ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ

ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

ЖУРНАЛ ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ УТВЕРЖДЕННЫХ ВАК РФ ИЗДАНИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИЙ ТРУДОВ СОИСКАТЕЛЕЙ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ

3 2010 **(116)**

СОДЕРЖАНИЕ

Технологическая оснастка для сборки

Житников Ю.З., Житников Б.Ю. Расчет параметров элементов схвата 3

Харькин О.С., Кристаль М.Г. Экспериментальные исследования струйных сортировочных устройств 10

Дроботов А.В., Кристаль М.Г. Особенности управления работой струйных поворотных устройств 13

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Михайловский И.А., Гун И.Г., Калмыков Ю.В., Сальников В.В., Пестерев Д.А. Совершенствование деформирующего инструмента и исходного контура детали с целью повышения качества соединения, получаемого при сборке запрессовкой шаровых шарниров автомобилей 17

Маслов А.Р. Влияние вида сборки инструмента на качество обработанных поверхностей 20

Толоконников С.В. Повышение эффективности сборки на основе визуализации процессов гидромониторных систем 23

Современные технологии сборки

Журавлев А.Н., Рыльцев И.К. Методика многопараметрической селекции структурно упорядоченной сборки буровых долот 31

Ряховский О.А., Иванов В.А. Сборка привода электромеханического клинового тормоза 40

Подготовка специалистов

Григорьев С.Н. 80 лет МГТУ "Станкин": инновации в образовании и науке . . . 44

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индексы по каталогу “Роспечать” – **79748**, Объединенному каталогу “Пресса России” – **84967**, каталогу "Почта России" – **60257**) или непосредственно в издательстве
Тел.: (499) 268-38-42; тел./факс: 268-85-26. Факс: (499) 269-48-97.
E-mail: sborka@mashin.ru; tsmm@mashin.ru
Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Сборка в машиностроении, приборостроении", допускаются только с разрешения редакции и со ссылкой на источник информации.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

Председатель редакционного совета
Ф.М. МИТЕНКОВ, *академик РАН*

Редакционный совет

МОСКВА
А.С. ВАСИЛЬЕВ (главный редактор)
А.А. ГУСЕВ
М.В. ВАРТАНОВ
А.М. ДАЛЬСКИЙ
И.Н. ЖЕСТКОВА (зам. главного редактора)
И.Н. ЗИНИНА
Ю.Л. ИВАНОВ
Ю.Г. КОЗЫРЕВ
А.И. КУМЕНКО
А.В. МЕДАРЬ
Е.А. МИКРИН
Ю.Ф. НАЗАРОВ
В.В. ПОРОШИН
Б.В. ШАНДРОВ
А.А. ШАТИЛОВ
А.Г. ХОЛОДКОВА
Г.А. ЯРКОВ

Региональные редсоветы

БЕЛГОРОД
Н.А. ПЕЛИПЕНКО
БРЯНСК
О.А. ГОРЛЕНКО
ВЛАДИВОСТОК
Ю.Н. КУЛЬЧИН
А.А. СУПОНЯ
В.М. КОРНИЕНКО
ВОЛГОГРАД
В.Г. КАРАБАНЬ
М.Г. КРИСТАЛЬ
В.И. ЛЫСАК
В.М. ТРУХАНОВ
ИЖЕВСК
И.В. АБРАМОВ
Б.А. ЯКИМОВИЧ
В.Г. ОСЕТРОВ
И.К. ПИЧУГИН
КАЗАНЬ
Р.И. АДГАМОВ
КОВРОВ
Ю.З. ЖИТНИКОВ
КОЛОМНА
Ю.Д. АМИРОВ
КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ
Б.Н. МАРЬИН
В.И. ШПОРТ
А.М. ШПИЛЕВ
НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ
С.В. ДМИТРИЕВ
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ
НИЖНИЙ НОВГОРОД
С.В. ГОЛУБЕВ
ОМСК
В.Н. КОСТЮКОВ
ОРЕЛ
Ю.С. СТЕПАНОВ
Г.А. ХАРЛАМОВ
ОРЕНБУРГ
А.Н. ПОЛЯКОВ
А.И. СЕРДЮК
А.П. ФОТ
РЫБИНСК
В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ
В.В. НЕПОМИЛУЕВ
А.Н. СЕМЕНОВ
САМАРА
М.А. ЕВДОКИМОВ
Ю.А. ВАШУКОВ
Г.А. КУЛАКОВ
В.А. НИКОЛАЕВ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
В.Ф. КУЗЬМИН
Е.В. ШАЛОБАЕВ
ТОЛЬЯТТИ
А.И. РЫЖКОВ
Б.Ф. ХАЗОВ
ТУЛА
В.В. ПРЕЙС
ХАБАРОВСК
В.А. ЛАШКО

Украина
КИЕВ
А.С. ЗЕНКИН
В.А. МАТВИЕНКО
ДОНЕЦК
А.Н. МИХАЙЛОВ
СЕВАСТОПОЛЬ
Е.Л. ПЕРВУХИНА

Беларусь
МИНСК
В.Л. БАСИНЮК
ГОМЕЛЬ
В.Е. СТАРЖИНСКИЙ
ПОЛОЦК
М.Л. ХЕЙФЕЦ

Ответственные за подготовку и выпуск номера:
Н.М. КУЩ-ЖАРКО, Л.Д. ПАРШЕНКОВА

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-1747 от 25 февраля 2000 г.

© Издательство “Машиностроение”, “Сборка в машиностроении, приборостроении”, 2010

THE MONTHLY NEWSMAGAZINE FOR SCIENTISTS AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

THE MAGAZINE IS PUBLISHED UNDER THE PATRONAGE OF INTERNATIONAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERS

THE JOURNAL IS AMONG THOSE APPROVED BY AAC RF FOR DISSERTATION PUBLICATION

3 2010 (116)

CONTENTS

Technological equipment for assembly

Zhitnikov Y.Z., Zhitnikov B.Y. Calculation of parameters of the grab elements 3

Kharkin O.S., Kristal M.G. Experimental researches of jet sorting devices 10

Drobotov A.V., Kristal M.G. Jet rotate table management features 13

Quality assurance. Testing. Monitoring

Mikhailovsky I.A., Goun I.G., Kalmykov Yu.V., Salnikov V.V., Pesterev D.A. The perfection of deforming tool and workpiece source contour with the purpose of vehicles ball joint assembling improving 17

Maslov A.R. Influence the type of assembly tool on the quality of treated surfaces 20

Tolokonnikov S.V. Performance assembly increasing based on the rendering of water jet systems processes 23

Modern technologies in assembly

Zhuravlev A.N., Ryltsev I.K. The method of multiparameter selection of structurally ordered assembly of the rock bits 31

Ryakhovsky O.A., Ivanov V.A. Assembly features of the electromechanic wedge brake 40

Preparation of experts

Grigorjev S.N. 80 years of MGTU “Stankin”: innovationn in eduqation and sience . . 44

Journal is distributed on subscription, which can be issued in any post office (index on the catalogue of the "Rospechat" agency **79748**, the union catalogue "Pressa Rossii" **84967**, the catalogue "Pochta Rossii" **60257**) or directly in editorial of the journal.
Ph.: (499) 268-38-42; ph./fax: 268-85-26. Fax: (499) 269-48-97.
http://www.mashin.ru E-mail: sborka@mashin.ru; tsmm@mashin.ru
Labor Red Banner Order Public Corporation "Publishing House "Mashine Building"
107076, Moscow, Stromynsky per. 4
The reference to the Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making Journal during reprint of the materials is mandatory.
Advertisers are responsible for the content of their advertisements.

Chair of Editorial Advisory Board –
Member of Russian Academy of Science
F.M. MITENKOV

Editors

MOSCOW
VASIL'EV A.S. (Chief editor)
VARTANOV M.V.
DALSKY A.M.
GUSEV A.A.
ZHESTKOVA I.N. (Deputy chief editor)
ZININA I.N.
IVANOV YU.L.
KOZYREV YU.G.
KUMENKO A.I.
MEDAR' A.V.
MIKRIN E.A.
NAZAROV Yu.F.
POROSHIN V.V.
SHANDROV B.V.
SHATILOV A.A.
KHOLODKOVA A.G.
YARKOV G.A.

Regional editors

BELGOROD
PELIPENKO N.A.
BRIANSK
GORLENKO O.A.
VLADIVOSTOK
KULSHIN Yu.N.
SUPONIA A.A.
KORNIENKO V.M.
VOLGOGRAD
KRISTAL M.G.
KARABAN' V.G.
LYSAK V.I.
TRUKHANOV V.M.
IZHEVSK
ABRAMOV I.V.
YAKIMOVICH B.A.
OSETROV V.G.
PITCHUGIN I.K.
KAZAN
ADGAMOV R.I.
KOVROV
ZHITNIKOV Yu.Z.
KOLOMNA
AMIROV Yu.D.
KOMSOMOLSK-ON-AMUR
MARJIN B.N.
SCHPORT V.I.
SHPILEV A.M.
NABEREZHNYE CHELNY
DMITRIEV S.V.
KHISAMUTDINOV R.M.
NIZHNY NOVGOROD
GOLUBEV S.V.
OMSK
KOSTIUKOV V.N.
OREL
STEPANOV Yu.S.
KHARLAMOV G.A.
ORENBURG
POLYAKOV A.N.
SERDUK A.I.
FOT A.P.
RYBINSK
BEZIAZYSHNY V.F.
NEPOMILUEV V.V.
SEMENOV A.N.
SAMARA
EVDOKIMOV M.A.
VASHUKOV Yu.A.
KULAKOV G.A.
NIKOLAEV V.A.
ST.-PETERSBURG
KUZMIN V.F.
SHALOBAEV E.V.
TULA
PREYS V.V.
TOLIATI
KHAZOV B.F.
RYZHKOV A.I.
KHABAROVSK
LASHKO V.A.

Ukraine
KIEV
ZENKIN A.S.
MATVIENKO V.A.
DONETSK
MIKHAILOV A.N.
SEVASTOPOL
PERVUKHINA E.L.

Belarus
MINSK
BASINJUK V.L.
GOMEL
STARZHINSKI V.E.
POLOTSK
KHEIFETZ M.L.

Executive editors of current issue:
KUSH-ZHARKO N.M., PARSHENKOVA L.D.

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-and Broadcasting and Mass Communications Media.
Registration certificate ПИ № 77-1747, February 25, 2000 Free price

© "Mashinostroenie Publishers", "Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making", 2010

УДК 621.865

Ю.З. Житников, *д-р техн. наук, профессор ("КГТА им. В.А. Дегтярева", г. Ковров),*
Б.Ю. Житников, *д-р техн. наук (ВЮИ, г. Владимир)*
E-mail: kgta_tms@mail.ru

Расчет параметров элементов схвата

При заданных движениях робота-манипулятора и режимах его работы найдена необходимая сила надежного закрепления заготовки и геометрические параметры элементов схвата.

Find necessary force of the reliable fixing blank and geometrical parameters of the grab element then movement of the robot-manipulator and conditions of his working are adjust.

Ключевые слова: *схват, робот, манипулятор, пневмоцилиндр, механизм, сила закрепления.*

Key words: *grab, robot, manipulator, air cylinder, mechanism, force of fixing.*

Цель работы – рассчитать схват робота-манипулятора, выполняющего функции подачи заготовки в зону сборки. Параметры заготовки, робота-манипулятора и режимы его движения приведены в таблице.

Параметры	Значения
Диаметр заготовки $d_з$, мм	60
Предельная масса заготовки, кг	1,5
Расстояние R от оси стойки до центра масс заготовки в схвате робота-манипулятора, мм	1000
Скорость v_0 поступательного движения руки со схватом робота-манипулятора, м/с	0,1
Перемещение S заготовки в схвате при торможении руки в процессе поступательного движения центра масс, мм	2,5
Угловая скорость ω_0 вращения руки со схватом, град/с	30
Перемещение центра масс заготовки в схвате при торможении в процессе вращения руки вокруг оси стойки, мм	3,5

Кинематическая схема робота-манипулятора изображена на рис. 1, его схвата – на рис. 2.

Схват имеет пневмоцилиндр *2* с поршнем *1* и штоком *3*, который перемещается в направляющей *4*. На конце штока жестко закреплен стержень *7*, взаимодействующий с винтовыми пазами цилиндрической втулки *6*. Концы стержня перемещаются в направляющих *5*, исключая поворот штока *3*. Цилиндр с винтовы-

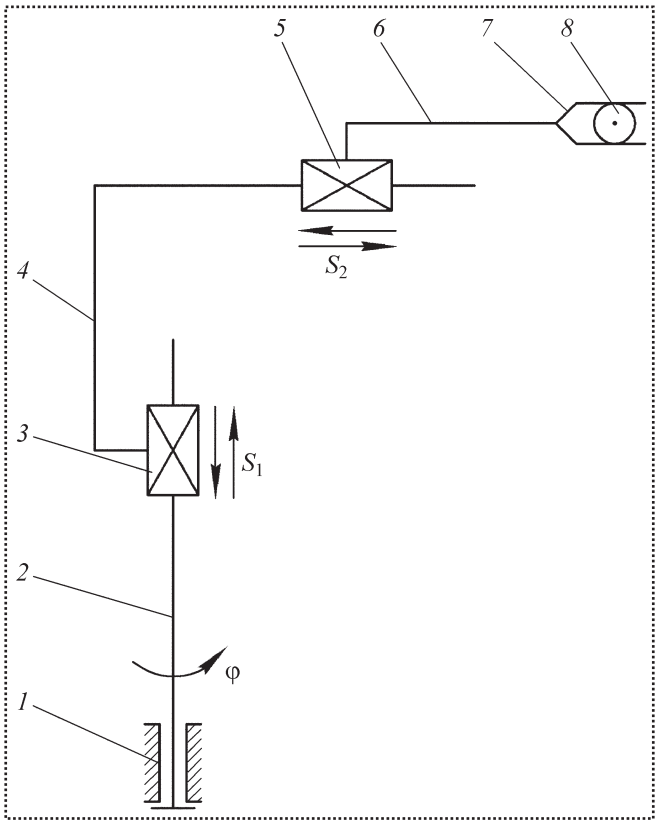


Рис. 1. Кинематическая схема робота-манипулятора:
1 – цилиндрический шарнир для поворота робота-манипулятора вокруг оси стойки *2*;
3 – направляющая для вертикального перемещения корпуса *4* вдоль оси стойки;
5 – направляющая для поступательного перемещения руки *6* со схватом *7* и заготовкой *8*

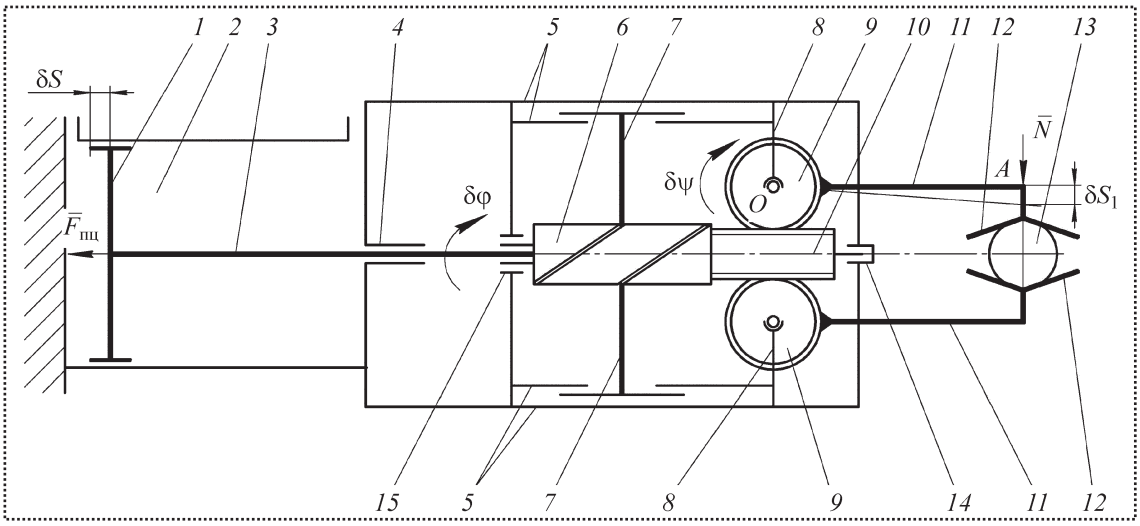


Рис. 2. Кинематическая схема схвата робота-манипулятора

ми пазами жестко связан с червяком *10* и вместе с ним может поворачиваться вокруг своей оси в цилиндрических опорах *15* и *14*. При перемещении штока *3* влево, за счет взаимодействия стержня с винтовыми пазами цилиндра *6*, он вместе с червяком *10* поворачивается, что приводит к повороту червячных колес *9*, вращающихся в цилиндрических подшипниках стойки *8*. К колесам жестко закреплены рычаги *11* с губками *12*. Губки зажимают заготовку *13*.

