

На правах рукописи



**Харькин Олег Сергеевич**

**УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ МАЛОГАБАРИТНЫХ  
ДЕТАЛЕЙ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ МНОГОДИАПАЗОННОЙ  
СОРТИРОВКИ СТРУЙНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ**

05 13 06      Автоматизация и управление технологическими  
процессами и производствами (промышленность)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Волгоград – 2007

Работа выполнена в Волгоградском государственном техническом университете

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент  
Кристалль Марк Григорьевич

Официальные оппоненты доктор технических наук,  
профессор  
Волчкевич Леонид Иванович

доктор технических наук,  
профессор  
Чаплыгин Эдуард Иванович

Ведущая организация ОАО «Волжский подшипниковый завод»,  
г Волжский, Волгоградской области

Защита состоится 30 мая 2007г в 10-00 часов на заседании диссертационного совета К 212 028 02 в Волгоградском государственном техническом университете по адресу 400131, г Волгоград, проспект Ленина, 28

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Волгоградского государственного технического университета

Автореферат разослан «27» апреля 2007 г

Ученый секретарь диссертационного  
совета, кандидат технических наук, доцент



Быков Ю М

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Одной из основных задач отечественного производства в настоящее время является выпуск конкурентоспособной продукции, что особенно важно в связи с предстоящим вступлением России во Всемирную торговую организацию. Решение этой задачи невозможно без повышения качества выпускаемой продукции, которое во многом зависит и от качества средств контроля, применяемых в промышленности.

В массовом и серийном производствах при сборке сложных изделий требуется осуществлять распределение деталей в контрольно-сортировочных автоматах по сортировочным группам для обеспечения необходимого качества собираемого узла. Комплектующие элементы этих узлов, как правило, представляют собой малогабаритные детали большой номенклатуры и программы выпуска более 100 тысяч в год, что предъявляет повышенные требования к производительности средств сортировки. Перспективным направлением совершенствования традиционных процессов контроля и сортировки таких деталей является использование пневматики. Это объясняется целым рядом преимуществ пневматических систем – простотой конструкции и обслуживания, высокой степенью надежности, сравнительно низкой стоимостью, неподверженностью воздействию электромагнитных полей, возможностью бесконтактного воздействия на детали.

Известны работы, касающиеся исследований в области струйных средств контроля и сортировки, струйной пневмоавтоматики, систем пневмотранспорта и ориентирования деталей.

Вместе с тем, работы, посвященные применению струйных воздействий для перемещения и распределения потоков деталей, носят поисковый характер и касаются частных сторон вопроса. Поэтому выявление закономерностей влияния струй сжатого воздуха на динамические характеристики движения деталей в струйных сортировочных устройствах (ССУ) и разработка на их основе новых прогрессивных средств сортировки повышенной производительности, является актуальной научной и практической задачей.

Данная работа выполнялась в рамках госбюджетной НИР №35-53/439-04 «Исследование процессов и систем автоматического управления нелинейными объектами в предельных состояниях».

**Цель работы.** Повышение производительности струйных сортировочных устройств на базе теоретических и экспериментальных исследований, а также разработка типовых конструкций ССУ и методики их инженерного проектирования.

**Методы исследования.** Теоретические исследования проведены с использованием законов газовой динамики, методов теоретической механики и вычислительной математики. Экспериментальные исследования выполнены с применением физического и имитационного моделирования, статистической обработки результатов по схеме однофакторного эксперимента с использованием современных регистрирующих и вычислительных средств.

**Научная новизна.** Предложены математические модели управления перемещением деталей различных форм из транспортного канала в сортировочные окна под действием нескольких разнонаправленных струй сжатого воздуха, устанавливающие взаимосвязь между временем сортировки, рабочими и конст-

руктивными параметрами струйных сортировочных устройств, физико-механическими свойствами сортируемых деталей, количеством групп сортировки Разработана методика экспериментальных исследований быстропротекающих процессов на основе метода хронофотографии

**Практическая ценность.** Разработаны новые конструкции струйных сортировочных устройств, защищенные патентами РФ устройство контроля и сортировки деталей (№ 1443977), устройство для многодиапазонной сортировки деталей (№ 1498562), струйное устройство для контроля и сортировки сопл (№ 1623799), устройство сортировки плоских деталей (№2060841), устройство для контроля и многодиапазонной сортировки плоских деталей (№ 2077962) Опытно-промышленный образец контрольно-сортировочного автомата повышенной производительности внедрен в производство в ОАО «Аврора-БиНиБ» с экономическим эффектом 65870 руб.

