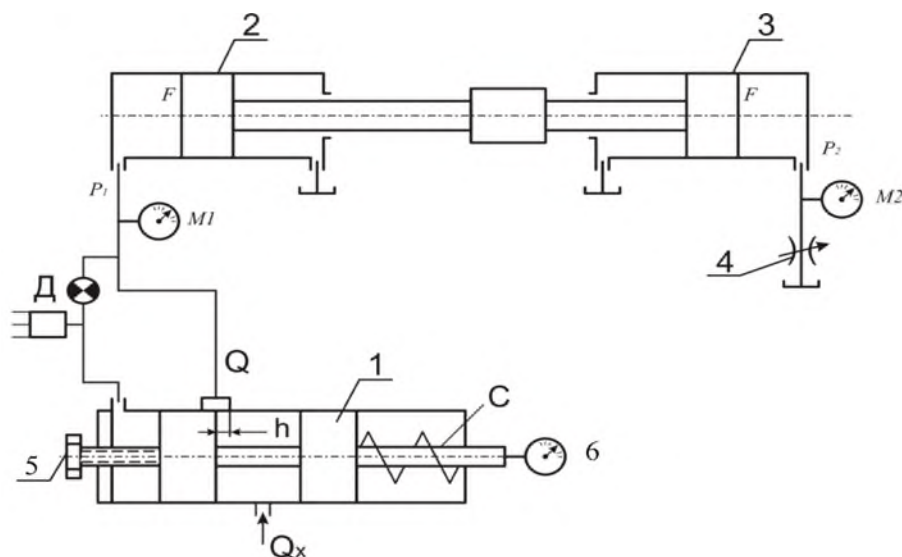


Рис. 16. Схема экспериментального стенда:

1 - регулятор расхода; 2 - рабочий пневмоцилиндр; 3 - нагрузочный пневмоцилиндр; 4 - дроссель; Д - датчик давления; М1 и М2 - манометры; 6 - винт

Экспериментальный график стабилизации давления в пневмоцилиндре показан на рис. 17.

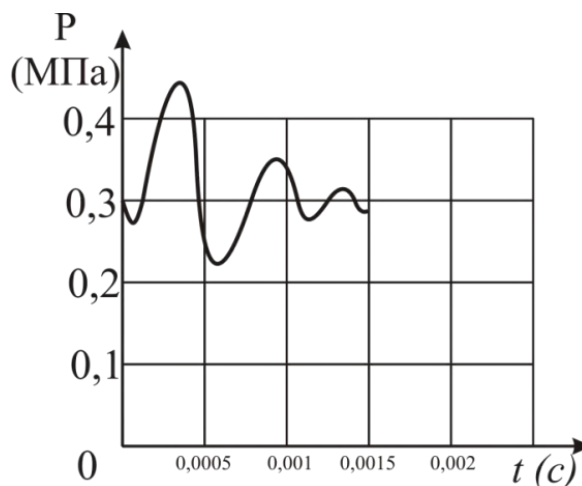


Рис. 17. График стабилизации давления в рабочей полости пневмоцилиндра при изменении нагрузки

В **шестой главе** «Разработка методических рекомендаций по проектированию обкатного оборудования» представлены акт установки и опробования на заводе «Эталон» станка-полуавтомата Д-7 и материалы разработки рекомендаций по проектированию и эксплуатации обкатного оборудования:

1. Необходимые исходные данные для проектирования;

2. Компоновка устройства;
3. Рабочие диски (их параметры); канавки для шлама, крепление дисков;
4. Привод вращения;
5. Насос подачи СОЖ;
6. Электросхема;
7. Документация (техническая характеристика, комплектность, указания по безопасности, состав полуавтомата, траверса, шпиндельный узел);
8. Насос смазки;
9. Описание работы полуавтомата;
10. Работы пневмосистемы, системы смазки, электрооборудования;
11. Рекомендации по подготовке станка к работе;
12. Технического обслуживания, консервации и упаковки.

В **седьмой главе** «Анализ существующих и разработка нового методов контроля качества изделий» рассматриваются материалы анализа существующих и разработки нового метода контроля качества поверхности изделия.

В связи с высокими требованиями, предъявляемыми к качеству поверхности пробок шаровых кранов, на ней недопустимо наличие рельефных дефектов типа царапин, трещин, сколов, вмятин и др.

В существующем производстве контроль осуществляется вручную, визуально, т.е. с помощью зрения человека.

Такой метод контроля является малопроизводительным, необъективным и при крупносерийном и массовом производстве требует большого количества рабочих, поэтому на основании анализа проблемы нами была выбрана оптико-электронная система контроля дефектов поверхности. Были всесторонне рассмотрены существующие оптико-электронные приборы, проведена их классификация и основные их энергетические и световые характеристики излучения, обобщенная структурная схема устройства контроля (рис. 18).

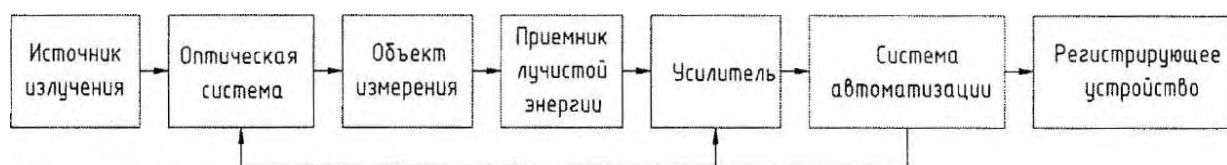


Рис. 18. Обобщенная структурная схема оптико-электронного прибора

В лабораторных условиях были проведены исследования возможности контроля качества латунированных поверхностей, результаты которых позволили констатировать, что:

1. С высокой достоверностью выделяются дефекты поверхности в виде трещин, вмятин, забоин, темных пятен и задиров. Процент выделяемости - 90%;
2. Было определено отношение уровня сигнала от дефекта (U_c) к уровню сигнала шума (U_m) (табл. 4).

Были проанализированы также разработанные нами различные схемы устройств контроля:

- а) с одним осветителем, набором фотоприемников и с волоконным световодом;
- б) с одним осветителем и набором фотоприемников;
- в) с набором осветителей и набором фотоприемников;
- г) с одним осветителем и фотоприемником;
- д) с набором осветителей и одним фотоприемником;
- е) с набором светодиодов, с одним фотоприемником и системой синхронизации.