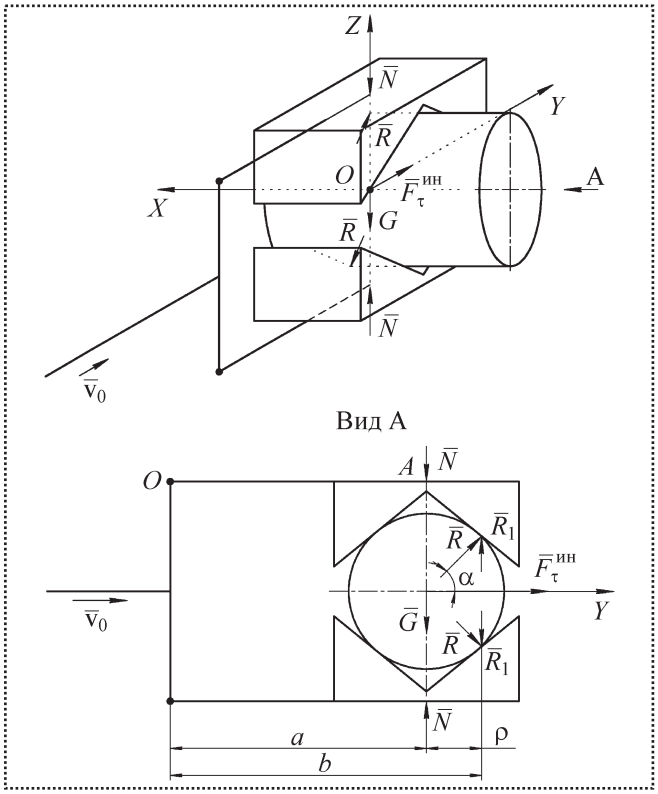


Рис. 3. Схема силового взаимодействия схвата и заготовки при поступательном движении руки

Пусть при подаче заготовки рука со схватом последовательно совершает поступательное движение, а затем вращательное в горизонтальной плоскости вокруг оси стойки *2* (см. рис. 1).

Найдем параметры элементов схвата робота-манипулятора.

Рассмотрим поступательное движение руки робота-манипулятора со схватом в горизонтальной плоскости.

Схема силового взаимодействия схвата с заготовкой в процессе равномерного поступательного движения и торможения с учетом использования призматических губок представлена на рис. 3.

Необходимое условие надежного закрепления заготовки в схвате по оси *Z*:

$$N > G, \qquad (1)$$

где N в Н.

С учетом, что k = 1,25, и данных таблицы окончательно получим

$$N = kG = 18{,}75. \qquad (2)$$

В процессе торможения руки со схватом необходимое условие закрепления заготовки в

проекции на ось Y с учетом не раскрытия губок в процессе движения, которое обеспечивается при условии, если момент силы закрепления относительно оси вращения рычага с губкой (точка O на рис. 2) больше, чем момент от веса заготовки и составляющей силы инерции от тангенциального ускорения относительно этой же оси:

$$Na > Ga + R_1 b, \qquad (3)$$

где a и b – размеры от оси поворота губок (точка O) до точек приложения сил (рис. 4);

$$R_1 = F_\tau^{ин} \cos\alpha \sin\alpha. \qquad (4)$$

Найдем из рис. 4 размер b:

$$b = a + \rho = a + \frac{d_з}{2}\cos\alpha. \qquad (5)$$

Необходимая сила закрепления N (в Н) заготовки с учетом данных таблицы при условии, что a = 80 мм, α = 45°, запишется:

$$N = \frac{k}{a}\left[Ga + \frac{G}{g}\frac{v_0^2\left(a + \frac{d_з}{2}\cos\alpha\right)}{4Sa}\cos\alpha\sin\alpha\right] = \qquad (6)$$

$$= 33{,}87.$$

Рассмотрим случай вращательного движения руки робота-манипулятора со схватом вокруг оси стойки *2* (см. рис. 1).

Расчетная схема силового взаимодействия схвата и заготовки в процессе равномерного вращения и торможения в горизонтальной плоскости с учетом захвата заготовки призматическими губками представлена на рис. 4.

Для равномерного вращения руки со схватом справедливо условие надежного закрепления заготовки в проекции на ось Z (1) или окончательно (2).

Условие надежного закрепления заготовки по оси Y с учетом призматических губок обеспечивается, если момент от силы закрепления относительно оси поворота губок (см. рис. 4)

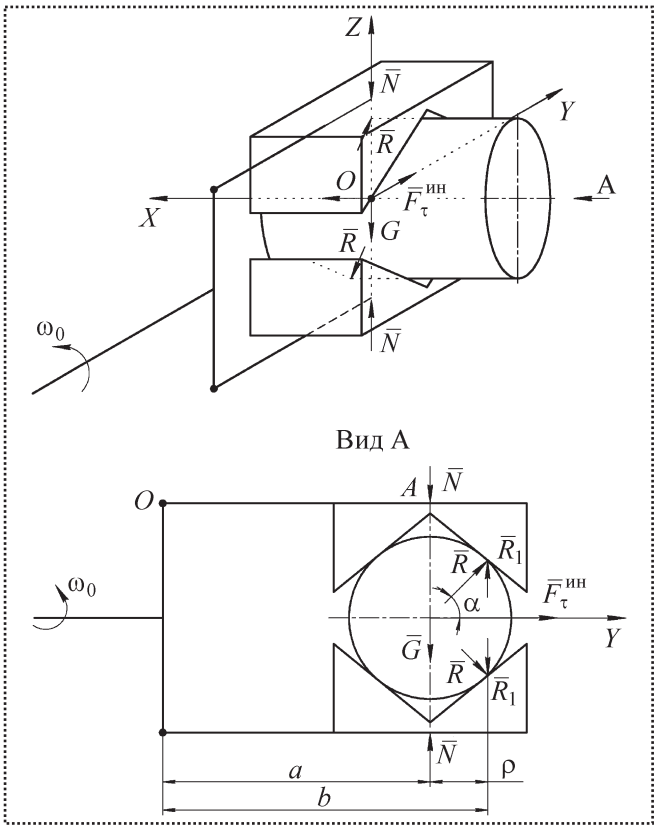


Рис. 4. Схема силового взаимодействия схвата и заготовки при вращательном движении руки вокруг оси стойки робота

больше, чем сумма моментов от веса заготовки и составляющей силы инерции от центробежного ускорения относительно этой же оси:

$$Na > Ga + R_1 b, \qquad (7)$$

где

$$R_1 = F_n^{ин} \cos\alpha \sin\alpha =$$
$$= mW_n \cos\alpha \sin\alpha = \frac{G}{g}\omega_0^2 R \cos\alpha \sin\alpha,$$

где R – расстояние от оси стойки робота-манипулятора (см. рис. 1) до центра масс заготовки.

Окончательно, необходимая сила (в Н) надежного закрепления заготовки:

$$N = \frac{k}{a}\left[Ga + \frac{G}{g}\omega_0^2 R\left(a + \frac{d_з}{2}\cos\alpha\right)\cos\alpha\sin\alpha\right] = 51{,}9. \qquad (8)$$

В процессе равнозамедленного торможения руки робота-манипулятора со схватом условие надежного закрепления заготовки в проекции на ось X запишется:

$$F_{тр} > F_{\tau}^{ин}, \qquad (9)$$

где

$$F_{\tau}^{ин} = mW_{\tau} = \frac{G}{g}\frac{\omega_0^2}{2\varphi}; \; F_{тр} = Nf;$$

φ – угол торможения при остановке руки;

f – коэффициент трения между губками схвата и заготовкой ($f = 0{,}4$).

Окончательно необходимая сила (в Н) надежного закрепления заготовки:

$$N = k\frac{G}{g}\frac{\omega_0^2}{2\varphi} = 187{,}2. \qquad (10)$$

Для дальнейших расчетов выбираем большую из расчетных значений силу закрепления $N = 187{,}2$ Н.

Сила закрепления является исходным значением для определения параметров пневмоцилиндра.

Воспользуемся принципом возможных перемещений [2]:

$$\sum \delta A_j^l = 0. \qquad (11)$$

Дадим возможное перемещение элементам схвата – δS, $\delta\varphi$, $\delta\psi$, δS_1 (рис. 2) и приложим внешние силы. Силами веса элементов схвата из-за их малости пренебрегаем.

Внешними силами являются: $F_{пц}$ – сила, развиваемая поршнем под действием давления сжатого воздуха (сила пневмоцилиндра); N – сила закрепления заготовки.

Найдем сумму элементарных работ внешних сил:

$$F_{пц}\delta S + N\delta S_1 = 0. \qquad (12)$$

Выразим одно перемещение δS через другое – δS_1.

При перемещении штока и взаимодействии стержня *7* с винтовыми пазами цилиндрической втулки *6* она поворачивается вокруг своей оси.

При перемещении стержня на шаг p винтового паза втулка повернется на один оборот. Составим пропорцию

$$p \; - \; 2\pi$$
$$\delta S \; - \; \delta\varphi.$$

Отсюда

$$\delta\varphi = \frac{2\pi\delta S}{p}. \qquad (13)$$

Учитывая, что червяк *10* (см. рис. 2) жестко скреплен с цилиндрической втулкой *6*, он также повернется на угол $\delta\varphi$.

При однозаходной червячной передаче при повороте червяка на один оборот червячное колесо повернется на один зуб.

Составим пропорцию

$$2\pi \; - \; 1 \text{ зуб}$$
$$\delta\varphi \; - \; \delta\psi.$$

Одному зубу колеса соответствует угол поворота

$$\psi = \frac{2\pi}{z}, \qquad (14)$$

где z – число зубьев колеса.

Тогда

$$\delta\psi = \frac{2\pi\delta\varphi}{2\pi z} = \frac{\delta\varphi}{z}. \qquad (15)$$

Подставим в последнее выражение (15) $\delta\varphi$ из (13) и окончательно получим

$$\delta\psi = \frac{2\pi\delta S}{pz}. \qquad (16)$$

Найдем перемещение губок δS_1, которое равно длине дуги движения точки A (см. рис. 2). С учетом выражения (16) получим

$$\delta S_1 = \delta\psi \cdot OA = \frac{2\pi\delta S}{pz} OA. \qquad (17)$$

Сила пневмоцилиндра равна:

$$F_{пц} = [P]\frac{\pi(D_п^2 - d_ш^2)}{4}, \qquad (18)$$

где $[P]$ – давление сжатого воздуха в магистрали;

$D_п$ – диаметр поршня (внутренний диаметр цилиндра);

$d_ш$ – диаметр штока.

Подставим в выражение элементарных работ (12) найденные значения $F_{пц}$ (18); δS_1 (17) с учетом наибольшего значения силы закрепления N = 187,2 Н получим

$$[P]\frac{\pi(D_п^2 - d_ш^2)}{4}\delta S + 187{,}2\frac{2\pi\delta S}{pz} OA = 0. \qquad (19)$$

Сократим на δS и, учитывая что в выражении два неизвестных – $D_п$ и $d_ш$, предварительно задаемся диаметром штока.

Начальное значение диаметра штока выбираем минимальным – $d_ш$ = 6 мм.

Диаметр пневмоцилиндра (поршня) из выражения (19) запишется:

$$D_п = \sqrt{\frac{187{,}2 \cdot 4 \cdot 2\pi \cdot OA}{\pi[P]pz} - d_ш^2}.$$

В зависимости от функций, выполняемых роботом-манипулятором, давление сжатого воздуха, подаваемого для управления, может изменяться в диапазоне $(0{,}2...0{,}5)\cdot 10^5$ Па.

Пусть управляющее давление сжатого воздуха равно $0{,}2\cdot 10^5$ Па. Согласно рекомендациям [3] выбираем число зубьев червячного колеса z = 30, внутренний диаметр втулки *6* (рис. 2) d = 20 мм, наклон винтовой линии паза $\alpha = 25°$. Найдем шаг p (в мм) винтовой линии цилиндра *6*:

$$p = \pi d_2 \cos 25° = 56{,}9,$$

где d_2 – средний диаметр резьбы.

Минимальный диаметр внутренней полости пневмоцилиндра при условии, что диаметр штока $d_ш$ = 15 мм:

$$D_п = \sqrt{\frac{187{,}2 \cdot 8 \cdot 8}{0{,}2 \cdot 5{,}69 \cdot 30} - 1{,}5^2} = 57{,}3.$$

Согласно [1 том 3] выбираем ближайшее большее значение внутреннего диаметра пневмоцилиндра. Внутренний диаметр пневмоцилиндра $D_п$ = 63 мм, диаметр штока $d_ш$ = 16 мм.

Из выражения (19) найдем силу закрепления N (в Н), соответствующую выбранным параметрам пневмоцилиндра:

$$N = \frac{[P]\pi(D_п^2 - d_ш^2)pz}{4 \cdot 2\pi \cdot OA} = 198.$$

Полученное значение силы закрепления больше расчетного, следовательно, выполняется условие надежного закрепления заготовки:

$$198 > 187{,}2.$$

Найдем геометрические параметры элементов схвата.

Предварительно определим силы, действующие на элементы схвата.

Рассмотрим объект равновесия – червячное колесо с рычагом, к которому крепятся губки (рис. 5). Проставим внешние силы и освободимся от связей. Как уже отмечалось, весом элементов схвата из-за их малости пренебрегаем.

Получим плоскую систему произвольно расположенных сил, для которой согласно [2] можно написать три системы из трех уравнений равновесия. Воспользуемся одной из них:

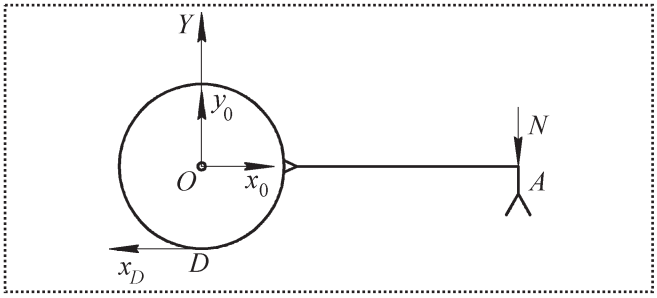


Рис. 5. Расчетная схема

$$\sum y_j = 0;\ y_0 - N = 0,\ \text{отсюда}\ y_0 = N = 198\ \text{Н};$$

$$\sum m_{j(0)} = 0 - N \cdot OA - x_д r_к = 0;\ x_д = \frac{N \cdot OA}{r_к};\quad (20)$$

$$\sum m_{j(д)} = 0 - N \cdot OA - x_0 r_к = 0;\ x_0 = \frac{N \cdot OA}{r_к}.$$

Неизвестным является радиус червячного колеса $r_к$.

Учитывая, что схват создает незначительную силу закрепления заготовки, возьмем минимальный модуль зацепления червячной передачи m_S = 2 мм [3].

Тогда для числа зубьев червячного колеса z = 30 найдем диаметр делительной окружности:

$$D_к = z m_S = 60\ \text{мм}.$$

Следовательно, радиус колеса $r_к = \frac{D_к}{2} = 30$ мм.