Разработана методика инженерного проектирования ССУ повышенной производительности для различных типов малогабаритных деталей

**На защиту выносятся:**

- классификация пневматических средств сортировки малогабаритных деталей,

- новый принцип повышения производительности струйной сортировки малогабаритных деталей за счет организации одновременного воздействия на них нескольких разнонаправленных струй сжатого воздуха,

- схемы и математические модели динамики сортировки малогабаритных деталей с распределением их через боковые, нижние и верхние сортировочные окна транспортного канала, позволяющие определить уровни значений давлений питания транспортных, сортировочных, разгонных, и направляющих исполнительных сопл и время сортировки в зависимости от параметров деталей, каналов ССУ, задач сортировки Результаты теоретического исследования предложенных моделей

- методики и результаты экспериментальных исследований влияния параметров ССУ и сортируемых деталей на быстродействие средств сортировки Результаты статистического моделирования процесса струйной сортировки с оценкой производительности

- новые конструкции струйных сортировочных устройств повышенной производительности и методика их инженерного проектирования

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на: Всероссийском совещании по пневмоавтоматике (Москва, 1996 г.), Международной конференции «Актуальные проблемы конструкторско-технологического обеспечения машиностроительного производства» (Волгоград, 2003 г.), Международной научн - техн конф «Современные технологии в машиностроении и автомобилестроении» (Ижевск, 2005 г.), VII Международной научно-технической конференции "Фундаментальные и прикладные проблемы в машиностроительном и строительном комплексах" "Технология - 2006" (Орел, 2006 г) и научных конференциях профессорско-преподавательского состава Волгоградского государственного технического университета (Волгоград, 2000 – 2007 гг)

**Публикации.** Основные материалы диссертации опубликованы в 14 печатных работах, в том числе 5 патентах РФ

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа изложена на 123 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы из 115 наименований и 2-х приложений на 21 странице и содержит 74 рисунка на 51 странице. Общий объем 205 страниц

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту. Автором выражается благодарность за содействие в выполнении работы доцентам В В Жогге, А И Сутину

**В первой главе** с целью повышения производительности пневматических методов и средств сортировки деталей проведен анализ современного состояния и тенденций развития данного вопроса

Исследованиям в области пневматических средств автоматизации технологических процессов посвящены труды отечественных ученых Вартанова М В, Волчкевича Л И, Иванова А А, Малова А Н, Рабиновича А Н, Сентякова Б А, Яхимовича В А. Различные аспекты струйной пневмоавтоматики нашли отражение в трудах Л А Залманзона, О И Чаплыгина, И В Лебедева, А М Касимова. Системам пневмотранспорта и использованию эффекта воздушной прослойки для сортировки, разделения потоков деталей посвящены труды В К Битюкова, И А Авцинова, В П Боброва, М А Козловского, А Е Смолдырева, А В Гантлевского, А А Иванова

В ряде случаев технологические процессы изготовления малогабаритных деталей с размерами  $(1 - 20) \times 10^{-3}$  м, массой  $(0,1 - 10) \times 10^{-3}$  кг, имеющих легкоповреждаемые покрытия — пьезокерамические изделия, кварцевые пластины, а также сопла газовых горелок, ролики и шарики подшипников, не обеспечивают необходимой точности для сборки качественных изделий из них и требуют 100% проверки контролируемых параметров (геометрических, электрических и др.) с последующей сортировкой. С учетом годовой программы их выпуска (100 тыс. и более), наличия легкоповреждаемых покрытий и поверхностей контроль и сортировка должна выполняться на контрольно-сортировочных устройствах повышенной производительности с бесконтактным силовым воздействием на сортируемые детали. Сделан вывод о перспективности применения струй сжатого воздуха для этих целей, так как струйные устройства характеризуются простой конструктивного исполнения, надежностью и долговечностью в работе, высоким быстродействием, отсутствием холостых ходов, не требовательностью к физическим свойствам сортируемых деталей

Дана классификация пневматических сортировочных устройств, выявлены факторы, влияющие на их производительность. Установлено, что в настоящее время наибольшее распространение находят сортировочные устройства с принудительным перемещением деталей. Из анализа известных контрольно-сортировочных автоматов установлено также, что сортировочные устройства оказывают решающее влияние на их производительность. Производительность сортировки зависит от времени транспортирования деталей к соответствующим сортировочным отсекам и перемещения их в эти отсеки, габаритных размеров сортируемых деталей, числа групп сортировки, наличия холостых ходов исполнительных механизмов (заслонок, подвижных рукавов и пр.)

Известны работы по динамике перемещения деталей в пневмотранспортных и ориентирующих устройствах, на воздушной прослойке, в задачах ориентирования при делении исходного потока деталей, в зависимости от ключей ориентирования, на два вторичных потока. Однако, полученные аналитические решения взаимодействия струй сжатого воздуха с деталями мало приемлемы для случая многодиапазонной сортировки и носят частный характер. Представляется, что повышению производительности струйной сортировки малогабаритных деталей может способствовать управление их движением одновременным воздействием нескольких струй сжатого воздуха, обеспечивающих разгон деталей в транспортном канале, торможение в районе соответствующего сортировочного окна и направление их в него. Однако исследований динамики перемещения деталей за счет воздействия на них нескольких струй сжатого воздуха в известных работах не обнаружено. Отсутствуют также оценки производительности струйной многодиапазонной сортировки в зависимости от количества групп сортировки, объема партии, параметров сортируемых деталей.

Таким образом, в настоящее время разработка моделей движения деталей в струйных устройствах многодиапазонной сортировки, определение конструктивных и рабочих параметров таких сортировочных устройств, оценка их производительности на основе теоретического и экспериментального исследования процессов управления динамикой движения малогабаритных деталей струями воздуха является актуальной.