Таблица 4 – Экспериментальные данные чувствительности разработанной системы

Наименование дефектов	Размерная характеристика			Состояние Сигнал-шум (отн.ед.)
	Длина	Ширина	Глубина	
Трещины. Сквозное нарушение целостности металла	6 мм	0,8 мм	-	2,3
	5 мм	0,5 мм	-	2
	5 мм	0,2 мм	-	2,5
Отклонение цвета поверхности	3 мм	4 мм	-	2
Царапины в виде тонких	0,5 мм	0,5	0,1	1,9
Продольные полоски	2,5 мм	0,5	0,1	2
Отпечатки нарушения чистоты поверхности	площадью		Высота 0,2	2,5
	1 м ²			0,4
	3 м ²			2,4
Забоины в результате воздействия твердым предметом	площадью		0,5	1,6
	1 м ²			0,5
	3 м ²			2
Оголение	площадью	На толщину покрытия		2
	1 м ²			1,6
	3 м ²			
Глубокие надрывы большому торцу	2 мм	2 мм	-	1,6

Принципиальные схемы, принципы работы, их достоинства и недостатки приведены в диссертации.

Для автоматического контроля дефектов и шероховатости поверхности пробки шаровых кранов была выбрана схема «е», для которой были определены расчетным путем параметры системы контроля: вращение контролируемой детали $n = 3000$ об/мин, необходимое число диодов – 27 шт., время контроля $t = 0,56$ с, частота переключения светодиодов $f = 62100$ Гц.

В **восьмой главе** «Исследование переотражения излучения в элементах поверхности» представлены результаты исследования переотражения излучения в элементах поверхности.

Оптимальным вариантом, на наш взгляд является оптическая дефектоскопическая система, в которой наличие повреждений определяется по изменению интенсивности зеркально отраженного излучения, размеры дефектов определяются разницей координат, соответствующих изменению величин сигнала.

Основные закономерности изменения направления и интенсивность переотраженного излучения в трещине с произвольным углом раскрытия показаны на *рис. 19*, схема.

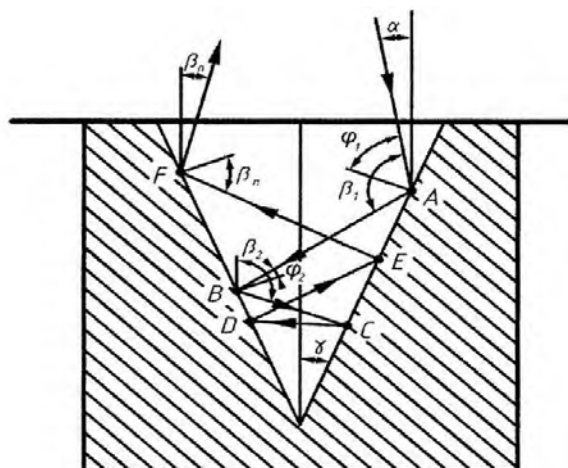


Рис. 19. Схема распространения излучения точечного источника в трещине

$$\varphi_1 = \frac{\pi}{2} - \alpha - \gamma; \beta_1 = 2\varphi_1 + \alpha = \pi - \alpha - 2\gamma$$

Угол между вертикалью и направлением распространения излучения на выходе трещины

$$\beta_n = \pi - \alpha - 2n\gamma, \quad (23)$$

где α - угол падения излучения на исходную поверхность, γ - половина угла раскрытия трещины, n - число переотражений.

Отношение величины сигнала W при наличии трещины к величине сигнала на бездефектной поверхности W_0 при $n = 2$ для $H_2 \operatorname{tg} \gamma < x < 2H_2 \operatorname{tg} \gamma$ определяется выражением

$$\frac{W}{W_0} = \frac{B_1 / \cos \alpha - x}{B_1 / \cos \alpha} + \frac{A_2^2 (x - x_1)}{A_1 B_1 / \cos \alpha} \quad (24)$$

где A_2 - коэффициент отражения поверхности трещины; A_1 - коэффициент отражения бездефектной поверхности.

Момент, при котором отраженное трещиной излучение начинает попадать на объектив, соответствует глубине трещины, равной $x_1 = x = H_2 \operatorname{tg} \alpha + B_1 / \cos \alpha, H_2, B_1$ -.

Рассмотренную область изменения значения угла γ можно условно разбить на несколько областей, каждая из которых соответствует определенному виду дефектов:

1. Глубокие трещины ($n > 6$). Для этого вида повреждений на кривой изменения относительной величины W/W_0 от координаты x/B_1 имеется минимум в точке, соответствующей середине трещины при любых значениях H_2 и $\gamma = (\pi/2 - \alpha)n$.

2. Неглубокие трещины ($2 < n < 6$) имеется максимум в точке $x/B_1 = H_2 \operatorname{tg} \gamma + B_1/2 \cos \alpha$ при $H_2/B_1 = 1$.

3. Царапины ($n < 2$). Для этого вида дефектов характерно $H_2/S < 1$, $S/B_1 \geq 0$, $W/W_1 > 0$ при всех значениях x/B_1 и γ , где $S = 2H_2 \operatorname{tg}(\gamma + \Delta\gamma)$, где $\Delta\gamma$ - увеличение угла раскрытия трещины.

4. Износ поверхности ($0 < n < 1$) характеризуется более высокими значениями W/W_0 в центре дефекта.

Для экспериментального подтверждения теоретических зависимостей влияния формы трещины (угла раскрытия трещины) на изменение интенсивности излучения, отраженного от поверхности, использовался источник с равномерным распределением интенсивности излучения круглого сечения, который устанавливался над исследуемой поверхностью на высоте H_1 , диаметр приемного объектива был равен диаметру источника излучения, угол падения излучения составлял 30° .

Проведенные исследования показали, что расстояние от исследуемой поверхности до приемного объектива H_1 оказывает наибольшее влияние из всех параметров оптической системы на величину W/W_0 .