Найдем момент на оси колеса:

$$M_{чк} = x_д r_к = 15840\ (\text{Н}\cdot\text{мм}).$$

Проверим, соответствует ли выбранный модуль рассчитанному крутящему моменту на колесе:

$$m_s = \sqrt[3]{\frac{2 M_{чк} k_н}{y_к [G_{из}] \psi k_\varepsilon z_к}} = 1{,}4,$$

где $k_н$ = 1, 4 – коэффициент нагрузки;

$y_к$ = 0,377 – коэффициент формы зуба (для z = 30);

ψ – коэффициент длины зуба [ψ < 0,9(q + + 1,5) = 0,9(12 + 1,5) = 12,15];

k_ε – коэффициент перекрытия зацепления (k_ε = 1,6);

$z_к$ – число зубьев колеса;

[$G_{из}$] – предельное напряжение изгиба (для бронзы БрОФ 10-1 с литьем в кокиль 72 Н/мм^2).

Как видно из расчетов, выбранный модуль зацепления червячной передачи обеспечивает прочность зуба на изгиб.

Следовательно, из выражений (20)

$$x_д = x_0 = 330\ \text{Н}.$$

Согласно [3] диаметр делительной окружности червяка запишется:

$$D_ч = m_S q = 26.$$

Ширина червячного колеса:

$$b \le 0{,}75 D_ч = 19{,}5.$$

Выбираем b = 10 мм.

Найдем геометрические размеры сечения рычага, к которому крепится губка. Рычаг испытывает напряжение изгиба. Тогда согласно [4] имеем:

$$G_{из} = \frac{M_{из}}{W_{из}} \le [G_{из}],\quad (21)$$

где изгибающий момент (в Н·см)

$$M_{из} = N(OA - r_к) = 990;$$

$$W_{из} = \frac{bh^2}{6},$$

здесь b – ширина рычага, равная ширине червячного колеса;

h – толщина рычага;

[$G_{из}$] – допустимое напряжение на изгиб рычага (для стали 45 после закалки и низкого отпуска [$G_{из}$] = 220 Н/мм^2);

$$h \ge \sqrt{\frac{6 M_{из}}{b[G_{из}]}} = 3{,}72.$$

Округляем толщину рычага до стандартного размера:

$$h = 4\ \text{мм}.$$

Найдем геометрические размеры оси червячного колеса.

Диаметр оси находится исходя из напряжений на срез [4]:

$$\tau_{ср} = \frac{F_{ср}}{S_{ср}} \le [\tau_{ср}].\quad (22)$$

Ось изготовлена из стали 45 после закалки и отпуска. Предельное напряжение на срез выбираем из [2 том 1]: $[\tau_{ср}] = 180$ Н/мм^2;

$$F_{ср} = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} = 384{,}8;$$

$$S_{ср} = 2\frac{\pi d_0^2}{4}. \qquad (23)$$

С учетом выражения (23) найдем диаметр оси:

$$d_0 > \sqrt{\frac{2F_{ср}}{[\tau_{ср}]\pi}} = 1{,}16.$$

Округляем диаметр оси до стандартного значения $d_0 = 2$ мм.

Длина оси b, расположенная в подшипниках качения, находится из условия ее прочности на смятие [4]:

$$G_{см} = \frac{F_{см}}{S_{см}} \le [G_{см}]; \qquad (24)$$

$$F_{см} = F_{ср};\ S_{см} = 2d_0 b;$$

$$b = \frac{F_{см}}{2[G_{см}]d_0} = 0{,}15.$$

Как известно, для обеспечения надежного направления оси необходимо, чтобы b лежала в пределах $(1...2{,}5)d_0$.

Выбираем $b = 1{,}5d_0 = 3$ мм.

Диаметр стержня *6* определяется из условия прочности на изгиб [4]:

$$G_{из} = \frac{M_{из}}{W_{из}} \le [G_{из}]; \qquad (25)$$

$$M_{из} = \frac{F_{пц}}{2} l,$$

где l – плечо взаимодействия стержня *7* с втулкой *6* (см. рис. 2) $\left(l = \frac{d_в}{2} = 10\ \text{мм}\right)$;

$$W_{из} = \frac{\pi d_c^3}{32}. \qquad (26)$$

Окончательно с учетом выражения (26) диаметр стержня равен:

$$d_с = \sqrt[3]{\frac{F_{пц} l 32}{2\pi[G_{из}]}} = \sqrt[3]{\frac{4[P](D_п^2 - d_ш^2)l}{[G_{из}]}} = 2{,}4.$$

Округляем значение диаметра стержня до стандартного размера $d_с = 2{,}5$ мм.

Найдем толщину стенки втулки *6* (рис. 2) из условия прочности поверхности на контактную прочность [4] для деталей, изготовленных из металлических материалов:

$$G_к = 0{,}418\sqrt{\frac{QE}{b\rho}}, \qquad (27)$$

где Q – сила давления стержня *7* на винтовую поверхность втулки *6* (см. рис. 2) ($Q = F_{пц}$);

E – приведенный модуль упругости материалов стержня и втулки (для стали $E = 2\cdot10^5$ МПа);

b – ширина контакта;

ρ – приведенный радиус кривизны ($\rho = r_с$);

$r_с$ – радиус стержня;

$[G_к]$ – допустимое контактное напряжение (для сталей $[G_к] = 26$ НВ $= 26\cdot350 = 910$ МПа).

Отсюда полная ширина контакта (в мм)

$$b = \frac{0{,}418^2[P]\pi(D_п^2 - d_ш^2)E}{4[G_к]^2\rho^2} = 0{,}98.$$

Назначаем наружный диаметр втулки исходя из возможностей изготовления, исключая тонкостенность, $D_в = 24$ мм.

Таким образом, найдены параметры схвата робота-манипулятора.

Библиографический список

1. **Анурьев В.И.** Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. Т. 1. 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. 920 с.

2. **Бутенин Н.В., Лунц Д.Р., Меркин Д.Р.** Курс теоретической механики: В 2-х т.: Учебник для вузов (МО). Т. 1, 2: Статика и кинематика. Динамика. 5-е, 6-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2004. 736 с.

3. **Решетов Д.Н.** Детали машин: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. 496 с.

4. **Феодосьев В.И.** Сопротивление материалов: Учебник для вузов. 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 1999. 592 с.

УДК 621.867 – 681.523.2

О.С. Харькин, *канд. техн. наук,* **М.Г. Кристаль,** *д-р техн. наук*
(Волгоградский государственный технический университет)
E-mail: crismar@mail.ru

Экспериментальные исследования струйных сортировочных устройств

Приведена методика выполнения и результаты экспериментального исследования струйных устройств для автоматической сортировки малогабаритных деталей.

The technique of performance and results of an experimental research of jet devices for automatic sorting of small-sized details is resulted.

Ключевые слова: *автоматизация, сортировка, струи сжатого воздуха.*

Key words: *automation, sorting, compressed air jets.*

Для малогабаритных деталей широкой номенклатуры с большой программой выпуска, к которым относятся пьезоэлементы и детали пневмоаппаратуры, перед сборкой требуется их сортировка по тем или иным параметрам с высокой производительностью. Известные конструкции [1] сортировочных устройств, содержащие механические элементы, не позволяют обеспечить достаточное быстродействие. Этого недостатка лишены струйные сортировочные устройства, обладающие высокой функциональной надежностью [2].

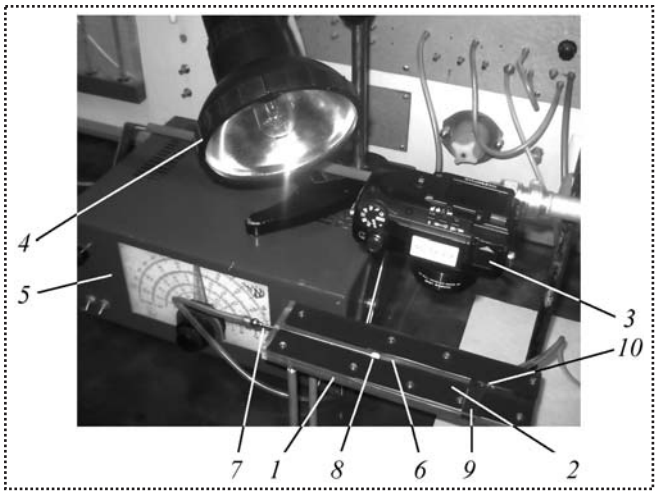


Рис. 1. Экспериментальная установка

Основные конструктивные и технологические характеристики предлагаемых сортировочных устройств определены в работе [3] при некоторых допущениях, позволяющих описать взаимодействие струй сжатого воздуха с находящимися в канале устройства деталями. Введение этих допущений требует идентификации теоретических моделей по результатам экспериментальных исследований, выполненных на специально разработанной и изготовленной установке (рис. 1).

Установка содержит блок *1* сменных экспериментальных сортировочных модулей *2* для выполнения статических и динамических опытов, закрепленную над ним цифровую фотокамеру *3*, а также газоразрядный стробоскопический осветитель *4* с устройством управления *5*. Модуль *2* представляет собой макет струйного сортировочного устройства с транспортным каналом *6* прямоугольного сечения, по которому под действием струи сжатого воздуха, истекающего из силового сопла *7*, перемещается эталонная деталь *8* в форме диска диаметром d = 8 мм и толщиной h = 4 мм (рис. 2). В зоне сортировочного окна *9* на поворотной платформе под углом α к направлению транспортирования деталей расположено сортировочное сопло *10*, обеспечивающее торможение детали и подачу ее в сортировочное окно.

В ходе экспериментов изменяют массу m деталей и коэффициент f кулонова трения де-

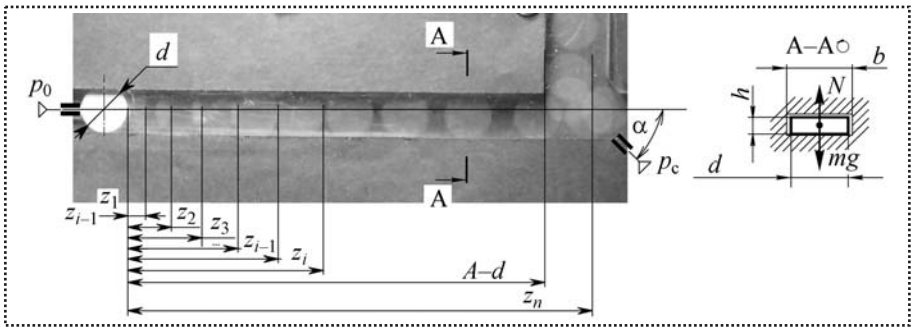


Рис. 2. Хронофотография движения сортируемой детали

тали по поверхности транспортного канала и сортировочного окна. Оценивают влияние давления и расхода сжатого воздуха в силовом и сортировочных соплах, а также угла α атаки струи сортировочного сопла и смещения x последнего относительно оси сортировочного окна. Кроме того, исследуют влияние положения сортировочного канала на характер перемещения деталей. В качестве исследуемого параметра выбран закон и траектории плоскопараллельного перемещения сортируемых деталей.

Для получения экспериментальных данных использовали метод хронофотографии [4] с последующей обработкой в редакторе Paint кадров (см. рис. 2), полученных с помощью цифровой камеры Olympus C770 Ultra Zoom при импульсном освещении исследуемого объекта газоразрядной лампой стробоскопического тахометра 2ТСт32-450. Применение этого метода обусловлено кратковременностью процессов перемещения детали в каналах сортировочного устройства и высокой точностью получаемых экспериментальных данных вследствие постоянства координатных баз в кадре съемки.

В каждом опыте проводили десятикратное дублирование процесса перемещения деталей. Обработанные данные каждой хронофотограммы в виде последовательности измеренных величин z_i (см. рис. 2) положения детали обрабатывали программой Excel. По внесенной в компьютер информации определены математические ожидания измеренных величин, по которым установлены эмпирические зависимости законов $z(t)$ (рис. 3) движения вдоль транспортного канала стальных, латунных, алюминиевых деталей, а также из органического стекла (материал деталей позволял варьировать величину коэффициента f сухого трения между деталью и материалом транспортного канала).

В ходе экспериментов варьировали следующие конструктивные и рабочие параметры сортировочных устройств: массу m сортируемой детали, коэффициент f трения детали по поверхности транспортирования, давление p_0 питания и диаметр d_0 транспортного сопла, давление p_c питания, диаметр d_c и угол α наклона сортировочного сопла, расстояние A от начального положения детали до сортировочного окна (см. рис. 2).

Проведенные исследования позволили установить высокую адекватность теоретических моделей реальным процессам (относительное расхождение времени протекания процесса перемещения детали до сортировочного окна не превышало 3 %). Однако для деталей относительно малой массы (см. рис. 3, *г*) из-за недостаточно точной регулировки величин давления сжатого воздуха в силовых и сортировочных соплах и высокой чувствительности характера движения деталей к изменениям давления наблюдается расхождение теоретических и экспериментальных данных до 8,5 %.

В ходе экспериментов подтвердились теоретические предположения о достаточно быстрой разгрузке силового импульса воздействия струи сжатого воздуха на перемещающуюся в транспортном канале сортируемую деталь.

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность управления движением сортируемых деталей одновременным воздействием на них разнонаправленных струй сжатого воздуха, а адекватность предложенных авторами моделей [3] этого процесса позволяет на стадии

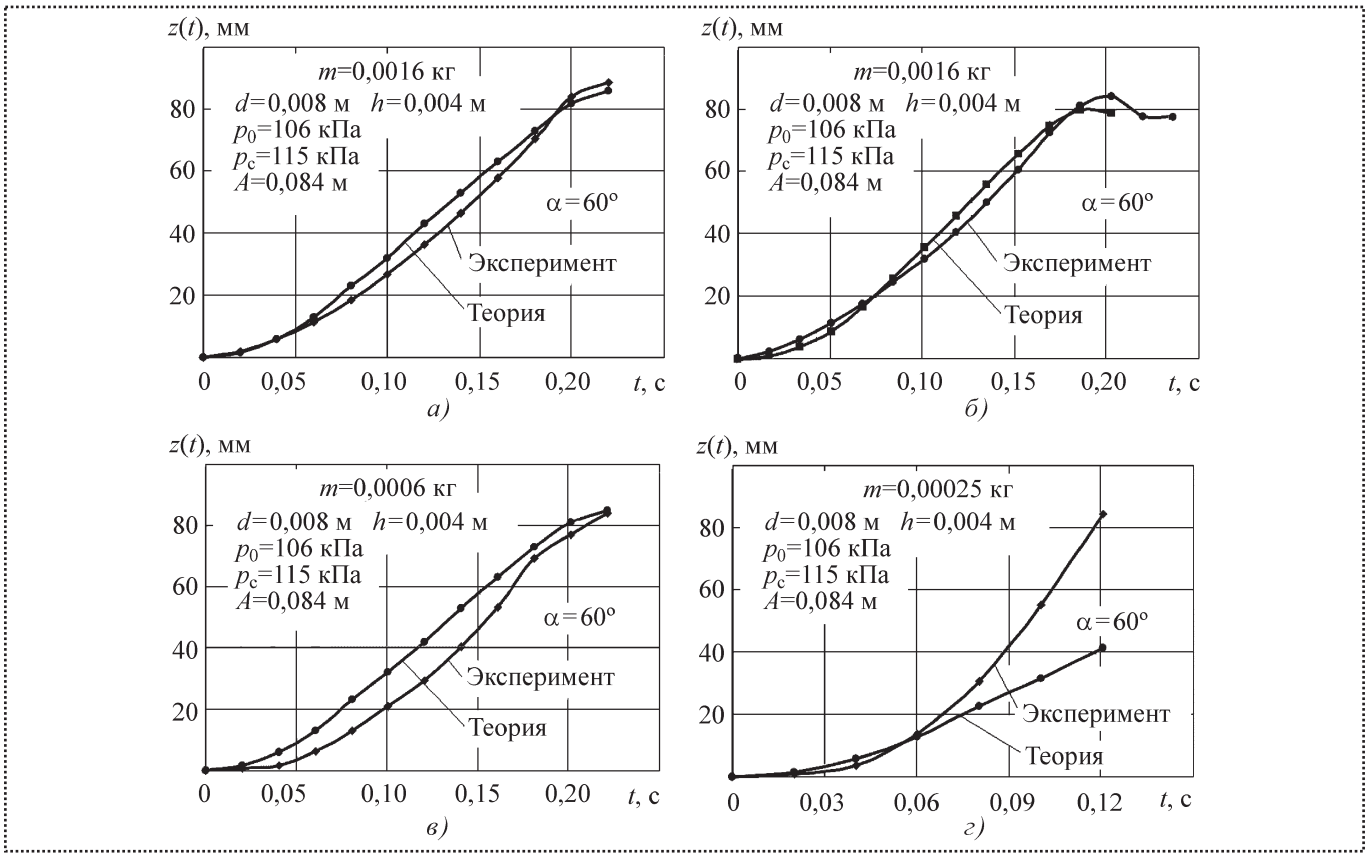


Рис. 3. Законы движения вдоль транспортного канала деталей из стали (*а*); латуни (*б*); алюминия (*в*); органического стекла (*г*)

проектирования назначить необходимые рабочие и конструктивные параметры разрабатываемых струйных устройств сортировки и разделения (объединения) потоков деталей.