**Во второй главе** предлагается повысить быстродействие пневматических сортировочных устройств за счет воздействия на сортируемую деталь противоположно направленными струями сжатого воздуха. Эти струи истекают из транспортного и сортировочного сопел, соответственно, под давлением  $p_0$  питания и  $p_c$  сортировки.

В зависимости от конструктивного исполнения сортируемых деталей, предложены различные схемы струйной сортировки. Распределение деталей типа дисков, осуществляется через боковые (рис 1, а) сортировочные окна транспортного канала. Деталей типа пластин – через нижние (рис 1, б), и деталей ступенчатой формы - через верхние (рис 1, в) сортировочные окна транспортного канала. После контроля параметра сортировки, деталь поступает в транспортный канал и ее скорость в начальный момент времени в направлении транспортного перемещения равна нулю. В момент достижения деталью соответствующего сортировочного окна, ее скорость в этом направлении также должна быть равна нулю. Общий подход повышения производительности сортировки для всех предлагаемых схем состоит в следующем. Необходимо разогнать деталь силовым воздействием струи воздуха, истекающей из транспортного сопла 2, а затем затормозить ее воздействием струи соответствующего сортировочного сопла 5. Для деталей типа пластин (рис 1, б) добавляются сопла 7, струи из которых препятствуют их повороту в непредназначенные им сортировочные окна. Одновременно, эти сопла выполняют функцию ускорения движения деталей, что также способствует повышению производительности процесса. Разгонные сопла могут применяться во всех предложенных схемах. Торможение плоской детали, ее разворот и направление в заданное сортировочное окно осуществляют, соответственно, струи сжатого воздуха, истекающие из сопел 5 и 6. Сортировку деталей ступенчатой формы, транспортируемых

на заплечиках, целесообразно производить в сортировочных устройствах по схеме (рис 1, в) Здесь направление детали в сортировочное окно выполняется направляющим соплом 6

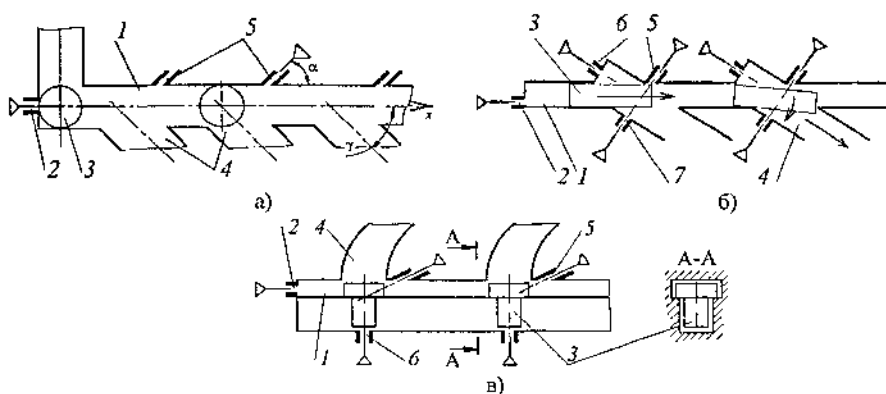


Рис 1 Схемы струйных сортировочных устройств

а - с распределением деталей через боковые, б - с распределением деталей через нижние; в - с распределением деталей через верхние сортировочные окна транспортного канала; 1 - транспортный канал, 2 - транспортное сопло, 3 - деталь, 4 - сортировочные окна, 5 - сортировочные сопла, 6 - направляющие сопла, 7 - разгонные (поддерживающие) сопла

В общем случае, в соответствии с принятыми допущениями, величина силового воздействия струи на деталь, расположенную в канале сортировочного устройства, с использованием уравнения количества движения может быть определена как

$$F = \rho S u^2, \quad (1)$$

где  $u$  - средняя скорость потока воздуха,  $S$  - площадь поперечного сечения потока,  $\rho$  - плотность воздуха

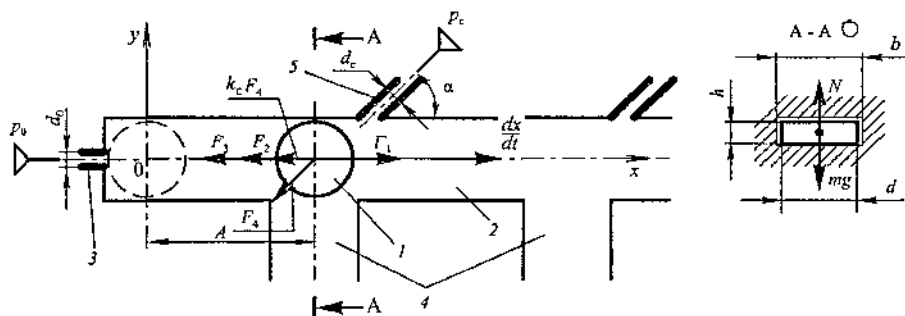


Рис 2 Расчетная схема ССУ с распределением деталей через боковые сортировочные окна