Испытательное оборудование по обнаружению поверхностных дефектов включает в свой состав гелий-неоновый лазер ЛГИ-224-1 ($\lambda = 0,6328$ мкм), стеклянную пластину для формирования опорного сигнала, два оптических ваттметра поглощаемой мощности ОМЗ-65 для регистрации опорного и измерительного сигналов, плоские зеркала и собирающие линзы и устройство для перемещения образца.

Как показали исследования, резкое снижение интенсивности отраженного сигнала излучения до 50 . . . 98% свидетельствует о наличии царапин, трещин и повреждений покрытий.

Наибольшая вероятность распознавания дефекта достигается в том случае, если диаметр пятна излучения на поверхности не превышает размеров дефекта и равен шагу сканирования.

Наличие царапин, трещин и повреждений приводит к резкому снижению сигнала W/W_0 .

В **девятой главе** диссертации «Разработка автомата контроля дефектов изделия» содержатся материалы по разработке автомата контроля поверхностных дефектов пробок шаровых кранов.

На *рис. 20* приведена принципиальная схема автоматического контроля дефектов и шероховатости пробки шарового крана.

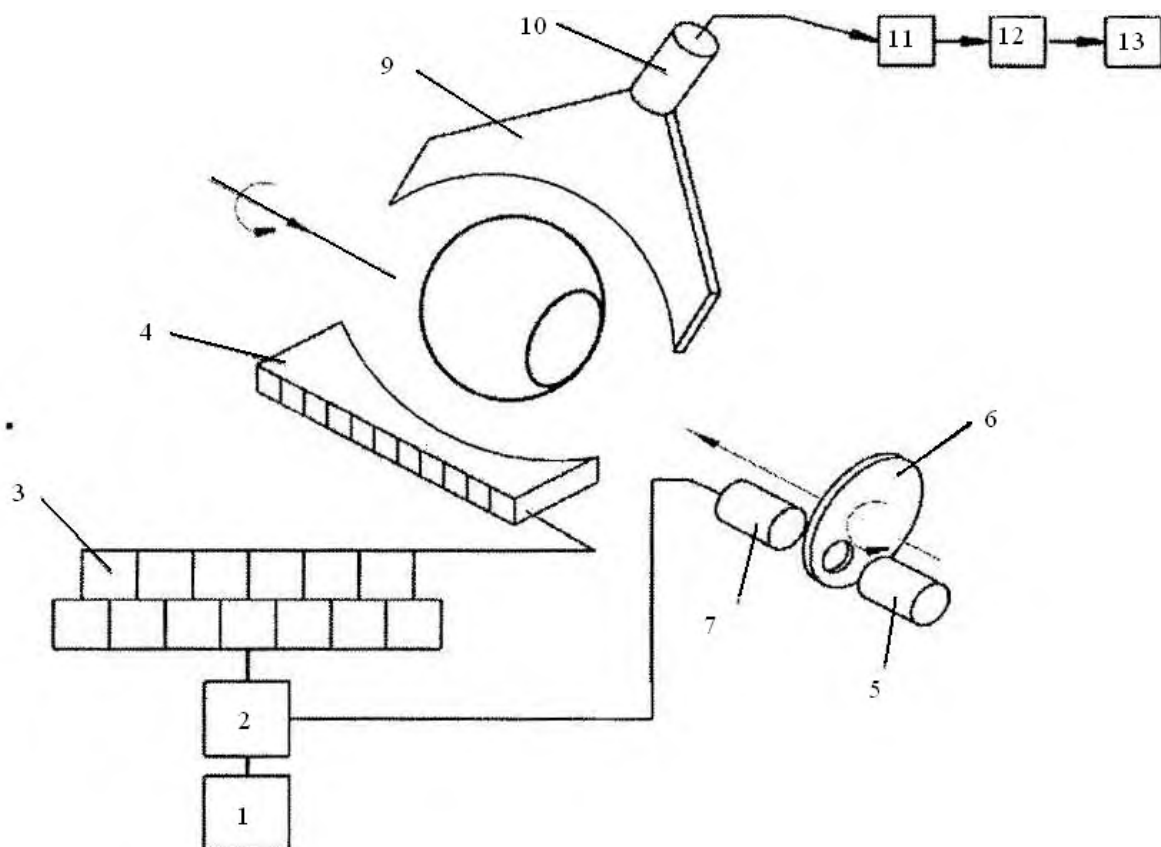


Рис. 20. Схема устройства контроля

Световой поток формируется за счет набора осветителей 4, в качестве которых использованы светодиоды АЛ 108. Отраженный от контролируемой поверхности детали 8 световой поток при помощи волоконного световода 9 направлен на фотокатод фотоприемника 10, в качестве которого применен фотоэлектронный умножитель ФЭУ-22.

Снимаемый с фотоэлектронного умножителя электрический сигнал усиливается усилителем 11 и поступает на вход амплитудного дискриминатора 12. Сигнал с выхода дискриминатора управляет работой устройства разбраковки 13.

Управление переключением осветителей осуществляется распределителем 3, работой которого управляет устройство управления 2.

Разработанные нами блоки автомата контроля представлены на *рис. 21*.



Рис. 21. Принципиальная схема контроля наличия рельефных дефектов на изделиях типа тел вращения

На вход устройства управления поступают импульсы от генератора тактовых импульсов 1, а также импульсы от устройства синхронизации, состоящего из светодиода 5, диска с отверстием 6 и фотоприемника 7, установленного на оси ведомого конуса.

После установки детали на позицию контроля последняя приводит ее во вращение при помощи конусов. Первый же импульс от устройства синхронизации запускает устройство переключения осветителей.

Начиная со второго импульса синхронизации включается первый светодиод. Переключение светодиодов происходит при каждом последующем импульсе синхронизации, т.е. частота переключения светодиодов равна частоте

вращения, и в течение одного оборота контролируется участок поверхности, освещаемый одним светодиодом.

Импульсы синхронизации подсчитываются счетчиком устройства управления, коэффициент пересчета которого равен количеству светодиодов.

При заполнении счетчика вырабатывается импульс, переводящий управление устройством переключения генератора тактовых импульсов.

В этом случае частота переключения светодиодов много выше частоты вращения детали. Тем самым осуществляется построчная развертка поверхности в течение полного оборота детали, по завершению которого импульс устройства синхронизации приводит схему управления и устройство контроля в исходное состояние.