Реализованный в данной работе метод хронофотографии, модернизированный компьютерной обработкой цифровых хронофотограмм, обладает высокой точностью (погрешность в пределах одного пикселя) и позволяет успешно экспериментально исследовать процессы, протекающие в пределах 0,1 с.

Библиографический список

1. **Либерман Я.Л., Кувшинский В.В.** Контрольно-сортировочные автоматы. – М.: Машиностроение, 1983. 96 с.

2. **Харькин О.С.** Струйные сортировочные устройства контрольных автоматов // Приборы и системы управления. – 1998. № 6. С. 47–48.

3. **Харькин 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. 14–17.

4. **Дубовик А.С.** Фотографическая регистрация быстропротекающих процессов. 3-е изд., перераб. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. 320 с.

УДК 62-182.52

А.В. Дроботов, *аспирант,* **М.Г. Кристаль,** *д-р техн. наук*
(Волгоградский государственный технический университет)
E-mail: crysmar@mail.ru

Особенности управления работой струйных поворотных устройств

Предложена конструкция поворотного стола со струйным приводом и система управления им. Рассмотрены особенности определения времени всплытия детали на воздушной прослойке и ее поворота под действием струи сжатого воздуха, что необходимо для программы управления устройством. Предложенные математические модели также позволяют выбирать конструктивные и рабочие параметры поворотного стола.

The construction of jet rotate table and its management system are suggested. The features of definition of a detail rising on the air layer and its rotation under the action of a jet of compressed air are considered, which are necessary for the program management unit. The proposed mathematical models also allow choosing design and operating parameters of the device.

Ключевые слова: *поворотный стол, автоматизация сборки, механизм дискретного поворота, воздушная прослойка.*

Key words: *rotate table, automation assembly, discrete rotate mechanism, air space.*

Используемые в транспортных системах автоматических сборочных устройств поворотные столы недостаточно универсальны и ограничены в быстродействии. Для компенсации этих недостатков предложена конструкция поворотного стола со струйным приводом [1, 2].

Устройство содержит основание *1* (рис. 1) с закрепленным на нем корпусом *2*, внутри которого соосно расположена муфта с верхней *3* и нижней *4* полумуфтами. На верхней торцевой поверхности корпуса *2* установлена планшайба *5*, жестко связанная с полумуфтой *3*. Зазоры Δ_1 (между корпусом и планшайбой) и Δ_2 (между двумя полумуфтами) коммутируют с источником вакуума или сжатого воздуха соответственно через сопла *6*, канал *7* и кольцевую камеру *8* и через сопла *9*. На боковой поверхности полумуфты *4* выполнены встречно направленные лопатки *10*, напротив которых в корпусе установлены наклонно под углом ξ сопла *11*, *12*.

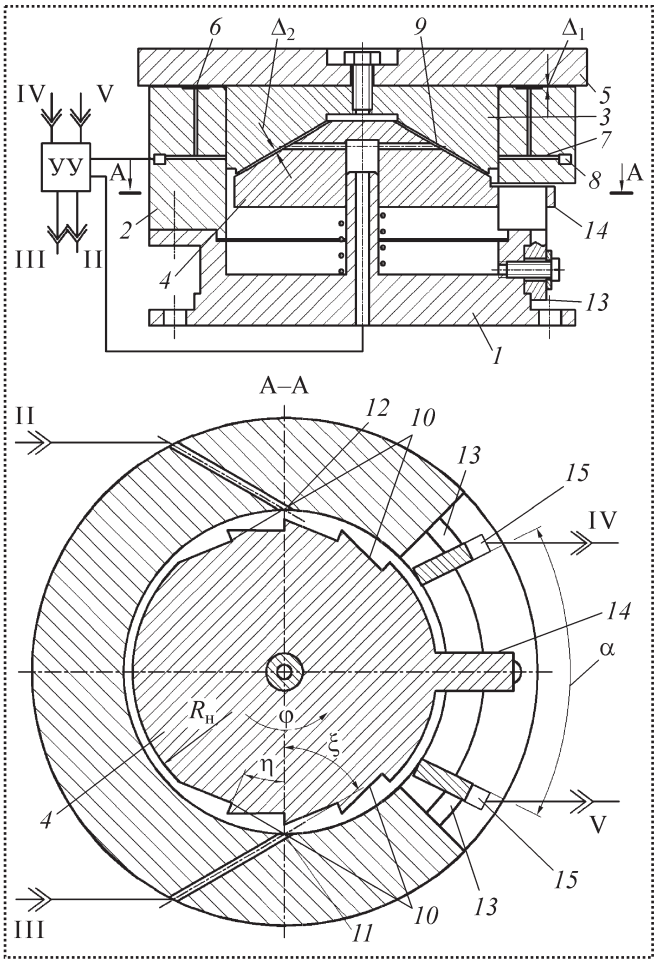


Рис. 1. Струйный поворотный стол

На основании зафиксированы подвижные упоры *13*, взаимодействующие с экраном *14*, закрепленным на полумуфте *4*, положение которых определяет угол α поворота планшайбы. На упорах расположены датчики конечного положения *15*. Устройство управления, обрабатывая сигналы датчиков, обеспечивает включение (отключение) муфты и поворот подвижных частей поворотного устройства.

В рабочем цикле разрежение в зазоре Δ_2 обеспечивает включение муфты (фрикционное сцепление полумуфт *3* и *4*). Одновременно сжатый воздух поступает в зазор Δ_1 и вызывает подъем на воздушной прослойке планшайбы. Через промежуток времени $t_{\text{вспл}}$ (время всплытия) сжатый воздух через сопло *11* воздействует на лопатки, обеспечивая поворот на угол α муфты вместе с планшайбой до соприкосновения экрана с упором.

При этом сигнал с датчика поступает в устройство управления, которое коммутирует зазор Δ_1 с источником вакуума, фиксируя тем самым положение планшайбы на корпусе. Через заданный момент времени $t_{\text{фикс}}$ (время фиксации планшайбы на корпусе) муфту отключают и полумуфта *4* возвращается в исходное положение (о чем датчик подает сигнал на устройство управления) под действием струи сжатого воздуха, истекающего из сопла *12*.

Время $T_{\text{ц}}$ цикла работы поворотного устройства определяют по выражению

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{уу}} + t_{\text{вспл}} + t_{\text{пов}} + t_{\text{фикс}} + t_{\text{возв}},$$

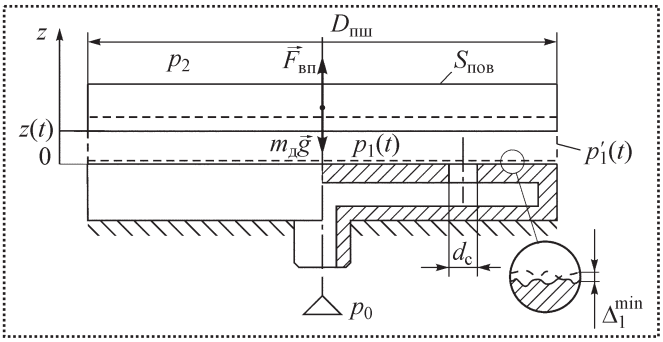


Рис. 2. Схема всплытия детали на воздушной прослойке

где $t_{\text{уу}}$ – суммарное время срабатывания элементов устройства управления, определяемое по их паспортным характеристикам;

$t_{\text{пов}}$ – время поворота;

$t_{\text{возв}}$ – время возврата полумуфты *4* в исходное положение.

Для оценки величин $t_{\text{вспл}}$ и $t_{\text{фикс}}$ предложена модель динамики всплытия планшайбы на воздушной прослойке.

На начальном этапе (рис. 2, пунктирная линия), когда

$$\vec{F}_{\text{вп}} < m_{\text{д}}\vec{g},$$

где $\vec{F}_{\text{вп}}$ – сила, действующая на планшайбу со стороны воздушной прослойки;

$m_{\text{д}}$ – масса планшайбы;

g – ускорение свободного падения, модель динамики всплытия описывает выражение

$$\int_0^t (M_{\text{вх}} - M_{\text{исх}})dt - \frac{p_1(t)S_{\text{пов}}\Delta_1^{\min}}{RT} = 0,$$

где

$$M_{\text{вх}} = S_{\text{сеч}}\, p_0(t)\sqrt{\frac{2k}{RT(k-1)}\left(\left(\frac{p_1(t)}{p_0}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_1(t)}{p_0}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right)}$$

– массовый расход воздуха, поступающего в воздушную прослойку;

$S_{\text{сеч}} = n\pi d_{\text{с}}^2/4$ – суммарная площадь поперечного сечения сопл *6*;

n – их количество;

$d_{\text{с}}$ – диаметр сопла *6*;

$p_0(t) = p_2 + (p_{0_{\max}} - p_2)(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ – давление питания воздушной прослойки;

p_2 – атмосферное давление;

$p_{0_{\max}}$ – давление питания поворотного устройства;

τ – постоянная времени изменения давления $p_0(t)$ питания (вызвано динамикой открытия и емкостью каналов питания сжатым воздухом);

k = 1,4 – показатель адиабаты воздуха;

R = 287 Дж/(кг·К) – универсальная газовая постоянная для воздуха;

T = 293 К – температура воздуха;

$p_1(t)$ – среднее давление в воздушной прослойке;

$$M_{\text{исх}} = \pi D_{\text{пш}}(z(t)+\Delta_1^{\min})p_1'(t)\times$$
$$\times\sqrt{\frac{2k}{RT(k-1)}\left(\left(\frac{p_2}{p_1(t)}\right)^{\frac{2}{k}}-\left(\frac{p_2}{p_1(t)}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right)}-$$

массовый расход воздуха, исходящего из воздушной прослойки;

здесь $D_{\text{пш}}$ – диаметр планшайбы;

$z(t)$ – высота всплытия планшайбы на воздушной прослойке (для начального этапа $z(t) = 0$);

$\Delta_1^{\min} = \dfrac{R_{\text{пш}}^{\max}+R_{\text{к}}^{\max}+T_{\text{пш}}+T_{\text{к}}}{2}$ – минимальное значение зазора Δ_1;

$R_{\text{пш}}^{\max}$, $R_{\text{к}}^{\max}$ – наибольшая высота неровностей профиля планшайбы и корпуса;

$T_{\text{пш}}$, $T_{\text{к}}$ – допуск на отклонение от плоскостности их поверхностей;

$p_1'(t)$ – функционал, определяющий давление воздуха на выходе из воздушной прослойки [3];

$S_{\text{пов}}$ – площадь рабочей поверхности корпуса и планшайбы.

Всплытие планшайбы относительно корпуса (на рис. 2 – сплошная линия) описывает система уравнений:

$$\begin{cases}\displaystyle\int_0^t (M_{\text{вх}}-M_{\text{исх}})dt = \frac{p_1(t)(z(t)+\Delta_1^{\min})S_{\text{пов}}}{RT};\\ m_{\text{д}}\ddot{z}(t) = (p_1(t)-p_2)S_{\text{пов}} - m_{\text{д}}g.\end{cases}$$

На рис. 3 представлены результаты численного расчета данной модели.

Для работы устройства необходимо, чтобы в момент поворота планшайбы выполнялось условие:

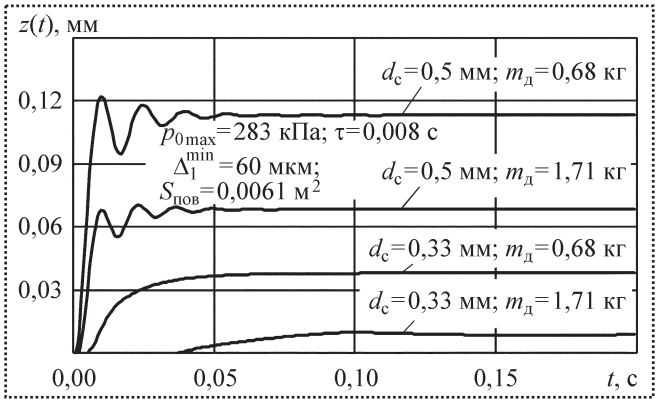


Рис. 3. Динамика всплытия планшайбы на воздушной прослойке

$$z+\Delta_1^{\min} > R_{\text{пш}}^{\max}+R_{\text{к}}^{\max}+T_{\text{пш}}+T_{\text{к}}.$$

Для оценки времени поворота и возврата разработана модель динамики поворота полумуфты *4* на воздушной прослойке при включенной и отключенной муфте:

$$J\ddot{\varphi} = \frac{R_{\text{н}}\pi d_{\text{п}}^2}{4}p_0(t)\sin^2(\xi+\varphi(t)-i\eta)\times$$
$$\times\sqrt{\frac{2k}{RT(k-1)}\left[\left(\frac{p_2}{p_0(t)}\right)^{\frac{2}{k}}-\left(\frac{p_2}{p_0(t)}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right]}(U-\dot{\varphi}R_{\text{н}}),$$

где J – момент инерции поворотных частей устройства;

$\varphi(t)$ – угол поворота (см. рис. 1);

$R_{\text{н}}$ – радиус полумуфты *4*;

$d_{\text{п}}$ – диаметр сопл *11*, *12*;

ξ – угол их наклона;

i – номер лопатки;

η – угловая ширина лопатки;

U – скорость потока воздуха:

$U = \mu U_0$ при $(\varphi(t)-i\eta) \le \arcsin\left(\dfrac{5d_{\text{п}}}{R_{\text{н}}}\sin\xi\right)$;

$U = \mu U_0 \Big/ \left(0{,}3+\dfrac{0{,}28\sin\varphi}{R_{\text{н}}d_{\text{п}}}\right)$ при $(\varphi(t)-i\eta) >$ $> \arcsin\left(\dfrac{5d_{\text{п}}}{R_{\text{н}}}\sin\xi\right)$;

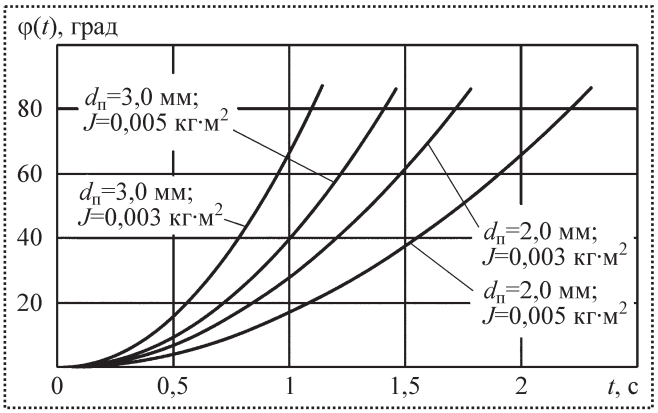


Рис. 4. Динамика поворота нижней полумуфты:
$p_{0_{max}} = 283$ кПа; $R_н = 0{,}04$ м; $\xi = 60°$; $\eta = 22°$; $\tau = 0{,}01$ с

$\mu = 0{,}128$ – коэффициент скорости струи воздуха;

$$U_0 = \sqrt{\frac{2kRT}{k-1}\left[1-\left(\frac{p_2}{p_0(t)}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}$$ – скорость струи воздуха на выходе из сопл *11*.