Фактическое усилие  $F_1$ , при движении детали со скоростью  $dx/dt$ , зависит от относительной скорости  $(u - dx/dt)$  воздействия струи, расстояния  $x$  между срезом сопла и деталью (рис 2) и равно

$$F = \rho S(u - dx/dt)^2 \quad (2)$$

В расчетах принята упрощенная структура свободной турбулентной затопленной струи со следующими геометрическими характеристиками протяженность начального участка струи  $x_H = 5d_0$ , толщина пограничного слоя для начального участка  $b \approx 0,25x$ , при  $x/d_0 \leq 5$ , для основного  $b \approx (d_0/2) + 0,15x$ , при  $x/d_0 \geq 5$ , где  $d_0$  - диаметр сопла

Характеристики распределения скоростей  $u_{oc}$  вдоль оси струи определяются следующими соотношениями  $u_{oc}/u_0 = 1$ , при  $x/d_0 \leq 5$  и  $u_{oc} = u_0[0,3 + 0,14(x/d_0)]^{-1}$ , при  $x/d_0 \geq 5$ , где  $u_0$  скорость на срезе сопла. Распределение скоростей в поперечном сечении определяется известной формулой Шлихтинга

Для ССУ с распределением деталей через боковые окна транспортного канала (рис 2), перемещение детали 1 по транспортному каналу 2 происходит под действием струи воздуха, истекающей из транспортного сопла 3. Торможение детали и направление в соответствующий сортировочный лоток 4 осуществляется струей воздуха, истекающей из сортировочного сопла 5, расположенного под некоторым углом  $\alpha$  навстречу движению детали.

Движение детали диаметром  $d$ , высотой  $h$  и массой  $m$  в прямоугольном транспортном канале закрытого типа в положительном направлении оси  $Ox$  происходит под действием силы динамического давления  $F_1$  струи воздуха, истекающей из транспортного сопла 3 диаметром  $d_0$ , лобового сопротивления  $F_2$ , кулоновского трения  $F_3$ , силы противодействия  $F_4$  струи воздуха, истекающей из сортировочного сопла 5 диаметром  $d_c$ , согласно уравнению.

$$m d^2 x/dt^2 = F_1(u, x, x) - F_2(x) - F_3 - F_4(u_c, x, x), \quad (3)$$

Сила  $F_1$  динамического давления струи воздуха на деталь определяется в соответствии формулой (2)

Скорость  $u_0$  воздуха, истекающего из транспортных и сортировочных сопел, определяется из условия адиабатного процесса течения воздуха

$$u_0 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} RT_0 \left[ 1 - \left( \frac{p_a}{p_0} \right)^{k-1/k} \right]}, \quad (4)$$

где  $\varphi = 1/\sqrt{1 + \xi_a}$  - коэффициент скорости,  $\xi_r$  - коэффициент гидравлических потерь,  $k$  - показатель адиабаты воздуха,  $p_a$  - атмосферное давление,  $p_0$  - давление питания воздуха,  $R$  - газовая постоянная,  $T_0$  - абсолютная температура воздуха

Сила  $F_1$  в уравнении (3) зависит от расстояния  $x(t)$ , и имеет нелинейный характер



В расчетах эту зависимость представляем в виде кусочно-непрерывной функции  $F_1(x) = \begin{cases} F_{1n} = f_1(x), & \text{при } x < x_H \\ F_0 = f_2(x), & \text{при } x > x_H \end{cases}$ , вид которой определяется работой струи на начальном или основном участках

Сила  $F_2$  лобового сопротивления определяется зависимостью  $F_2 = 0,5 C_x S_M \rho (dx/dt)^2$ , где  $C_x$  - коэффициент лобового сопротивления тела,  $S_M$  - площадь миделева сечения детали. В расчетах движения тел в каналах можно использовать вместо коэффициента  $C_x$  значения  $\zeta_r$  - коэффициента гидравлического сопротивления тела

Сила  $F_3 = Nf = mgf$  трения детали о рабочую поверхность транспортного канала, где  $g$  - ускорение свободного падения,  $f$  - коэффициент трения материалов детали и рабочей поверхности транспортного канала,  $N$  - реакция рабочей поверхности

Сила  $F_4$  определяется с учетом угла  $\alpha$  наклона сортировочного сопла

$F_4 = k_c \rho S (u + dx/dt)^2 \cos \alpha$ , где  $k_c$  - коэффициент, учитывающий распределение давления струи сортировочного сопла между транспортным каналом и сортировочным лотком, имеет различное значение для начального и основного участка струи противодавления