Следующий цикл контроля начинается только после выгрузки детали и установки новой на позицию контроля.

Описание принципов работ отдельных блоков автомата контроля приведено в диссертации.

На *рис. 22* представлена кинематическая схема устройства контроля.

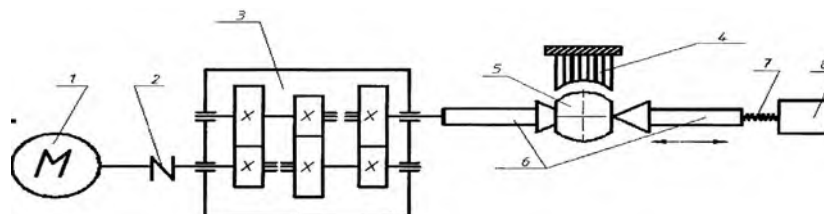


Рис. 22. Кинематическая схема автомата для контроля дефектов: 1 - электродвигатель; 2 - муфта; 3 - редуктор; 4 - фотоэлектрический датчик; 5 - деталь; 6 - вращающиеся центра; 7 - пружина; 8 - электромагнит

Произведены расчеты геометрических параметров лотка магазина (*рис. 23*).

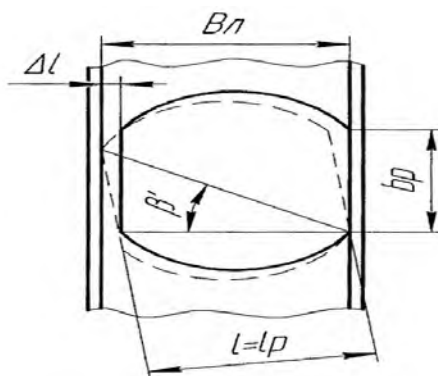


Рис. 23. Расчетная схема движения заготовок в лотке $\Delta l = 4$ мм, $bp = 25$ мм, $\beta' = 11^\circ$, $B_n = 39$ мм.

Технические характеристики двигателя и расчеты редуктора приведены в диссертации. Основные параметры автомата: частота вращения центров – 11

об/мин, производительность автомата – 6 шт/мин, электродвигатель 5A90S8K ($n = 675$ об/мин, $N = 370$ Вт, $M = 5,1$ Нм).

Механизм поштучной выдачи с электромагнитным управлением (рис. 24).

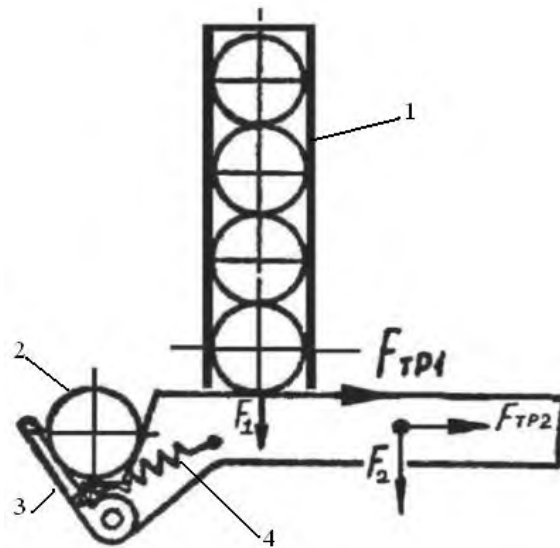


Рис. 24. Схема механизма поштучной выдачи: 1 – лоток-магазин; 2 – изделие; 3 – рычаг; 4 – пружина растяжения

Характеристика электромагнита ПМ-20: напряжение питания – 220В, пусковой ток – 4,2 А, усилие – 3 кг, ход якоря – 100 мм.

Разработан сортировочный механизм с электромагнитным управлением (рис. 25).

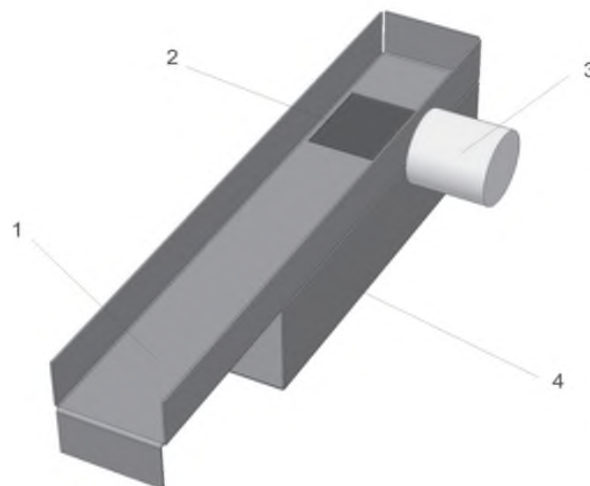


Рис. 25. Схема сортировочного механизма: 1 - верхний лоток; 2 - крышка; 3 - электромагнит; 4 - нижний лоток

Основные параметры электромагнита сортировочного механизма: время срабатывания $t_{cp} = 0,102$ с, тяговое усилие $F_s = 3,7$ Н, коэффициент жесткости пружины $z = 0,8$ Н/мм, ход якоря – 50 мм.

Основные параметры всех вышеперечисленных элементов и механизмов автомата контроля были рассчитаны и приведены в диссертации.

Общий вид автомата контроля представлен на *рис. 26*.