Предложенная математическая модель решена численным методом. На рис. 4 приведены решения для поворота на угол $\alpha = 88°$.

Приведенные математические модели позволяют оценить время всплытия, фиксации, поворота и возврата для управления работой поворотных устройств и определения их конструктивных и рабочих параметров.

Библиографический список

1. **Дроботов А.В., Кристаль М.Г.** Переналаживаемый поворотный стол со струйным приводом // Будущее машиностроения России: сб. тр. всерос. конф. молодых ученых и специалистов, Москва, 25–27 ноября 2008 г. / Союз Машиностроителей России, МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М., 2008. С. 45–46.

2. **Заявка № 2008107434.** Поворотный стол // М.Г. Кристаль, А.В. Дроботов, Е.В. Стегачев, А.А. Астапенко, И.А. Чувилин. – Положительное решение о выдаче патента РФ от 03.04.09.

3. **Опоры** скольжения с газовой смазкой / под ред. С.А. Шейнберга. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. 336 с.

УДК 629.11.01

И.А. Михайловский, *канд. техн. наук,* **И.Г. Гун,** *д-р техн. наук,* **Ю.В. Калмыков***,
В.В. Сальников, *канд. техн. наук,* **Д.А. Пестерев*** *(Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, *ЗАО НПО "БелМаг", г. Магнитогорск)*
E-mail: i-gun@yandex.ru

Совершенствование деформирующего инструмента и исходного контура детали с целью повышения качества соединения, получаемого при сборке запрессовкой шаровых шарниров автомобилей

Представлен опыт разработки и внедрения в производство операции сборки запрессовкой шаровых шарниров передней подвески легковых автомобилей. Рассмотрены варианты исполнения рабочей поверхности инструмента, а также формы корпуса под запрессовку. Проведен анализ и выбор наиболее рационального варианта.

The experience of working out and usage of assembling operation by pressing for front suspension car ball joints is represented in the article. Also the variants of making the working surface of press tooling as well as the variants of shape of pressed housing are described in this article. The analysis and the choice of the most rational variant were made in this article.

Ключевые слова: *шаровой шарнир; сборка; корпус; запрессовка; форма инструмента.*

Key words: *ball joint; assembling; housing; pressing; tooling shape.*

При изготовлении шаровых шарниров легковых автомобилей большое значение уделяется качеству получаемого сборочного соединения корпуса шарнира с другими его составными частями. От герметичности и прочности данного соединения во многом зависит долговечность и надежность работы шарнира в целом.

Существует ряд способов формирования сборочных соединений шаровых шарниров, наиболее распространенные из которых – закатка и запрессовка [1–7]. При сборке шаровых шарниров автомобилей представляется целесообразным переход от закатки буртов корпусов шарниров к их запрессовке. На это имеется ряд причин, в частности высокая стоимость и сложность эксплуатации закатного оборудования. К расходным деталям, имеющим низкую стойкость, относятся закатные головки, оси и закатные ролики со сложной формой рабочих поверхностей и трудоемким процессом их изготовления. Особое внимание при этом уделяется точности изготовления формообразующего закатного ролика [8].

Немаловажным фактором для перехода от закатки к запрессовке является значительное повышение производительности процесса сборки.

Типовой исходный контур бурта деталей, предназначенных для закатки, имеет трапециевидную форму с углом при основании ≈ 20° (вариант 1). Как видно из рис. 1, соотношение высоты бурта и его толщины превышает значение 0,5.

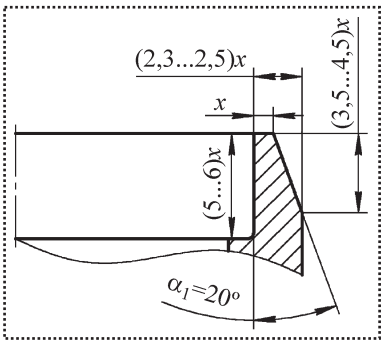


Рис. 1. Исходный контур бурта (вариант 1)

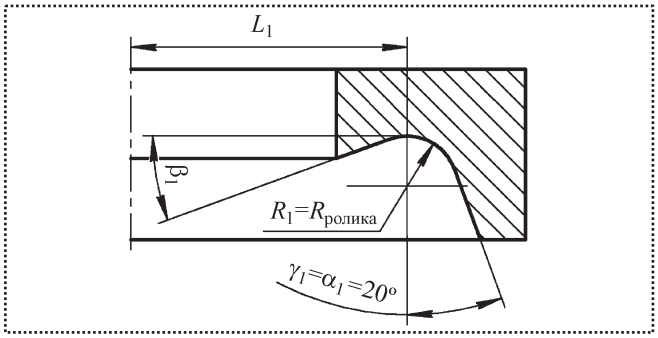


Рис. 2. Контур рабочей поверхности деформирующего инструмента пуансона для запрессовки трапецеидального бурта (вариант 1)

В процессе разработки инструмента для запрессовки на начальном этапе проектирования в основу формы рабочей поверхности положено сечение рабочего контура роликов, используемых при закатке. В результате рабочая поверхность пуансона приняла вид, представленный на рис. 2.

При комбинации пуансона с формой рабочей поверхности, идентичной контуру закатного ролика, и бурта, выполненного по первому варианту (см. рис. 1), под действием усилия запрессовки бурт корпуса прижимается вдоль своей образующей окружности до полного прилегания с поверхностью шайбы.

Деформация бурта (вариант 1) при запрессовке пуансоном, выполненным по контуру закатного ролика, показана на рис. 3. Расчет проводили с помощью программы моделирования процессов обработки металлов давлением.

Деформация бурта корпуса в данном случае происходит неравномерно. Металл деформируется в нескольких направлениях. В результате бурт не прижимает шайбу достаточно плотно. Необходимо отметить, что из-за большого соотношения высоты и ширины бурта для деформации требуются значительные усилия по всему периметру деформируемого участка в отличие от многократных воздействий в случае закатки роликами. Максимальное усилие при деформации составляет в данном случае 0,55 МН. В серийном производстве это приведет к снижению стойкости инструмента, а также к появлению трещин в местах деформации материала корпуса. Таким образом, профиль пуансона, близкий к профилю ролика, не в состоянии обеспечить требуемое формоизменение при деформации материала бурта на операции сборки.

Для придания детали устойчивости в программе моделирования процессов обработки металлов давлением предложено уменьшить угол α, а для снижения усилия деформации уменьшить толщину бурта. Размеры нового контура бурта показаны на рис. 4. Изменилось соотношение между шириной и высотой бурта. Уменьшение толщины бурта ведет к снижению усилия, необходимого для деформации. Контур бурта также претерпел изменения. Для обеспечения более плотного его прилегания к шайбе угол при основании трапеции уменьшен до 7°.

Проведена корректировка формы рабочей поверхности инструмента. Центр сферы радиуса R_2 смещен в сторону оси пуансона на величину $\delta = (0{,}3...1{,}5)x$. Угол γ_2 приведен в

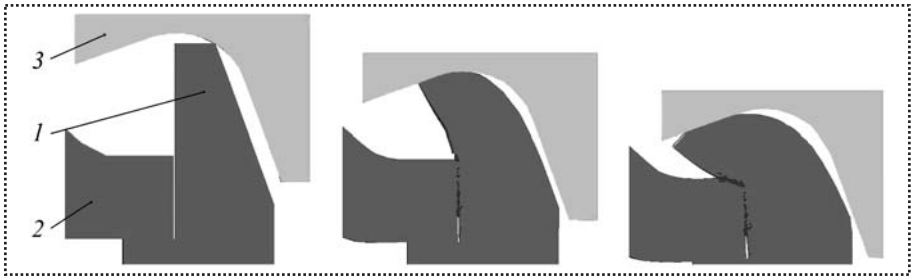


Рис. 3. Деформация исходного бурта (вариант 1):
1 – бурт корпуса; *2* – шайба; *3* – деформирующий инструмент

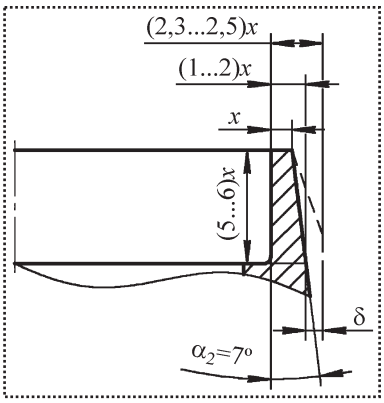


Рис. 4. Контур бурта (вариант 2)

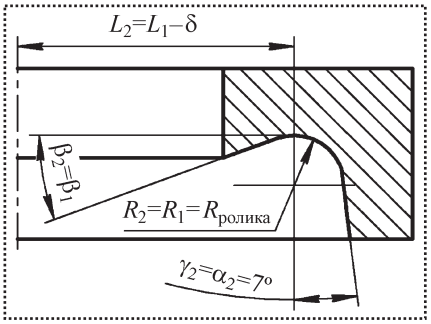


Рис. 5. Контур пуансона для бурта (вариант 2)

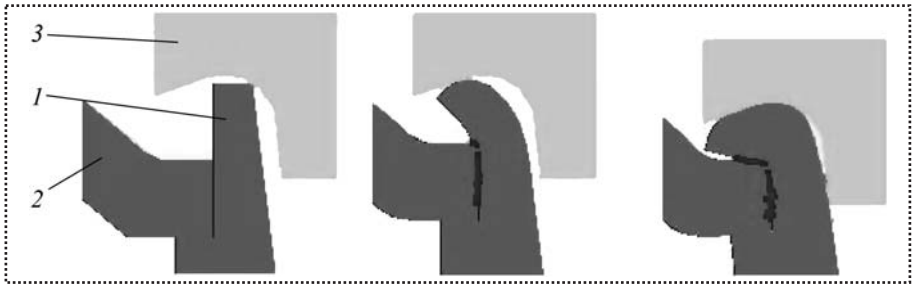


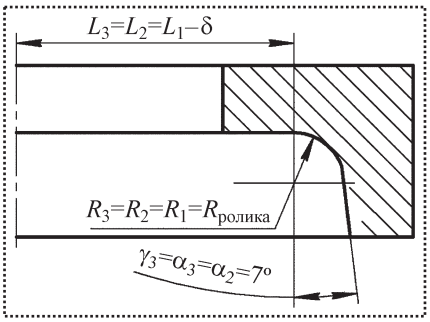
Рис. 6. Деформация бурта (вариант 2):
1 – бурт корпуса; *2* – шайба; *3* – деформирующий инструмент

соответствие с углом α_1 контура бурта (вариант 2): $\gamma_2 = \alpha_2 = 7°$. В результате форма рабочей поверхности приняла вид, представленный на рис. 5. Угол β_2 оставлен без изменений ($\beta_2 = \beta_1$).

Последовательное формоизменение бурта (вариант 2) при запрессовке пуансоном показано на рис. 6. Процесс деформации бурта варианта 2 в сравнении с вариантом 1 имеет значительные отличия, заключающиеся в снижении максимального усилия до 0,47 МН. Зазор между буртом и шайбой по окончании запрессовки уменьшился. Зазор обусловлен недостаточным объемом деформируемого металла. С целью его увеличения введен прямоугольный элемент, а для исключения концентрации напряжений в месте перехода сечения трапецеидальной формы в прямоугольную выполнен радиус перехода *r*. Контур бурта (вариант 3) изображен на рис. 7.

Для дальнейшего снижения вероятности появления зазора между деформируемым буртом и шайбой верхняя часть рабочей поверхности пуансона выполнена горизонтальной ($\beta_3 = 0°$). Контур рабочей поверхности пуансона (вариант 3) представлен на рис. 8.

Рис. 8. Контур пуансона (вариант 3)



Деформация бурта (вариант 3) при запрессовке пуансоном показана на рис. 9. Как видно, бурт всей плоскостью прижимает шайбу, и длина линии их контакта достигает наибольшего значения. Максимальное усилие деформации составило 0,52 МН.

Результаты экспериментов с контурами бурта и пуансона приведены в таблице.

В результате проведенных эмпирических исследований влияния формы деформирующего инструмента и исходного контура корпуса шаро-

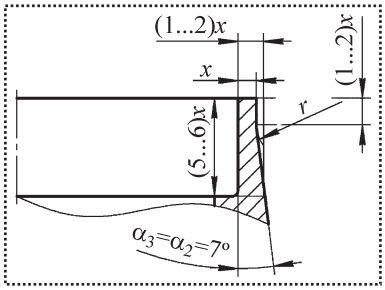


Рис. 7. Контур бурта (вариант 3)

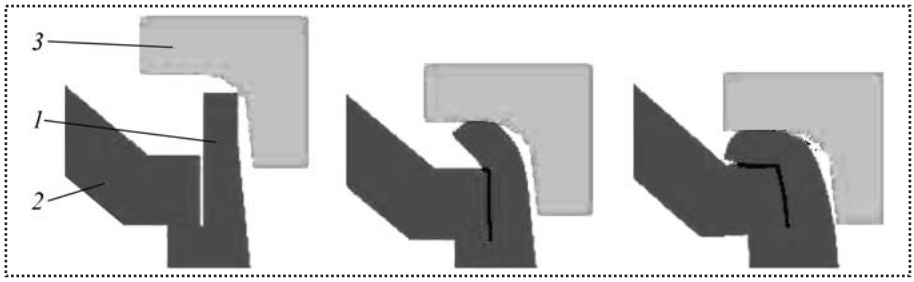


Рис. 9. Деформация бурта (вариант 3):
1 – бурт корпуса; *2* – шайба; *3* – деформирующий инструмент

Показатели	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Линия контакта бурта с шайбой	L_0	L_1	L_2
Вероятность возникновения трещин в местах запрессовки, %	80	50	15
Максимальное усилие при запрессовке, МН	0,55	0,47	0,52
Примечание. $L_0 << L_1 < L_2$.			

вого шарнира на качество сборочного соединения, получаемого запрессовкой, установлено, что наиболее предпочтительно сочетание бурта с наружной поверхностью, включающей в себя цилиндрический и конический участки, и пуансона с рабочими поверхностями, взаимно пересекающимися под углом, максимально возможно приближенным к прямому.

Библиографический список

1. **Справочник** технолога-машиностроителя. Т. 2 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986.
2. **Пат. RU 2151926 C1.** Шаровой шарнир и способ его сборки / А.Г. Ситковский, А.Н. Падучин, И.Б. Короткевич. Опубл. 27.06.2000.
3. **Пат. RU 2149289 C1.** Шаровой шарнир / И.Г. Гун, О.С. Железков и др. Опубл. 20.05.2000.
4. **Пат. RU 2121613 C1.** Универсальный шаровой шарнир Недикова / В.П. Недиков. Опубл. 10.11.1998.
5. **Пат. RU 33188 U1.** Шаровой шарнир В. Недикова / В.П. Недиков. Опубл. 10.10.2003.
6. **Пат. RU 2239106 C1.** Шаровая опора транспортного средства / В.П. Недиков. Опубл. 27.10.2004.
7. **Пат. RU 2280788 C1.** Шаровой шарнир / И.Г. Гун, Ю.В. Калмыков и др. Опубл. 27.07.2006.
8. **Сальников В.В.** Повышение эксплуатационной надежности закатных соединений шаровых шарниров. 61-я научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ за 2001–2002 гг. Сб. науч. тр. факультета технологий и качества. – Магнитогорск: МГТУ, 2002. С. 119–124.

УДК 621.09.131

А.Р. Маслов, *д-р техн. наук,*
профессор каф. "Высокоэффективные технологии обработки" (МГТУ "Станкин")
E-mail: volsama@yandex.ru

Влияние вида сборки инструмента на качество обработанных поверхностей

Описаны результаты экспериментов, выполненных для обоснования выбора вида сборки инструмента для станков с высокоскоростными шпинделями.