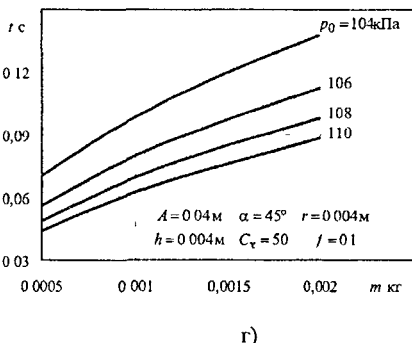
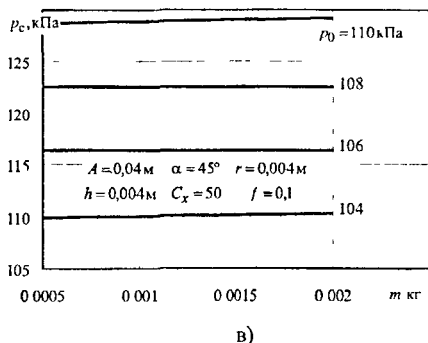
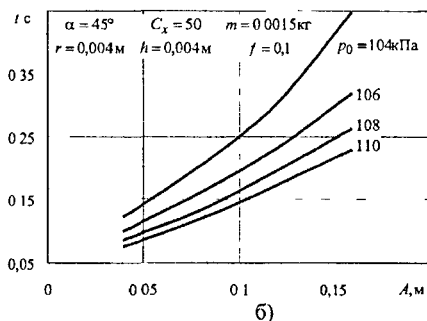
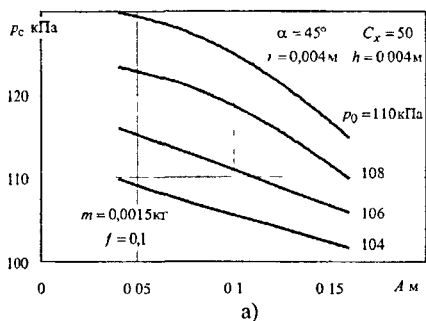


Рис 3 Результаты моделирования процесса сортировки в ССУ с боковыми сортировочными окнами

Уравнение (3), в зависимости от соотношения давлений питания транспортных и сортировочных сопел может иметь множество решений возможен недолет или перелет детали соответствующего сортировочного окна Для получения модели сортировки требуется введение дополнительного условия в виде близости скорости  $dx/dt \approx 0$  транспортирования детали в пределах допустимого ее смещения  $\Delta A$  в зоне сортировочного окна Результаты расчета времени  $t_c$  перемещения детали в зависимости от конструктивных и рабочих параметров ССУ (размеров и массы  $m$  детали, коэффициента  $f$  трения скольжения, расстояния  $A$  до сортировочного окна, величин давлений  $p_0$  и  $p_c$ ), выполненные численным методом в среде «Maple 10» приведены на рис 3 Установлено, что наибольшее влияние на время  $t_c$  оказывают масса  $m$  детали и величина  $A$  транспортного перемещения (рис 3, б, г) На величину давления  $p_c$  питания сортировочного сопла влияет величина  $A$  транспортного перемещения и несущественно сказывается изменение массы  $m$  детали (рис 3, а, в)

По аналогии с приведенным выше механизмом воздействия струй на сортируемую деталь, описывается динамика поведения пластин при удержании от разворота (рис 4, а) и направлении (рис 4, б) их в сортировочные окна и для ступенчатых деталей (рис 4, в), при их направлении в сортировочные окна

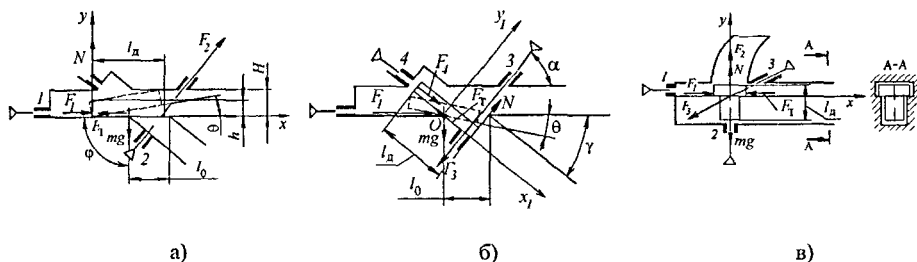


Рис 4 Расчетные схемы силового воздействия струй для пластин и ступенчатых деталей

Величина усилия  $F_2$  давления струи, истекающей из поддерживающего сопла 2, необходимого для удержания детали от разворота в сортировочное окно (рис 4, а) определяется следующим выражением

$$F_2 \geq \frac{mg(l_0 - l_D/2)}{l_0 \sin \varphi}, \quad (5)$$

где  $l_D$  - длина детали,  $l_0$  - длина сортировочного окна,  $\varphi$  - угол наклона поддерживающего сопла С учетом выражения (1) для силы динамического давления струи и (4) скорости истечения воздуха из сопла определяется необходимое давление  $p_{II}$  питания поддерживающего сопла

Уравнение углового перемещения детали, при ее развороте в сортировочное окно, имеет вид

$$J\theta = F_4 \frac{h}{2} + \left( \frac{l_D \sin \alpha}{2} - \frac{h}{\cos \alpha} \right) F_3, \quad (6)$$

где  $J$  - момент инерции детали относительно точки поворота,  $\theta$  - угол поворота детали,  $\alpha$  - угол наклона сортировочного сопла,  $l_d$  - длина детали,  $h$  - высота детали,  $\gamma$  - угол наклона сортировочного лотка,  $F_3$  сила давления струи сортировочного сопла;  $F_4$  - сила давления струи направляющего сопла

Силы  $F_3$  и  $F_4$  определяются в соответствие с (1) с учетом работы на начальном участке струи. Решение уравнения позволяет определить время  $t_p$  разворота детали с учетом конечного значения угла  $\theta = \gamma$