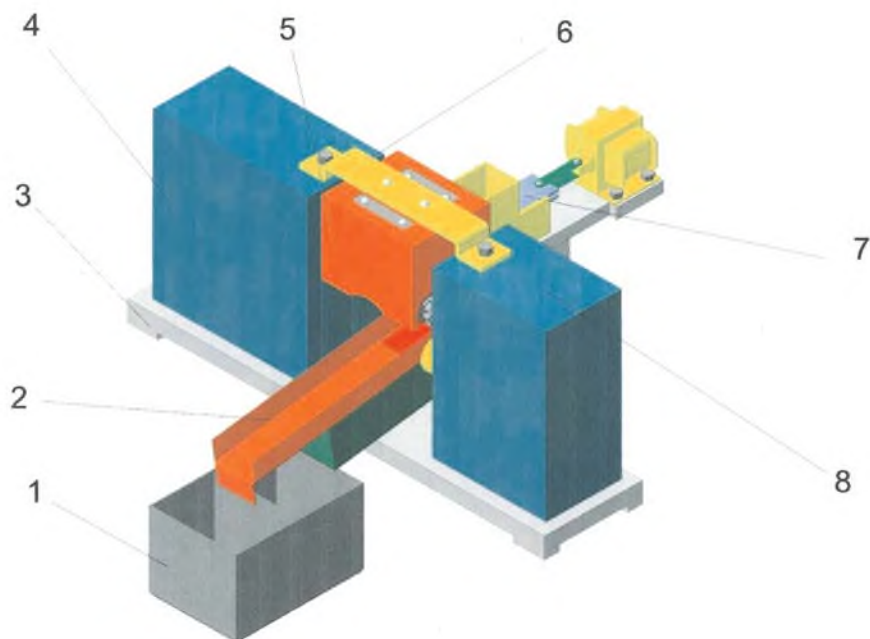


Рис. 26. Общий вид автомата: 1 – бункер; 2 – механизм разброски; 3 – станина; 4 – блок левый; 5 – узел оптического контроля; 6 – планка; 7 – механизм поштучной выдачи; 8 – блок правый

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основе изучения и анализа научно-технической литературы по методам качественной финишной обработки деталей типа тел вращения (к ним относится рассматриваемое изделие), была впервые разработана их классификация, в которой представлены существующие и новые методы обработки, позволяющие в зависимости от требований к качеству изготовления выбрать соответствующий метод обработки.

2. Доказано, что наиболее высокопроизводительным и экономичным методом финишной обработки является отделочно-упрочняющая обработка, к которой относится и новый разработанный нами метод – обработка изделия между двумя дисками, основанная на процессе изнашивания, которое происходит за счет упругопластической деформации и трения.

3. По разработанным математическим моделям доказано, что интенсивность износа, следовательно, и производительность новой технологии зависят от фактической площади контакта, пропорциональной фрикционным и физико-механическим свойствам материалов, размерам и нагрузке.

4. Предложенное уравнение изнашивания позволяет определить объем изношенного материала, и при этом интенсивность изнашивания будет проис-

ходить равномерно, если силовое воздействие, т.е. давление верхнего диска, будет стабильным в процессе изготовления изделия, поэтому возникла необходимость разработки автоматической системы его регулирования.

5. Разработана теория автоматического регулирования давления в процессе обработки изделия, выведены математические модели для трех случаев: объект с а) идеальным, б) инерционным и в) регулятором второго порядка, позволяющие расчетным путем определить динамические показатели качества системы: вид переходного процесса, его длительность, статические ошибки системы регулирования и ее устойчивость, что дает возможность решать корректно проектные задачи.

6. Доказано, что присоединение автоматического регулятора к объекту уменьшает длительность переходного процесса и статическую ошибку регулирования в $(1 + K_0 K_{\text{рег}})$ раз, при этом обеспечивается устойчивая работа системы, а также при правильном выборе массогеометрических параметров системы решается вопрос стабилизации давления верхнего диска независимо от значений возмущающего воздействия.

7. Решение локальной контактной задачи позволило составить таблицу расчетных технологических параметров обработки и выявить особенность процесса обкатывания: на узких участках поверхности пробок, у торцов отверстия имеется уменьшение радиуса сферы на 0,03-0,05 мм, что является полезным для снижения усилия управления кранов; экспериментом установлено также, что получаемая шероховатость сферических поверхностей после обкатывания составила $R_a < 2,5$ мкм.

8. Для поиска оптимального варианта обкатывания были сконструированы, изготовлены и испытаны три сферообрабатывающих устройства, в том числе станок-полуавтомат. При проектировании были использованы предложенные расчетные и эмпирические формулы, определяющие массогеометрические и режимные параметры дисков, зазоры между желобами и пробкой, мощность привода, частоту вращения верхнего диска и давления в пневмоцилиндре.

9. Экспериментальное исследование разработанной системы автоматической стабилизации давления в рабочей полости пневмоцилиндра с обратной связью надежно обеспечивает качественное выполнение технологического процесса, при этом отклонение давления от заданного значения составило - 2% при длительности переходного процесса 0,02 сек.

10. Разработанные методические рекомендации по проектированию и изготовлению обкатного оборудования применимы для создания различных станков-полуавтоматов для финишной обработки любых изделий типа тел вращения с разными геометрическими размерами.

11. Разработана универсальная оптико-электронная система автоматического контроля дефектов и шероховатости поверхности пробки шарового крана с одним фотоприемником и набором переключаемых светодиодов или

лазеров. Определены ее параметры и данные экспериментов по чувствительности ее к различным типам поверхностных дефектов (табл. 4).

12. Разработана математическая модель, описывающая формирование пространственно-временных характеристик отраженного лазерного сигнала на участках с дефектами поверхностного слоя в зависимости от вида повреждений. Выявлено, что основной характеристикой дефекта является параметр n , который численно равен числу переотражений. Доказана необходимость сканирования поверхности при двух различных углах падения излучения, при этом величины n_1 , и n_2 , однозначно определяют геометрию повреждения. Установлено, что при распознавании различных видов поверхностных повреждений наибольшее влияние на относительную величину сигнала оказывает высота расположения приемного объекта над поверхностью детали. Ее оптимальное значение – $H_2/B_1 \leq 1$.

13. Разработаны принципиальные схемы, математические модели, позволяющие произвести расчеты основных параметров и конструкции всех элементов и узлов автомата контроля дефектов изделия:

а) принципиальные схемы съема информации и управления работой автомата;

б) блоки контроля наличия дефекта изделия и учета годных изделий;

в) блок управления привода автомата;

г) электромеханическое устройство автомата, лоток-магазин, механизм поштучной выдачи изделия в контрольное устройство, сортировочное устройство, а также представлены компоновка и чертежи автомата контроля.

14. Разработанные принципиальные схемы контроля, математические модели и конструкции элементов могут быть использованы для создания обкатных и контрольных автоматов применительно к изделиям типа тел вращения с различными геометрическими размерами и назначениями.