Describes the results of experiments performed to justify the choice of assembly tool for machines with high-speed шпинделями.

Ключевые слова: *сборка, инструмент, патрон, поверхность, шероховатость, качество.*

Key words: *assembly, tool, chuck, surface, roughness, quality.*

Как установлено в работе [1], требованиям высокоскоростной обработки на станках с ЧПУ наиболее полно отвечают два вида вспомогательного инструмента – термопатроны и гидравлические патроны.

Для сборки цилиндрического хвостовика инструмента *1* с отверстием термопатрона *2* (рис. 1) по посадке с натягом используют нагрев вне станка зажимной части втулки токами высокой частоты на специальной установке. Концентрированное магнитное поле, образуемое многовитковым индуктором и изменяющееся с высокой частотой, создает вихревые токи в материале термопатрона, что обеспечивает нагрев и расширение его зажимной части и образование сборочного зазора. После этого хвостовик закрепляемого инструмента вставляется в отверстие термопатрона.

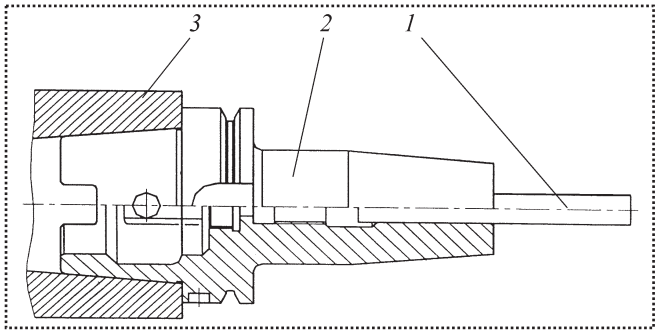


Рис. 1. Сборка на базе термопатрона

В результате остывания термопатрона вместе с инструментом образуется их прочное соединение по посадке с натягом, которое с большим запасом обеспечивает стабильность положения режущих кромок во всем диапазоне нагрузок, возникающих при высокоскоростной обработке [2]. Собранный узел устанавливают в высокоскоростной шпиндель *3*.

Гидравлический патрон снабжен промежуточной втулкой, для деформации которой используется давление жидкости (рис. 2). В корпусе *1* патрона выполнены полости *6* и каналы *4*, которые заполнены гидравлической жидкостью. Осевое положение инструмента *9* до закрепления регулируется винтами *3* и *7*. Плунжер *2*, управляемый винтом *8*, создает гидравлическое давление, которое деформирует промежуточную втулку *5* в радиальном направлении, в результате чего возникает давление *p* в стыке, достаточное для получения сборки с высокой надежностью закрепления цилиндрического хвостовика инструмента *9*.

Для сравнения видов сборки выполняли обработку заготовок из алюминиевого сплава марки АМГ16 на пятикоординатном станке с ЧПУ мод. C 800 U HERMLE (Германия), оснащенном высокоскоростным шпинделем HSK 63A. Фрезеровали пазы различной глубины шириной 16 мм твердосплавными двухзубыми концевыми фрезами с цилиндрическим хвостовиком диаметром 16 мм, предназначенными для высокопроизводительного фрезерования цветных металлов. Устанавливали зависимость шероховатости обработанной поверхности от глубины резания.

Испытания сборок инструмента с вылетом от торца шпинделя, равным 95 мм, проводили на частоте вращения 12000 мин$^{-1}$ (скорость резания 603 м/мин) при подаче 0,2 мм/зуб со скоростью подачи 4800 мм/мин с шириной обрабатываемой поверхности 16 мм. При обработке в течение первых 10 мин сборка на базе гидравлического патрона при глубине резания 2...2,3 мм не обеспечивала заданную шероховатость *Ra* 1,25. Сборка на базе термопатрона при тех же условиях обеспечивала обработку поверхности с шероховатостью *Ra* 1,25 при глубине резания до 3,8 мм (рис. 3).

Также испытывали удлиненные сборки с вылетом 160 мм от торца шпинделя. При закреплении фрез в гидравлических патронах выход за пределы шероховатости *Ra* 1,25 происходил при глубине резания 0,8 мм, в термопатронах заданная шероховатость обеспечивалась при глубине резания до 1,8 мм (см. рис. 3).

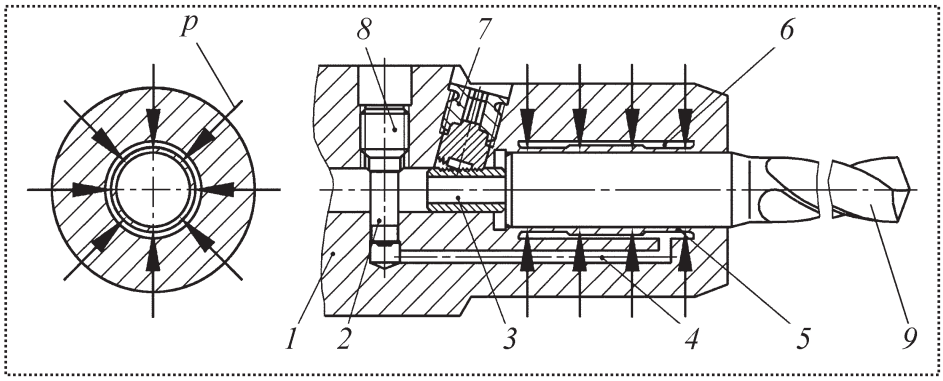


Рис. 2. Сборка на базе гидравлического патрона

Проводили испытания сборок инструмента для установления зависимости шероховатости обработанной поверхности от времени резания. При этом использовали новые фрезы в состоянии поставки, которыми вели обработку с глубиной резания 1 мм. Было установлено, что сборка на базе гидравлического патро-

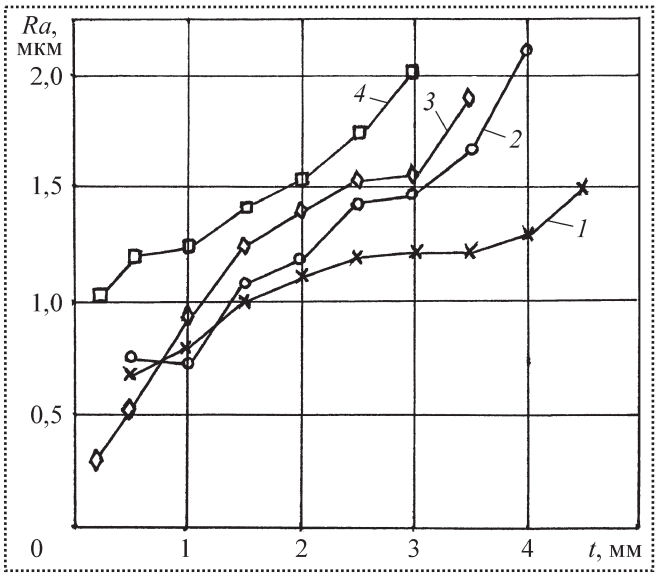


Рис. 3. Зависимость шероховатости *Ra* обработанной поверхности от глубины *t* резания:
1 – стандартный термопатрон;
2 – стандартный гидравлический патрон;
3 – удлиненный термопатрон;
4 – удлиненный гидравлический патрон

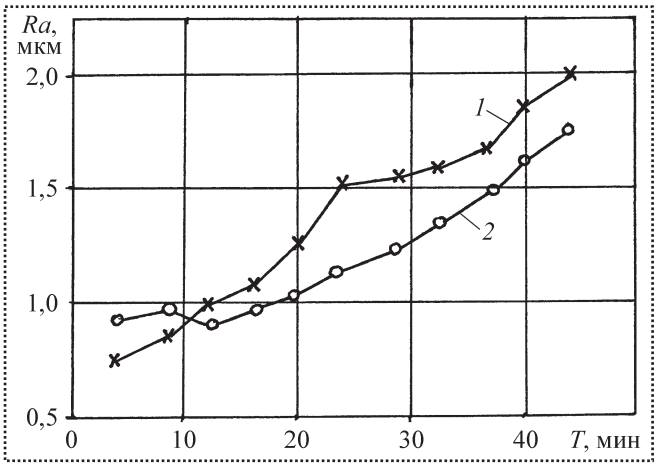


Рис. 4. Зависимость шероховатости *Ra* обработанной поверхности от времени *T* резания:
1 – стандартный термопатрон; *2* – стандартный гидравлический патрон

на в 1,5 раза дольше обеспечивает заданную шероховатость поверхности, чем сборка на базе термопатрона (рис. 4). Это может быть объяснено тем, что по мере нарастания износа фрез частота вибраций технологической системы смещается в диапазон, в котором гидравлический патрон лучше демпфирует эти вибрации, чем термопатрон.

Выводы

Качество обработанных поверхностей зависит от вида сборки комплекта инструмента, устанавливаемого в высокоскоростной шпиндель.

При обработке с частотой вращения шпинделя свыше 12000 мин$^{-1}$ сборка на базе гидравлического патрона обеспечивает обработку поверхности с заданной шероховатостью в 1,5 раза дольше, чем сборка на базе термопатрона.

Библиографический список

1. **Барабанов А.Б.** Обоснование наилучшего варианта сборки комплектов инструмента для станков с ЧПУ // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2008. № 9. С. 11–13.

2. **Маслов А.Р.** Условия многократной установки инструмента посредством термической деформации // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 12. С. 48–50.

УДК 621.757

С.В. Толоконников, *канд. техн. наук (ОАО "Волгабурмаш", г. Самара)*
E-mail: tsv.sgtu@mail.ru

Повышение эффективности сборки на основе визуализации процессов гидромониторных систем

Для оценки эффективности узловой сборки предпусковых подогревателей осуществлен мониторинг сборочных процессов и разработана методика визуализации эксплуатационных процессов гидромониторных систем.

To estimate the performance of inrush preheater group assembly there was applied assembly processes monitoring and worked out the method of water jet systems processes rendering.

Ключевые слова: *визуализация, гидромониторные системы, мониторинг, предпусковой подогреватель, пузырьковые структуры, сборка, моделирование.*

Key words: *rendering, water jet systems, monitoring, starting preheater, bubble structures, assembly, modeling.*

К гидромониторным системам относится устройство предпускового подогревателя, в котором сжигается дизельное топливо для прогрева двигателя [1]. Качество процесса смесеобразования в камере сгорания (рис. 1) предположительно зависит от параметров сборки предпускового подогревателя.

Проблема нестабильных эксплуатационных показателей гидромониторных систем не решается за счет стабилизации геометрических параметров сборочных компонентов подогревателей, так как геометрические параметры соединений узловой сборки изменяются случайным образом. Повысить эффективность сборки можно путем установления закономерностей процесса структурного взаимодействия топлива с разделительной сеткой в зависимости от точности расположения сборочных компонентов узловой сборки камеры сгорания подогревателя.

В настоящее время не существует модели структурного взаимодействия топлива с сетчатой насадкой, а без нее нельзя раскрыть закономерностей. При построении модели учитывали симметричное деление капли, следовательно, капля не имеет структуры. Предлагается структуризацию жидкости выполнить в виде физического аналога с заменой капли жидкой пленкой, наделенной структурными

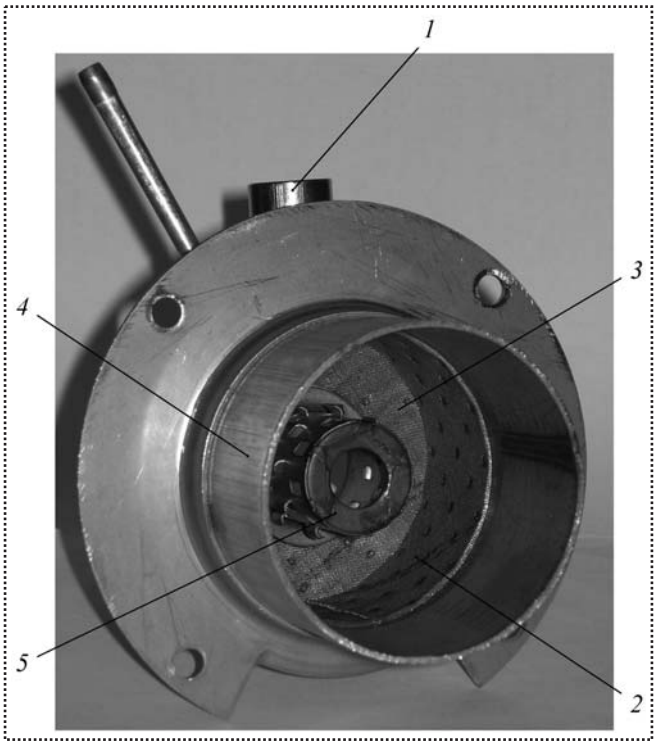


Рис. 1. Сборочный узел камеры сгорания:
1 – штуцер с сетчатой насадкой;
2 – сетка;
3 – донный испаритель;
4 – стакан;
5 – нагнетатель воздуха

свойствами пузырьковых структур, формируемых воздушным потоком.

Качество узловой сборки сетчатой насадки оценивается по влиянию на форму пузырьковых структур пространственной структуры погрешностей расположений разделительной сетки. Форма пузырьковых структур в виде пересечения сфероидов была известна к моменту начала натурных испытаний, однако в технической литературе отсутствует мониторинг, устанавливающий зависимости пузырьковых структур от конструкторских, технологических, случайных и др. факторов сборки.

Цель мониторинга состоит в разработке методики визуализации функциональных связей эксплуатационных показателей пузырьковых структур и технологических параметров сборки гидромониторных систем, полученных на основе физической имитационной модели. Для этого выполнен анализ влияния переменных конструкторско-технологических параметров узловой сборки на форму пузырьковых структур, организованных насадками с сетчатыми поверхностями камеры сгорания пузырькового подогревателя. Целевая функция узловой сборки последнего, связанная с визуализацией пузырьковых структур, зависит от симметрии периметра выпуклых поверхностей пересекающихся сфероидов:

$$\begin{aligned} &\mathrm{MAX}\, F\left\langle R^3;\ N^1;\ S^2;\ C^1\right\rangle = \\ &= f(k,\ a,\ b,\ s,\ \varphi,\ h,\ D_N,\ X_N,\ Y_N,\ Z_N), \end{aligned} \qquad (1)$$

где 1, 2, 3 – верхние индексы, обозначающие размерность функциональных составляющих;

R – объем кривизны сфероида, мм^3;

S и C – площадь (мм^2) и радиус (мм) сечения сфероида;

k – количество сеток в держателе;

a, b, s – ширина, длина, площадь ячейки k-й разделительной сетки;

φ – фазовый угол сдвига ячеек сеток;

N – количество сфероидов на сетке;

D_N – диаметр N-го сфероида;

X_N, Y_N, Z_N – координаты его центра;

h – торцовый зазор в соединении разделительных сеток.

Аргументы (k, a, b, s, φ, h, D_N, X_N, Y_N, Z_N) функции в уравнении (1) определяются граничными условиями или другими внешними факторами сборки, связанными с точностью расположения разделительных сеток узловой сборки подогревателя. Функциональные составляющие в левой части уравнения (1) оценивают по результатам визуализации пространственных форм пузырьковых структур.

Этап визуализации пузырьковых структур предшествует этапу установления зависимостей эксплуатационных показателей гидромониторных систем от параметров узловой сборки предпусковых подогревателей. Необходимо указать, что визуализация в результате симметрии пузырьковых структур в двух ортогональных проекциях предполагает изоморфное преобразование двухмерного изображения в трехмерное, после чего решение о значимости функциональных связей принимается на основании анализа трехмерной модели в терминах определенных геометрических величин. Для оценки вариации геометрических параметров трехмерных пузырьковых структур с фиксированными центрами от угловой координаты расположения сеток и масштаба пузырьков использовали принцип подобия конфигурации пузырьков на сетчатой поверхности.