На втором этапе происходит перемещение детали по сортировочному лотку под действием силы  $F_4$  давления струи, истекающей из направляющего сопла, силы трения  $fN$  детали о поверхность лотка, составляющей веса детали  $mg \sin \gamma$

$$m\ddot{x}_1 = F_4 + mg \sin \alpha - fN, \quad (7)$$

где  $N$  - реакция опоры определяется из уравнения  $N = F_3 + mg \cos \gamma$

Решение уравнения (7) при заданном значении  $x_{1к}$  позволяет определить время  $t'_c$  направления детали в сортировочный лоток

Для случая ступенчатой детали (рис 4, в) остановка в районе сортировочного окна осуществляется аналогично случаю сортировки с боковыми окнами, а удаление детали - согласно уравнению  $m d^2 y / dt^2 = F_2 - mg$ , где  $F_2$  - усилие воздействия струи воздуха сопла 2

Полученные выше данные позволяют определить среднюю производительность  $\Pi$  процесса сортировки в зависимости от математического ожидания  $E_\xi$  и стандартного отклонения  $\sigma_\xi$  распределения параметра  $\xi$  сортировки, числа  $n$  групп сортировки, объема  $m_{\Pi}$  партии деталей, для различных рабочих и конструктивных характеристик ССУ. При известном объеме  $m_{\Pi}$  партии сортируемых деталей количество  $z_i$  деталей, попадающих в  $i$ -тую сортировочную

группу, определяется как  $z_i = m_{\Pi} \int_b^c f(\xi) d\xi$ ,

$$\text{где } b = E_\xi - 3\sigma_\xi + W(i-1), \quad c = E_\xi - 3\sigma_\xi + Wi, \quad W = 6\sigma_\xi / n$$

Предложено рациональное расположение сортировочных окон в ССУ, при котором окна для деталей с более вероятным значением параметра  $\xi$ , располагают ближе к исходному положению деталей. Тогда (рис 5) порядковые номера сортировочных групп пересчитываются на  $j$ -тые

При известной величине времени  $t_j$  поступления одной детали в соответствующий сортировочный лоток  $j$ , в зависимости от расстояния  $l_j$  до этого лотка, с учетом предложенной выше модели движения, можно определить суммарное время  $T_j$  поступления  $z_i$  деталей в  $j$  сортировочный лоток  $T_j = z_i t_j$

Общее время  $T$  сортировки партии из  $m_{\Pi}$  деталей по  $n$  группам составит  $T = \sum_{j=1}^n T_j$ , а средняя производительность сортировки  $\Pi = m_{\Pi} / T$

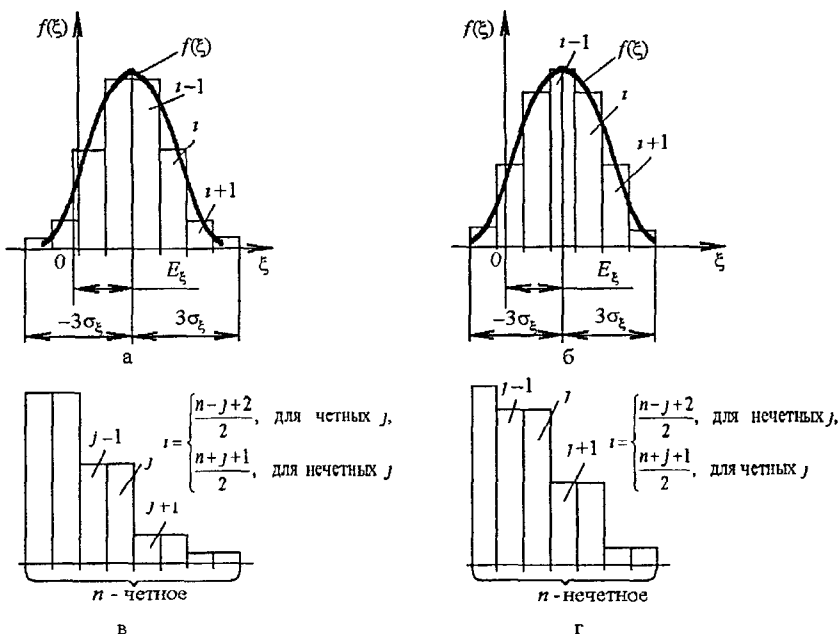


Рис 5 Рациональное расположение сортировочных окон

В результате численного решения данных моделей установлено, что при рациональном размещении сортировочных окон средняя производительность  $\Pi$  многодиапазонной сортировки ( $n=10$ ) возрастает в 1,57 раза

В третьей главе приведены методики и результаты экспериментальной проверки достоверности теоретических положений

На специально разработанном и изготовленном макете струйного сортировочного устройства экспериментально определены законы распределения полного давления в канале в зависимости от расстояния  $x$  до транспортного сопла, установлен характер распределения давления между транспортным каналом и сортировочным лотком струи воздуха, истекающей из наклонного сортировочного сопла. Сделан вывод о недостаточной эффективности сортировочных сопел с углами  $\alpha$  наклона больше  $45^\circ$

Для оценки влияния на величину времени  $t_c$  достижения детали сортировочного окна величины коэффициента  $f$  трения, массы  $m_d$  для различных уровней давлений  $p_0$ ,  $p_c$  питания транспортных и сортировочных сопел фиксировались цифровые хронофотографии движения детали при импульсном ее освещении лампой строботометра с частотой  $\nu = 50 - 100$  Гц