Таким образом, в результате диссертационных исследований удалось решить крупную научно-техническую проблему, имеющую важное значение для промышленного производства, прежде всего в машиностроении в области разработки новых технологических методов, повышающих качество изделий.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Еренчинов Д.К. Разработка метода финишной обработки пробки шарового крана путем обкатывания между двумя дисками. [Текст] / Д.К. Еренчинов // Материалы первой Международной научно-технической конференции молодых ученых, студентов и учащихся. «Наука – 2030» – Казахстан, Алматы, 2009.-С.138-142.

2. Еренчинов Д.К. Экспериментальное обкатное оборудование пробок шаровых кранов. [Текст] / Д.К. Еренчинов // Материалы первой международной научно-технической конференции молодых ученых, студентов и учащихся. «Наука – 2030» - Казахстан, Алматы, 2009. – С.142-145.

3. Еренчинов Д.К. Разработка оптико-электронной системы контроля дефектов наружных поверхностей деталей типа тел вращения [Текст] / Д.К. Еренчинов // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Роззакова. – Бишкек, 2009. – №19 – С. 49-51.

4. Еренчинов Д.К. Разработка устройства контроля и расчет его параметров. [Текст] / Д.К. Еренчинов // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Роззакова – Бишкек, 2009. - №19 – С. 68-72.

5. Еренчинов Д.К. О процессе изнашивания при финишной обработке пробок шаровых кранов обрабатываемые по новой технологии. [Текст] / Д.К. Еренчинов // Известия Кыргызского государственного технического университета. Бишкек, 2009. - №19 –С. 72-74.

6. Еренчинов Д.К. Качество сферической поверхности пробок шарового крана при его обработке на полуавтомате Д7. [Текст] / Д.К. Еренчинов // Материалы 10-го Юбилейного международного научно-технического семинара «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте». Киев, 2010. – С.62-65.

7. Еренчинов Д.К. Метод и устройство финишной обработки поверхности пробок шаровых кранов. [Текст] / Д.К. Еренчинов // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Инженерные системы – 2010». Москва, 2010. – С.130-132.

8. Еренчинов Д.К. Разработка математической модели автоматического регулирования давления дисков с идеальным регулятором при обработке пробок шарового крана. [Текст] / Д.К. Еренчинов // «Strategiczne pytania swiatowej nauki - 2010». Nauki I studia. - Przemysl, Польша, 2010. – Volume 6. – С. 12-18.

9. Еренчинов Д.К. Динамика пневмоцилиндра автоматической системы регулирования давления станка-полуавтомата Д7. [Текст] / Д.К. Еренчинов // «Strategiczne pytania swiatowej nauki - 2010». Nauki I studia. – Przemysl, Польша, 2010. – Volume 14. –С. 8-10.

10. Еренчинов Д.К. Экспериментальное исследование системы автоматического регулирования давления в пневмоцилиндре. [Текст] / Д.К. Еренчинов //

«Strategiczne pytania swiatowej nauki - 2010». Nauki I studia. - Przemysl, Польша, 2010.- Volume 14. – С. 10-14.

11. Еренчинов Д.К. Метод и устройство обеспечения качества поверхности пробок шаровых кранов. [Текст] / Д.К. Еренчинов // «Арматуростроение»: – Санкт-Петербург, 2010. – №2. – С.74-76.

12. Еренчинов Д.К. Исследование переотражения излучения в элементах поверхности. [Текст] / Д.К. Еренчинов // «Магистраль». – Алмата, 2010.-№4.-С. 48-51.

13. Еренчинов Д.К. Факторы качества финишной обработки пробок шаровых кранов. [Текст] / Д.К. Еренчинов // «Промышленный Казахстан». – Алматы, 2010. – №4. –С.6-7.

14. Еренчинов Д.К. Планирование эксперимента при исследовании технологий финишной обработки пробок шаровых кранов. [Текст] / Д.К. Еренчинов, М.Р. Тусупбеков // Вестник Казахстанско-Британского технического университета. – Алматы, 2010. -№2. – С. 53-56.

15. Еренчинов Д.К. Статика системы автоматического регулирования давления в пневмоцилиндрах полуавтомата Д7. [Текст] / Д.К. Еренчинов // «Вестник автоматизации». – Алматы, 2010.- №1. - С.18.

16. Еренчинов Д.К. Характеристика регулятора расхода воздуха пневматической системы полуавтомата Д7. [Текст] / Д.К. Еренчинов // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М.Тынышпаева. – Алматы, 2010. - №3. – С. 79-83.

17. Еренчинов Д.К. Динамика регулятора расхода автоматической системы регулирования давления полуавтомата Д7. [Текст] / Д.К. Еренчинов // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М.Тынышпаева. – Алматы, 2010. - №4. – С. 45-47.

18. Еренчинов Д.К. Анализ устройств контроля качества поверхности изделий тел вращения оптическим методом. [Текст] / Д.К. Еренчинов // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М.Тынышпаева. – Алматы, 2010. - №4. – С. 97-101.

19. Еренчинов Д.К. Разработка математической модели системы автоматического регулирования давления дисков с регулятором второго порядка станка-полуавтомата Д7. [Текст] / Д.К. Еренчинов // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М.Тынышпаева. – Алматы, 2010. - №2. – С. 95-97.

20. Еренчинов Д.К. Разработка математической модели системы автоматического регулирования давления дисков с регулятором первого порядка полуавтомата Д7. [Текст] / Д.К. Еренчинов // Новости науки Казахстана. Научно-технический сборник. – Алматы, 2010. – №2 – С. 85-95.

21. Еренчинов Д.К. Разработка устройства контроля поверхностных дефектов изделий типа тел вращения. [Текст] / Д.К. Еренчинов // Материалы 10-й

Юбилейной международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий». – Киев, 2010. – С. 79-83.

22. Еренчинов Д.К. Метод и устройство автоматического контроля поверхностных дефектов пробок шаровых кранов. [Текст] / А.П. Муслимов, Д.К. Еренчинов // Научное издание. Алматы 2010. – С.111.

23. Еренчинов Д.К. Основы теории, технологии и автоматизированного оборудования для изготовления пробок шаровых кранов. [Текст] / Д.К. Еренчинов // Научное издание. Алматы 2010. – С. 191.