Последовательное применение результатов модели дискретных процессов, воспроизводимых натурными экспериментами при визуализации пузырьковых структур, позволяет оценить эффективность узловой сборки предпускового подогревателя в рамках метода регулировки. Зависимости пузырьковых структур от переменных конструкторско-технологических параметров сборки, обеспечивающие максимум функции F, важны для решения прикладных инженерных задач узловой сборки подогревателей. Процесс мониторинга на упрощенной модели включает воздействие воздушного потока, имитирующего разделяющийся поток жидкости гидромониторной системы.

В результате визуализации пузырьковых структур определены закономерности, позволяющие судить о влиянии регулируемых технологических параметров сборки.

Методика визуализации устанавливает степень восприимчивости пузырьковых структур (на разделительных сетках с конечными размерами ячеек *s*, обладающих свойством конструктивной симметрии) к вариациям взаимного расположения разделительных сеток в соединении. Для этого создана гидромониторная физическая модель, имитирующая процесс распределения пузырьковых структур на выходе из разделительной сетчатой насадки. В физической модели имитатор пленки жидкости представлен мыльным раствором, позволяющим характеризовать процесс формирования пузырьковых структур на молекулярном уровне [2].

Имитационное моделирование оценивает малодоступный динамический процесс смесеобразования при попадании топлива в камеру сгорания предпускового подогревателя (распределения жидкости в потоке воздуха) на основании доступных визуализации геометрических параметров пузырьковых структур (формы сфероидов, внешних радиусов и др.), наблюдаемых в дискретный момент времени. Физическая модель за конечный интервал времени имитирует структуры, зависящие от переменных параметров сборки подогревателя.

Монтаж сборочных компонентов физической модели включает полузакрытую емкость *1* (рис. 2, *а*) объемом $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ м^3, имитирующую штуцер с сетчатой насадкой (см. рис. 1). Струбцина *6* (см. рис. 2, *а*) за счет перемещения винтовой пары деформирует емкость, что создает избыточное давление воздуха на разделительную сетку *3*. Дозируемая силой *P* деформация сжатия эластичной емкости создает давление воздуха вдоль заданного осевого на-

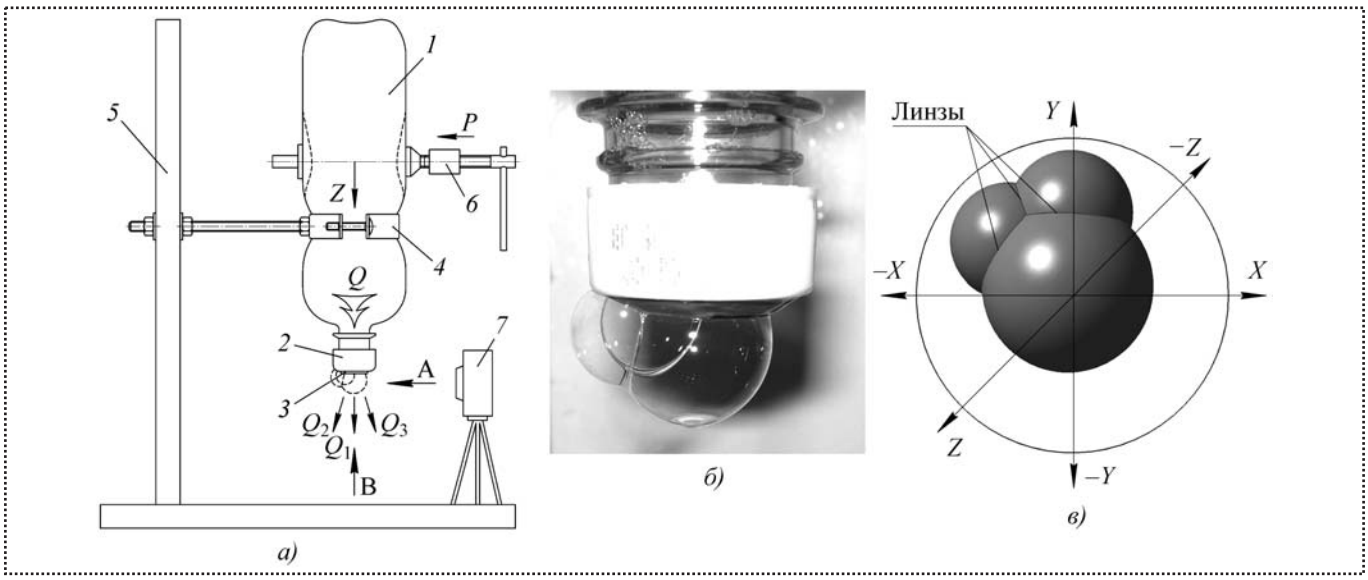


Рис. 2. Физический эксперимент и численное моделирование пузырьковых структур:
а – принципиальная схема установки;
б – пузырьковая структура (вид А);
в – сфероидная структура (вид В);
1 – полузакрытая емкость;
2 – насадка со сменными сетками;
3 – разделительная сетка;
4 – кронштейн;
5 – стойка;
6 – струбцина;
7 – цифровая фотокамера

правления Z. Осевой градиент давления Q генерирует на разделительной сетке топологию пузырьковой структуры (рис. 2, *б*) с количеством эллипсоидов по числу разделенных струй Q_n потока воздуха, обозначая их оси симметрии.

Вспомогательные средства включают сосуд емкостью $0{,}1 \cdot 10^{-3}$ м^3 для раствора концентрированного мыла, воды, глицерина и холодильную камеру. Вертикальный монтаж установки повторяет расположение штуцера с сетчатой насадкой в предпусковом подогревателе.

Разделителем потока жидкости является металлическая сетка, которая представляет собой диск диаметром $D = 16$ мм с фиксированным центром симметрии, разделенный многоугольными ячейками двух типоразмеров: $s_1 = 1 \cdot 1 = 1$ мм^2 и $s_2 = 0{,}5 \cdot 0{,}5 = 0{,}25$ мм^2. Многослойная структура насадки (по числу разделительных сеток) дополнительно включает переменный параметр h (1) – зазор между внутренними сетчатыми плоскостями, который необходимо оптимизировать в процессе сборки.

Цифровая фотокамера *7* (рис. 2, *а*) фиксирует форму внешней оболочки с пересечениями многомерных пузырьковых структур (см. рис. 2, *б*) в двух ортогональных проекциях А и В. Фиксированные формы структур показывают их визуальное сходство с почти сферическими вытянутыми поверхностями. Эти поверхности являются эллипсоидами вращения и конформно преобразуются в сфероиды пересекающихся шаровых поверхностей. Получено конечное множество почти сферических форм пересекающихся сфер с произвольным отношением их радиусов и расположением.

В САх-системе Unigraphics NX4 разработан изоморфизм трехмерных структур сфероидов (рис. 2, *в*) из двухмерного изображения пузырьковых структур (см. рис. 2, *б*). Установлено достаточно хорошее приближение почти сферических поверхностей пузырьковых структур на рис. 2, *б* к трехмерным шаровым фигурам на рис. 2, *в*. Пузырьки продолжительное время удерживаются на разделительной сетке силами поверхностного натяжения и статическим полем тяжести. Силовое замыкание приводит к геометрической симметрии пузырьковых структур и точности расположения ячеек разделительной сетки гидромониторной системы.

Вариационная схема сборки включает комбинации количества k разделительных сеток, вариантов площади s_k ячеек и значений их фазовых углов сдвига φ и реализует восемь вариантов монтажных схем экспериментальной установки.

При пересечении двух сфер каждая их них разбивается линией пересечения на две зоны, называемой линзой (см. рис. 2, *в*). Линза – это перегородка, ограниченная двумя такими зонами, принадлежащими разным сферам. Анализ множества форм пузырьковых структур показал наличие симметрии их расположения относительно разделительной сетки. При изменении точности расположения сетки возможен переход от асимметричной к симметричной форме пузырьковых структур.

Чтобы определить геометрический инвариантный параметр преобразования сфероидов всех вариантов сборок, применяется функция поверхностей уровня $S(\rho)$ (здесь ρ – сечения относительно сетчатой поверхности), ограниченная по координатам X и Y криволинейными поверхностями пузырьковых структур (рис. 3). Функция $S(\rho)$ имеет, в частном случае, семейство уровней $n_{\min} \le n \le n_{\max}$ ряда сечений с шагом $\Delta n = 20$, которые составляют конечную последовательность

$$\rho_1(-n + [m-1](\Delta n)) = -\frac{n - [m-1](\Delta n)}{10};\ \ldots; \qquad (2)$$
$$\rho_m(-n + n) = 0;\ \rho_{m+1}(n) = \frac{n + [m+1](\Delta n)}{10};\ \ldots,$$

где m – число сечений, ограниченных сетчатой насадкой;

n – число пересекающихся сфер.

Направление секущих поверхностей уровня следует связать с направлением силовых ли-

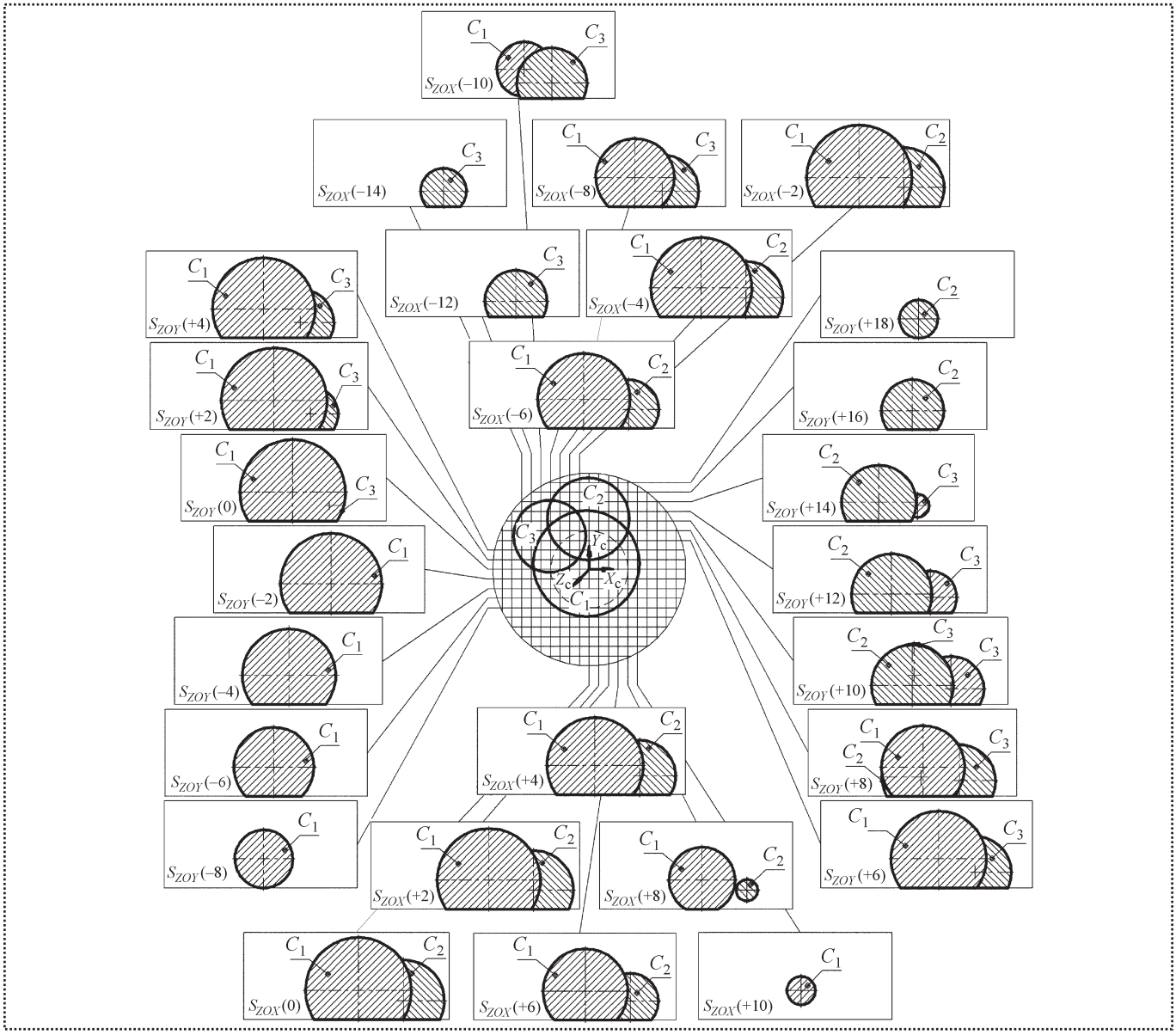


Рис. 3. Поверхности уровня функций $S_{i,j}^{x,y}(\rho)$ многосвязных поперечных сечений пузырьковой структуры:
i – номер сборки гидромониторной системы при выбранном переменном параметре соединений разделительной сетки в насадке;
j – номер повторения пузырьковой структуры при выбранном параметре сборки насадки;
X, Y, Z – направления ортогональных проекций секущих поверхностей уровня пузырьковой структуры относительно центра симметрии разделительной сетки;
в скобках указаны значения ρ

ний, используя ортогональное поперечное сечение с шагом квантования, равным 2 мм, измеренным вдоль силовой линии. В качестве силовых линий используем траектории вихревого воздушного потока, которые взаимодействуют с пузырьковой структурой в двух ортогональных проекциях. Для учета этих обстоятельств последовательность (2) преобразуется изоморфной последовательностью ряда

$$n_{\max} - 0 = 1;\ n_{\max} - 1 = 2;\ \ldots;\ n_{\max} - n_{\min} = n. \quad (3)$$

При проектировании множества сечений пузырьковой структуры на гиперплоскость свойства выпуклости и вогнутости сохраняют-

ся, а синтез секущих поверхностей уровня структуры увеличивает степень отличия вариантов сборки. С изменением технологических параметров разделительной сетчатой насадки картина распределения форм пузырьковых структур заметно меняется. На качественном уровне видна роль входного параметра узловой сборки гидромониторной системы на формирование выходного параметра, который характеризует заполнение объема камеры сгорания пузырьковой структурой.

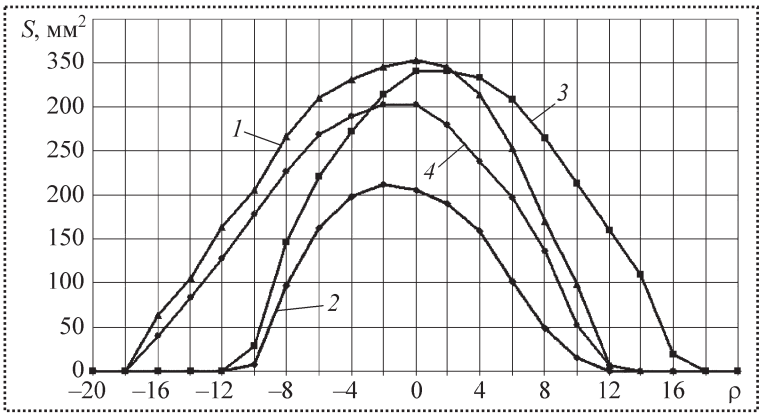


Рис. 4. Функции $S_{1,j}^{X,Y}(\rho)$ площадей поверхностей уровня пузырьковых структур:
1 – $X_{1;1}$; *2* – $X_{1;2}$; *3* – $X_{1;3}$; *4* – $X_{1;4}$

Привязка системы координат пузырьковой структуры осуществляется через точку центра симметрии разделительной сетки применяемой насадки. Независимость формы структуры от повторяемых вариантов сборки, на которые не оказывают влияния предшествующие результаты, достигали постоянством регламентированных условий моделирования процессов гидромониторной системы. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002 условие повторяемости обеспечивали одной и той же физической моделью, одним оператором в пределах промежутка времени t = 1,65 с.

При анализе влияния технологических параметров на топологию пузырьковых структур рассматривали одновременно несколько величин, получаемых в результате эксперимента: вероятности форм структур и свойств угловых расположений разделительных сеток узловой сборки. Влияние воздушных потоков на пленку жидкости с последующим формированием пузырьковой структуры на разделительной сетке оценивали по значениям статистических параметров среднего арифметического и среднеквадратического отклонений форм структуры. Такой алгоритм позволяет использовать параметризацию ее форм при растекании жидкой пленки под давлением на разделительной сетке.