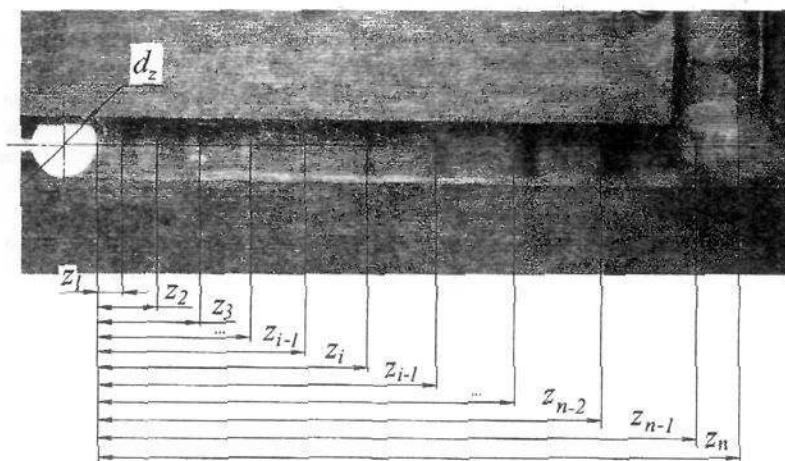


Рис. 6. Хронофотография движения сортируемой детали

В качестве образцов сортируемых деталей использовались диски диаметром  $d = 0,008$  м, высотой  $h = 0,004$  м, изготовленные из алюминия, латуни, органического стекла и стали. Полученные цифровые хронофотографии в редакторе «Paint» (рис. 6) обрабатывались для получения дискретных значений координат  $z_i$  в пикселях, с последующим пересчетом в линейные размеры по зависимости  $x_i = dz_i/d_z$ . При сравнении теоретических и экспериментальных законов движения детали по времени достижения сортировочного окна (рис. 7), разность между ними с доверительной вероятностью 0,95 составила  $|t_c^2 - t_c^T| < 0,005$  с.



Рис. 7. Законы движения сортируемых деталей: а – латунь; б – сталь

Методами имитационного моделирования установлено, что теоретические значения производительности струйной сортировки при рациональном расположении сортировочных окон отличаются от экспериментальных с ошибкой не превышающей 5%.

Результаты экспериментальных исследований подтверждают правомочность использования теоретических расчетов при проектировании предлагаемых ССУ повышенной производительности

**В четвертой главе** на основе подтверждения теоретических положений предложены конструкции струйного устройства контроля и сортировки деталей, устройства контроля и многодиапазонной сортировки деталей с программируемой системой управления, описаны принципы их работы и дана методика расчета, позволяющая осуществлять выбор схемы сортировки и определять основные конструктивные и рабочие параметры в зависимости от геометрических, физических параметров сортируемых деталей и задач сортировки

Разработаны также конструкции устройства для контроля и сортировки сопел, устройства для сортировки плоских деталей, устройства для контроля и многодиапазонной сортировки плоских деталей, позволяющие оперативно изменять размеры транспортных логков и быстро перенастраивать измерительные устройства на заданные режимы контроля и сортировки.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1 Анализ литературных источников показал, что при автоматической сортировке малогабаритных деталей перспективно применение струйной техники для их транспортирования и распределения по группам, ввиду отсутствия холостых ходов, высокого быстродействия, долговечности, простоты обслуживания, возможности бесконтактного воздействия на объекты. Отсутствие исследований динамики перемещения и распределения деталей под действием струй сжатого воздуха, а также оценки производительности подобных средств сортировки, делает актуальным проведение таких исследований

2 Предложен принцип повышения производительности струйной сортировки малогабаритных деталей за счет организации одновременного воздействия на них нескольких разнонаправленных струи сжатого воздуха, на основе которого разработаны схемы струйной сортировки с распределением деталей через боковые, нижние, верхние сортировочные окна транспортного канала

3 Разработаны модели управления перемещением деталей различного конструктивного исполнения в сортировочные окна линейного транспортного канала закрытого типа под действием струй сжатого воздуха, устанавливающие взаимосвязь между временем сортировки, конструктивными и рабочими параметрами струйных сортировочных устройств, физико-механическими свойствами сортируемых деталей, количеством групп сортировки

4 Для ССУ, реализованных по схемам распределения деталей через нижние и верхние сортировочные окна транспортного канала установлены уровни давлений питания транспортного, сортировочного, поддерживающего и направляющего сопел, рассчитано время транспортного перемещения, разворота и направления детали в сортировочный лоток

5 Расчетами по моделям установлено, что увеличение давления питания транспортного сопла с 104 до 110 кПа позволяет уменьшить время сортировки на базовом расстоянии 0,04 м в 1,6 раза, с 0,136 с до 0,087 с для деталей массой 0,002 кг и с 0,099 с до 0,061 с для деталей массой 0,001 кг. Уменьшение угла наклона сортировочного сопла с  $60^\circ$  до  $30^\circ$  обеспечивает постоянство времени сортировки при снижении давления питания сортировочного сопла со 156 кПа до 120 кПа