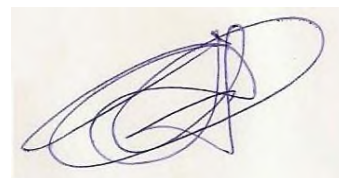
24. Еренчинов Д.К. Автоматизированная установка чистовой обработки пробок шаровых кранов. [Текст] / Д.К. Еренчинов // Журнал «Наука и новые технологии». – Бишкек, 2010. №7. – С. 11-12.

25. Еренчинов Д.К. Экспериментальное исследование влияния формы трещины на изменение интенсивности излучения. [Текст] / А.П. Муслимов, Д.К. Еренчинов // Журнал «Наука и новые технологии». – Бишкек, 2010. №7. – С. 56-58.

26. Еренчинов Д.К. Классификация оптико-электронных приборов. [Текст] / А.П. Муслимов, Д.К. Еренчинов // Журнал «Известия ВУЗов». – Бишкек, 2011. №5. – С. 33-34.

27. Еренчинов Д.К. Структурная схема пневмоцилиндра с обратной связью полуавтомата Д7. [Текст] / А.П. Муслимов, Д.К. Еренчинов // Журнал «Известия ВУЗов». – Бишкек, 2011. №5. – С. 79-80.

28. Еренчинов Д.К. Сепаратор чистовой обработки пробок шаровых кранов. [Текст] / А.П. Муслимов, Д.К. Еренчинов // Журнал «Вестник автоматизации». – Алматы, 2011. №3(33). – С. 13.



Резюме

Еренчинов Данияр Кагазбековичтин техникалык илимдер доктору илимий даражасына ээ болуу шчщн, 05.02.08 – машине куруу технологиясы кесипчилигине тиешелщщ “Топчолуу чщмөктщн тыгынын бетиндеги мандемдерди кезёмөлдөөчщ автомат жана жабдыктын технологиясынын негизги теорияларын иштеп чыгуу” темасында жазылган диссертациясынын негизги пикири.

Ачык сөздөр: БЩЛЁЁЛЁЁ, ЖЫЛМАЛОО, КЫНОО, КАЛЫПТАНДЫРУУ, ТЕГЕРЕНТМЕ ТЕС, ЁТМЁ ЖАРАЯН, БЕЙМОРТ МАЙЫШУУ, ТОПЧОЛУУ ЧУМӨКТЩН ТЫГЫНЫ, ЖЕШИЛЩЩ, БОДУРДУУЛУК, ЖЁНДЁЛЩЩЩЩ АЙМАК, ЖЁНДЁГЩЩ, ЖЕЛЦИЛИНДРИ, ЖАРЫК АГЫМЫ, ЖАРЫКТАНДЫРГЫЧ, ЖАРЫКДИОДУ.

Изилдөө объектиси топчолуу чщмөктщн тыгынын торлуу желобдогу эки дискада калыптандырып иштетщщ болот.

Максаты-топчолуу чщмөктщн тыгынынын бетиндеги мандемдерди автоматикалык кезёмөлдөө жана маралык иштетщщ щщщ арналган тщщщщщщщщ, жабы технологиялык ыкмасынын негизги теорияларын иштеп чыгуу.

Маралык иштетщщ ыкмаларын жана топчолуу чщмөктщн тыгынынын сапатын кезёмөлдөөнщн негизги теорияларын иштеп чыгууда сщщщщщщщщ жана жешилщщщщщ, жешилщщщго туруктуулукту жогорулатуунун технологиялык ыкмаларынын жана машинанын иштөөузактыгынын, жабдуулардын режимдерин автоматтык башкаруу иши, технологиялык жараяндарын автоматташтыруу, маалымат-ченегич техника, математикалык статистиканын жана беттин кемтиктерин фотоэлектридик ыкма менен аныктоонун негизги теориялары колдонулду.

Иштин жыйынтыгы маралык иштетщщщщщ жабы ыкмаларынын классификациясы, бодрлук баачендери менен иштеп чыгылган топчолуу чщмөктщн тыгындарын маралык иштетщщщщщ жабылыгы патент менен корголгон жабы технологиясы болуп саналат;

Топчолуу чщмөктөрдщн тыгындарын тазалап топтоо жолдорунун теоретикалык жана эксперименталдык изилдөөлөрщщщн илимий негизделген жыйынтыктары; жогорку дисктин басымын жөндөөнщн автоматтык системасы жана анын математикалык модели; атайын жарым автомат-тестин конструкциясы, анын лабораториялык жана өндщщщщщщ шарттардагы эксперименталдык изилдөөлөрщщщн жыйынтыктары; топчолуу чщмөктөрдун тыгындарын топтоо жабдууларын долборлоонун методикалык рекомендациялары (сунуштар); айлануу телосунун тибиндеги изделиялардын беттеринин бодрлугун жана кемтиктерин аныктап чыккан жоболук жабы универсалдык автоматтык кезёмөлдөө системасын иштеп чыгуу;

Кезёмөлдөө автоматынын элементтеринин жана тщщщндорщщщн математикалык модели, анын негизги параметрлеринин эсептөөлөрщн жщщгщщщщгё мщмкщнщщщк берщщщ, аны долборлоодо керектелщщщ, жана ошондой

эле анын иштөө режимин талдоодо; кеземелдөө аппаратынын элементтеринин жана тийишндөрдүн конструкциясы жана аны жайгаштыруу.

Иштин практикалык баалуулугу: топчолуу чыкмөктөрдүн тыгындырын Ду 15-50 мм маралык иштетүүчү жогорку эффективдүү атайын жарым автомат тести жасоодо жана өндүрүшкө киргизүүдө; изделиялардын беттеринин бодрлугун жана мандемим кеземелдөөчү универсалдык аппараты; иштетүүчү жана изделиянын сапатын кеземелдөөнүн параметрлеринин рационалдык маанилерин тандоого мүмкүндүк берген методикалык сунуштар, математикалык моделдер, ж.о.э дагы ушуга окшогон айлануу телолор тибиндеги изделияларды жасоодо колдонулуучу долбоорлоо тапшырмаларын ийгиликтүү чыгарууда, башкалардан геометриялык өлчөмдөр менен айырмаланган изделияларды кеземелдөөнүн иштетүүчү эмпирикалык формулалар;

Топчолуу чыкмөктөрдүн тыгындырынын маралык иштетүүчү жана жарым автомат жана айлануу телолорунун тибиндеги беттердин кемтиктерин кеземелдөөчү аппарат машина куруудагы арматура куруучу ишканаларда колдонулат.



Резюме

диссертации Еренчинова Данияра Кагазбековича на тему «Разработка основ теории, технологии, оборудования и автомата контроля поверхностных дефектов пробок шаровых кранов» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения

1. **Ключевые слова:** Хонингование, шлифование, притирка, обкатывание, карусельный станок, переходной процесс, пластическое деформирование, пробка шарового крана, изнашивание, шероховатость, объект регулирования, регулятор, пневмоцилиндр, световой поток, осветитель, светодиод.

2. **Защищается диссертация объектом исследования которой является** процесс обработки пробок шаровых кранов обкатыванием в торовом желобе двух дисков.

3. **Цель работы** – разработка основ теории, новых технологических методов, устройств, предназначенных для финишной обработки и автоматического контроля дефектов поверхности пробок шаровых кранов.

4. **Методы исследования и аппаратура.** При разработке основ теории, методов финишной обработки и контроля качества пробок шаровых кранов были использованы основы теории трения и износа, технологических способов повышения износостойкости и долговечности машин, автоматического управления режимами работ оборудования, автоматизации технологических процессов, информационно-измерительная техника, фотоэлектрические методы выявления дефектов поверхности и математической статистики.

5. **Полученные результаты:**

1) Классификация существующих и новых методов финишной обработки, разработанная по критерию шероховатости.

2) Новая технология финишной обработки пробок шаровых кранов.

3) Научно обоснованные результаты теоретических и экспериментальных исследований способа чистового обкатывания пробок шаровых кранов.

4) Автоматическая система стабилизации давления верхнего диска и ее математическая модель.

5) Конструкция специального станка - полуавтомата, результаты его экспериментального испытания в лабораторных и производственных условиях.

6) Методические рекомендации по проектированию обкатного оборудования для пробок шаровых кранов.

7) Разработка принципиально новой универсальной автоматической системы контроля, позволяющая выявлять дефекты и шероховатости поверхности изделия типа тел вращения.

8) Математические модели элементов и узлов автомата контроля, позволяющие произвести расчет их основных параметров, необходимых для проектирования его, а также для выбора режимов работ.

9) Конструкции элементов и узлов автомата контроля и его компоновка.

6. Практическая ценность:

1) Разработан, изготовлен и внедрен в производство высокоэффективный специальный станок-полуавтомат для финишной обработки пробок шаровых кранов Ду 15-50 мм;

2) Разработан универсальный автомат контроля дефектов и шероховатости поверхности изделия;

3) Разработанные методические рекомендации, математические модели, а также эмпирические формулы обработки контроля изделия позволяют выбрать рациональные значения параметров обработки и контроля качества изделия, а также успешно решать проектные задачи по созданию оборудования применительно к любым аналогичным изделиям типа тел вращения, отличающиеся другими геометрическими размерами.

7. **Область применения:** Станок-полуавтомат для финишной обработки пробок шаровых кранов и автомат контроля поверхностных дефектов типа тел вращения применяется в машиностроении на предприятиях арматуростроения.



Resume

on thesis of Yerenchinov Daniyar Kagazbekovich on theme “Design theory, technology, equipment and automatic control of surface defects of plugs of ball valves” for competition for the degree of Doctor of Technical Sciences by specialty 05.02.08 – Technology of mechanical engineering.

1. **Key words**: honing, grinding, lapping, running-in, vertical lathe, transient process, plastic deformation, plug of ball valve, attrition, roughness, regulation object, object of regulation, regulator, pneumatic cylinder, luminous flux, light-emitting diode, illuminator.

2. **Object of research**: processing of plugs of ball valves by running-in in torus-like channel of two disks.

3. **Aim of work**: design foundations of the theory, new technological methods, devices, assigned for the final processing and automatic control of surface defects of the plugs of ball valves.

4. **Research methods and equipment**: under designing of foundations of the theory, final processing and control of the quality of the plugs of ball valves were used basics of the theory of friction and wear, of technological ways of increasing wearing qualities and longevity of machines, of the automatic control of equipment modes, informational measuring techniques, photoelectric methods of detection defects of surface and mathematical statistics.

5. **Results**:

1) Classification of the existing and new methods of final processing, designed on the criterion of roughness.

2) New technology of final processing of the plugs of ball valves, which novelty is protected with patent.

3) Science-based results of theoretical and experimental researches of the way of final running-in of the plugs of ball valves.

4) Automatic pressure stabilization of the upper disc and its mathematical model.

5) Construction of the special half automat machine, its results of experimental tests at laboratory and production conditions.

6) Guidelines on designing running-in equipment for the plugs of ball valves.

7) The development of fundamentally new universal automatic control system, which allows to detect defects and surface roughness of products, such as bodies of revolution.

8) Mathematical models of machine elements and components of automatic control, allowing to calculate the main parameters needed to design it, and also to select the operation modes.

9) Constructions elements and components of automatic control and its composition.

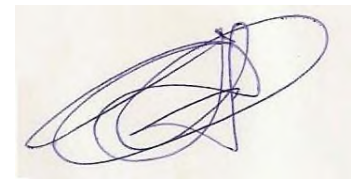
6. **Practical value:**

1) High-performance special half-automat machine for final processing of the plugs of ball valves D 15-50mm was designed produced and embedded into production;

2) Universal automatic control of defects and surface roughness of the product was developed;

3) Developed guidelines, mathematical models, also empirical formula of product processing control allows to select rational values of processing and control of product quality. Also they allow solving project tasks in relation to any analogue products, such as bodies of revolution, which differs from each other with geometric sizes.

7. **Scope:** half automat machine for final processing of the plugs of ball valves and automat of control defects and surface roughness of products, such as bodies of revolution, uses in mechanical engineering at armature.



Подписано к печати 1 декабря 2011 г.
Печать офсетная. Гарнитура «Таймс». Объем 2,75 п.л.
Тираж 100 экз. Заказ №238

Издательство ПА «KAZGOR», г. Алматы,
пр. Абылай хана, 81