6 Предложено рациональное расположение сортировочных окон в ССУ с линейным транспортным каналом, при котором сортировочные окна для деталей с более вероятным значением параметра сортировки, располагают ближе к начальному положению деталей в транспортном канале, что позволяет повысить производительность на 20 – 60% для различного числа групп сортировки, причем этот эффект возрастает с увеличением числа групп

7 Экспериментально методом хронофотографии определено, что максимальная разность между экспериментальными и расчетными законами перемещения сортируемых деталей в транспортном канале, не превышает 8% Методом статистического моделирования подтверждена возможность увеличения производительности сортировки за счет рационального расположения сортировочных окон Это позволяет использовать теоретические положения для проектирования струйных сортировочных устройств

8 Разработаны новые струйные средства сортировки малогабаритных деталей, обеспечивающие повышение производительности сортировки Опытно-промышленный образец устройства контроля и сортировки пьезокерамических деталей по высоте, реализующий схему ССУ с распределением потока деталей через боковые сортировочные окна транспортного канала (патент РФ № 1443977) внедрен в производство Для малогабаритных деталей различного конструктивного исполнения, в соответствии с предложенными схемами, разработаны оригинальные устройства контроля и струйной сортировки, обладающие повышенными быстродействием и функциональной надежностью, и защищенные патентами РФ № 1498562, № 1623799, № 2060841, № 2077962

9. Предложена инженерная методика проектирования типовых струйных сортировочных устройств повышенной производительности, обеспечивающая расчет и выбор основных конструктивных и рабочих параметров в зависимости от свойств деталей и задач сортировки

10 Результаты работы внедрены на ООО «Аврора», г Волгоград с суммарным годовым экономическим эффектом 65870 руб

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:**

1 Патент РФ № 1443977, МКИ 7 В 07 С 5/06 Устройство для контроля и сортировки деталей / Сутин А И, Харьков О С, Чистов А Г Опул в БИ №46, 15 12 1988

2 Патент РФ № 1498562, МКИ В 07 С 5/08 Устройство для сортировки деталей / Сутин А И, Харьков О С Опул в БИ №29, 07 08 1989

3 Патент РФ № 1623799, МКИ В 07 С 5/06 Устройство для контроля и сортировки согл / Сутин А И, Харьков О С // Опул Б И №4, 1991

4 Струйные сортировочные устройства // Пневмоавтоматика Тез докл Всерос совещания 8 – 9 октября Москва, 1996 М ИПУ РАН, 1996 С 25

5 Патент РФ № 2060841 МКИ 6 В 07 С 5/06 Устройство для сортировки плоских деталей / Сутин А И, Харьков О С, Гуляев С А // Опул Б И № 15, 1996

6 Харьков О С Струйные контрольно-сортировочные устройства // Автоматизация технологических процессов в машиностроении Межвуз сб. науч тр Волгоград ВолгГТУ, 1997 – С 77 – 83

15  
7 Патент РФ № 2077962, МКИ 6 В 07 С 5/06 Устройство для контроля и многодиапазонной сортировки плоских деталей / Сутин А И, Харьков О С // Опубл Б И № 12, 1997

8 Харьков О С Струйные сортировочные устройства контрольных автоматов // Приборы и системы управления – 1998, № 6 – С 47 – 48

9 Харьков О С Струйные сортировочные устройства // Прогрессивные технологии и средства автоматизации в промышленности Материалы научн техн конф 11 – 14 09 99 Волгоград РПК «Политехник», 1999 – С 56 – 57

10 Бабушкин М Н, Кристаль М Г, Харьков О С О возможности применения общей теории управления в задачах автоматизации сборочных процессов // Сборка в машиностроении, приборостроении – 2001, № 9 – С 19 - 22

11 Кристаль М Г, Харьков О С Оптимизация работы струйных сортировочных устройств В сб Материалы научн -техн конф «Современные технологии в машиностроении и автомобилестроении» Ижевск, 19-20 декабря 2005 - С 83 - 85

12 Кристаль М Г, Харьков О С Струйное устройство сортировки плоских деталей / Известия Волгоградского гос техн университета, сер Автоматизация технологических процессов в машиностроении, вып 1 – 2006 – №5 – Волгоград, 2006 – С 77 – 83

13 Харьков О.С, Дроботов А В, Кристаль М Г Модель струйного сортировочного устройства// Известия ОрелГТУ серия Машиностроение Приборостроение 2006 г №3 (529), Т 2 - С 143-146

14 Харьков О С, Дроботов А В, Стегачев Е В, Кристаль М Г Динамика перемещения деталей в струйных сортировочных устройствах // Сборка в машиностроении, приборостроении – 2007, № 1 – С 17 - 19

Харькин Олег Сергеевич

Управление перемещением малогабаритных деталей при автоматизации многодиапазонной сортировки струйными устройствами

Подписано в печать 26 04 200 г Заказ № 379 Тираж 100 экз Печ  
л 1,0

Формат 60×84 1/16 Бумага офсетная Печать офсетная

Типография «Политехник»  
Волгоградского государственного технического университета  
400131, Волгоград, ул Советская, 35