На рис. 4 представлены функции $S_{1,j}^{X}(\rho)$ площадей поверхностей уровня пузырьковых структур четырех реализаций j ($j_1 = 1, j_2 = 2$, $j_3 = 3$ и $j_4 = 4$) по варианту сборки $i = 1$. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002 из четырех реализаций, проверенных по критерию повторяемости дисперсии и математического ожидания (табл. 1), реализация $j_2 = 2$ не удовлетворяет требованию повторяемости по установленному регламенту проведения эксперимента.

Для определения достоверности принятого решения об исключении повторения $j_2 = 2$ результатов сборки $i = 1$ воспользуемся второй статистической моделью оценки процесса, включающего множество случайных положи-

Таблица 1

Математическое ожидание и дисперсия повторяемости сборки по функции $S_{1,j}^{X,Y}(\rho)$

Статистические критерии	j_1		j_2		j_3		j_4	
	$X_{1;1}$	$Y_{1;1}$	$X_{1;2}$	$Y_{1;2}$	$X_{1;3}$	$Y_{1;3}$	$X_{1;4}$	$Y_{1;4}$
Математическое ожидание	152,39	140,33	134,09	134,18	75,22	75,36	133,97	135,02
Дисперсия	24 761,90	17 846,02	13 181,56	18 322,98	10 771,66	6 034,82	20 186,35	13 652,45

тельных значений, используя χ^2-распределение.

Выполним анализ повторяемости функции $S_{i,j}^{X,Y}(\rho)$ на статистическую однородность результатов вариантов сборки гидромониторной системы, оценивающей многосвязную форму пузырьковой структуры. Рассчитаем разности проекций площадей структуры по координате X:

$$X_{i,j+1}(\rho) = |S_{i,j}^{X}(\rho) - S_{i,j+1}^{X}(\rho)| : i = \overline{1,\ 3};\ j = 1,\ 2. \quad (4)$$

Состоятельность гипотезы о статистической однородности упорядоченной совокупности ранжированного ряда (2) проверим по значению функции [3]

$$U(\rho_n^2) = \frac{n-1}{n(n-l)l} \frac{\left[(n-l)\sum_{s=1}^{l} x_{s_j} - l\sum_{s=l+1}^{n} x_{s_j}\right]^2}{\sum_{s=1}^{n} x_{s_j}^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{s=1}^{n} x_{s_j}\right)^2}, \quad (5)$$

где $U(\rho_n^2)$ – статистическая последовательность площадей сечений сфероидов по координате X;

n – число сечений поверхностей уровня статистической совокупности (2);

$l = \overline{1,\ n}$ – последовательность положительных целых чисел;

x_{s_j} – абсолютные величины разности значений поверхностей уровня ρ при j сборке.

Результаты расчетов по формуле (5) признают не противоречащими принятию гипотезы о статистической однородности, если выполняется неравенство

$$U(\rho_n^2) \le \chi^2_{\alpha,\ r}, \quad (6)$$

где α – уровень значимости;

r – число степеней свободы статистической совокупности.

Численные значения для оценки статистической однородности повторяемости результатов по (4), (5) представлены в табл. 2.

Таблица 2

Функции $U(\rho_n^2)$ разности площадей поверхностей уровня пузырьковых структур по координате X первой сборки i = 1

n	$\lvert X_{s_1}^{i;\ j}\rvert$						$\rho_n^{i;\ j}$						$U(\rho_n^2)^{i;\ j}$					
	1;2	1;3	1;4	2;3	2;4	3;4	1;2	1;3	1;4	2;3	2;4	3;4	1;2	1;3	1;4	2;3	2;4	3;4
1	5,87	19,60	5,87	09,13	11,31	19,6	12	16	12	14	10	16	0,96	8,05	0,96	9,43	6,27	3,30
2	82,73	109,1	71,42	60,51	95,74	109,1	10	14	10	12	8	14	1,57	10,1	–	7,83	8,85	4,83
3	121,4	154,6	25,67	197,5	64,27	160,5	8	12	8	10	6	12	1,27	5,91	0,19	3,95	3,77	0,16
4	152,0	114,8	12,24	215,5	69,96	186,2	6	10	6	8	4	10	0,70	9,13	0,07	–	2,65	–
5	155,2	94,10	14,76	207,1	75,66	119,7	4	8	4	6	2	8	0,60	10,9	0,13	2,00	0,8	3,62
6	154,9	55,13	20,77	173,6	75,78	42,89	2	6	2	4	0	6	0,58	10,3	0,18	5,86	–	6,41
7	147,0	18,33	28,70	163,3	62,96	3,66	0	4	0	2	–2	4	0,93	5,85	0,26	6,99	4,78	1,97
8	132,9	4,88	30,01	134,6	49,27	25,65	–2	2	–2	0	–4	2	1,07	2,11	0,29	9,10	6,12	4,56
9	132,1	12,46	17,17	101,3	34,61	41,16	–4	0	–4	–2	–6	0	1,11	4,01	3,91	8,82	8,10	5,37
10	147,9	31,64	13,33	75,9	43,51	61,65	–6	–2	–6	–4	–8	–2	0,78	10,0	0,11	8,43	7,08	6,35
11	170,3	56,2	26,82	59,46	70,08	73,37	–8	–4	–8	–6	–10	–4	0,29	11,0	0,21	6,93	1,74	6,78
12	197,0	88,48	26,96	49,28	05,30	75,15	–10	–6	–10	–8	–12	–6	–	11,7	0,22	1,96	9,31	6,93
13	164,2	121,0	58,94	20,23	63,46	94,23	–12	–8	–12	–10	–14	–8	0,41	8,34	0,21	3,07	8,43	6,21
14	105,3	176,8	41,91	–	–	149,8	–14	–10	–14	–	–	–10	1,32	–	0,34	–	–	1,64
15	63,84	164,2	63,84	–	–	105,3	–16	–12	–16	–	–	–12	1,35	3,22	0,12	–	–	5,47
16	–	105,3	–	–	–	63,46	–	–14	–	–14	–	–	–	10,3	–	–	–	6,55
17	–	63,84	–	–	–	–	–	–16	–	–	–	–	–	12,1	–	–	–	–

Полученные данные указывают на то, что повторение $j_2 = 2$ не удовлетворяет требованию (6) при выбранном уровне значимости $\alpha = 0{,}9995$.

По результатам моделирования можно найти функцию распределения, описывающую форму пузырьковой структуры. Статистическая модель ее визуализации позволяет описать процесс формирования пересекающихся сфероидов с одинаковыми начальными импульсами давления на пленках жидкости, смачивающей разделительную сетку насадки.

Качество узловой сборки предпускового подогревателя по параметру расположения разделительной сетки оценивается изменением дисперсии площадей сфероидов визуализированных пузырьковых структур. Увеличение дисперсии их топологии – результат процесса флуктуации, возникающего от погрешности расположения разделительной сетки при узловой сборке.

Выводы

В ходе теоретико-экспериментальных исследований установлены связи видов пузырьковых структур с технологическими параметрами, подтверждающие предположение зависимости качества процессов смесеобразования от параметров сборки предпускового подогревателя.

Методика моделирования пузырьковых структур, выполненная по критериям ГОСТ Р ИСО 5725-1–2002, обеспечивает повторяемость результатов серий экспериментов трех реализаций из четырех для каждого варианта монтажной схемы узловой сборки и сопоставима с результатами модели статистической однородности.

На основе визуализации процессов физического имитационного моделирования разработана методология оценки образов форм эллипсоидов пузырьковых структур по пересекающимся многомерным сфероидам, что позволяет выполнить мониторинг сборочных процессов гидромониторных систем.

Библиографический список

1. **Толоконников С.В.** Моделирование точечно-капельных процессов в зависимости от погрешности сборки узла штуцера тепловых подогревателей // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2009. № 7. С. 39–43.

2. **Дао Чонг Тхи, Фоменко А.Т.** Минимальные поверхности и проблема Плато. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. 312 с.

3. **Рыльцев И.К., Журавлев А.Н., Толоконников С.В.** Технологическая подготовка гибкого производства: учеб. пособ. – Самара: СамГТУ, 2006. 96 с.

УДК 621.075

А.Н. Журавлев, *канд. техн. наук,* **И.К. Рыльцев,** *д-р техн. наук*
(Самарский государственный технический университет)
E-mail: pva_samara@mail.ru

Методика многопараметрической селекции структурно упорядоченной сборки буровых долот

Разработана методика повышения эффективности сборки буровых долот способом многопараметрической селекции с использованием множества пространственно-временных структур сборочных операций узловой и общей сборки.

The method of increase efficaciousness assembling of the rock bits is developed by the means of multiparameter selection with using multitude spatially temporary structures of assembly operations of the nodal and lumpsum assembling.

Ключевые слова: *структурно упорядоченная сборка, моноид, опора бурового долота, секция бурового долота, многопараметрическая селекция.*

Key words: *structurally ordered assembly, monoid, rock bit bearing, rock bit section, multiparameter selection.*

Как показывает статистика эксплуатации буровых трехшарошечных долот, при бурении все три секции долота испытывают неравные нагрузки N, представленные в виде ранжированного ряда $N^3 > N^1 > N^2$, который соответствует эксплуатационным ресурсам $T_э^3 > T_э^1 > T_э^2$ секций, помеченных верхними цифровыми индексами. Этому условию эксплуатации отвечают благоприятные варианты сборки долот с размерными соотношениями высотных параметров $H_\Sigma^3 > H_\Sigma^1 > H_\Sigma^2$ в комплекте секций под сварку.

Благоприятный исход сборки долот обеспечивает равенство эксплуатационных ресурсов $T_э^1 \approx T_э^2 \approx T_э^3$ всех секций долота. При неструктурированной неупорядоченной сборке (ННС) под сварку секций долота условная вероятность благоприятного исхода маловероятна: $P_1(H_\Sigma^3 > H_\Sigma^1 > H_\Sigma^2) \approx 0{,}001$. Значение вероятности P_1 случайного события получено из условия благоприятного исхода, отнесенного к числу сочетаний $C_{18}^3 = 816$, где 18 – число состояний высот H_k^1, H_k^2, H_k^3 трех секций при попадании в один, например, из шести групп k равных интервалов допуска на разновысотность.

Для повышения качества буровых долот разработана методика сборки, обеспечивающая условную вероятность $P_2(H_\Sigma^3 > H_\Sigma^1 > H_\Sigma^2) \approx 1$ благоприятных исходов $H_\Delta^{1,2,3} \le \delta_\Delta$ и $H_\Sigma^{1,2,3} \le \delta_\Sigma^H$ в пределах допусков δ_Δ, δ_Σ^H соответственно на разновысотность общей сборки и на высоту секции узловой сборки способом структурной многопараметрической селекции (СМС).

В отличие от ННС структурно упорядоченная сборка (СУС) повышает определенность пространственно-временного положения секций в долоте, обеспечивая устойчивые связи между ними как на этапе сборки, так и на этапе эксплуатации. Это позволяет в соответствии с закономерностями конструктивной симметрии предсказать допустимые изменения положений узлов в процессе эксплуатации.

СУС включает два этапа: узловую сборку секций (роликовых опор) и общую сборку долот (секций под сварку). Узловая СУС секций основана на полиструктурной селекции комплектов роликов в опоре, по результатам которой рассчитывают ресурс опор $\{T_э\}^{1,2,3}$ каждой секции. В методике общей СУС долот [1] используются оценки параметров: расчетного ресурса $\{T_э\}^{1,2,3}$, измеренной высоты $\{H_{n,\Sigma}\}^{1,2,3}$

и радиального биения $\{R_{n,\Sigma}\}^{1,2,3}$ секции. Эти параметры составляют необходимые и достаточные условия реализации общей СУС долот способом СМС.

По ГОСТ 20692–75 на шарошечные долота диаметром от d = 46 мм до D = 374,6 мм установлены допуски на разновысотность $\delta_\Delta(d)$ = = 0,5 мм; $\delta_\Delta(D)$ = 1,2 мм долота и радиальное биение шарошки относительно оси цапфы $\delta_\Sigma^R = 0{,}4$ мм на операции узловой сборки секций. Все составляющие звенья $H_n^{1,2,3}$ действительных n размеров основной размерной цепи долота (рис. 1) измерены в линейных шкалах длины и их комбинации составляют расчетное множество показателя разности высот сопрягаемых секций в долоте:

$$\{H_\Delta^{i-j}\} \supset \{H_\Sigma^1\} \cup \{H_\Sigma^2\} \cup \{H_\Sigma^3\}, \qquad (1)$$

где i, j – номера соседних сопряженных секций в долоте, удовлетворяющих условию кольцевой симметрии;

$H_\Delta^{i-j} = H_\Sigma^i - H_\Sigma^j$ – разновысотность i-й базовой секции в сравнении с j-ми присоединяемыми секциями на операции общей сборки долота.

Качество общей сборки долот в соответствии с техническими условиями определяется геометрическим параметром разновысотности $H_\Delta^{1,2,3} \le \delta_\Delta$ соединений [1–2]; [2–3]; [3–1] секций в виде нестрогих неравенств

$$H_\Delta^{1-2} \le 1{,}2 \text{ мм}; \; H_\Delta^{2-3} \le 1{,}2 \text{ мм}; \; H_\Delta^{3-1} \le 1{,}2 \text{ мм}. \qquad (2)$$

Узловая СУС секций включает оценки скалярной величины расчетного множества ресурса $T_э$ внешнего контура роликовой опоры. Контурная компонента – это скаляр временной шкалы расчетного ресурса, поставленный в соответствие контуру узла каждой секции долота. Контурная компонента внешних связей секций долота обладает кольцевой симметрией, как и расчетное множество (1) разновысотности. Это определяющее свойство позволяет построить структурно-селективные группы пространственно-временных преобразований размерных связей по параметру равнонагруженности секций в пределах допустимой разновысотности общей сборки долота.

Структурным анализом конструкций секций долот на этапе узловой СУС секций в роликовых опорах выделен взаимосвязанный контур (рис. 2) $Б \equiv (A_1 \cap A_2)$ из двух внутренних контуров $D_{\breve{N}}^{БРД} \in \{A_1\}$ диаметров роликов большой роликовой дорожки (БРД) и $d_{\breve{n}}^{МРД} \in \{A_2\}$ диаметров роликов малой роликовой дорожки (МРД), обладающих свойством вращательной симметрии комплекта роликов в опоре. Ролики во всех опорах долота вращаются с постоянной угловой скоростью относительно выбранной системы координат.

Взаимосвязанный контур узловой сборки секций объединяет варианты сочетаний $(C_{\breve{N}}^3)_{БРД} \cup (C_{\breve{n}}^3)_{МРД}$ из множества роликовых структур $\{m\}$ комплектов роликов, составленных из чередующихся роликов трех селективных групп по количеству $\breve{N}$ и $\breve{n}$ роликов.

Структурные связи соединений узловой сборки представлены размерами угловых расположений осей симметрии роликовых опор секций. На рис. 2 оси симметрии отражают все виды соединений, реализованные узловой сборкой, принадлежность которых к сборочным компонентам представлена в табл. 1.

Многозвенная производная размерная цепь $H_2^{1,2,3} = R_\Sigma^{1,2,3}$ радиального биения узловой сборки секции указывает на необходимость структуризации контурных связей. Выполнение условия структуризации, во-первых, снижает неопределенность контактных взаимодействий в подвижных соединениях роликовой опоры секции и повышает достоверность расчета ресурса на этапе узловой СУС. Во-вторых, позволяет реализовать общую сборку под сварку секций способом СМС с учетом накладываемых временных ограничений $T_э^{1;2;3}$ расчетного ресурса опор. Контурные внешние связи секций, поступающих на сварку, $T_э^{1,2,3} = f(\varphi, m)$ являются комбинацией показателей угловых смещений φ комплектов роликов, сохраняющих свойство осевой симмет-

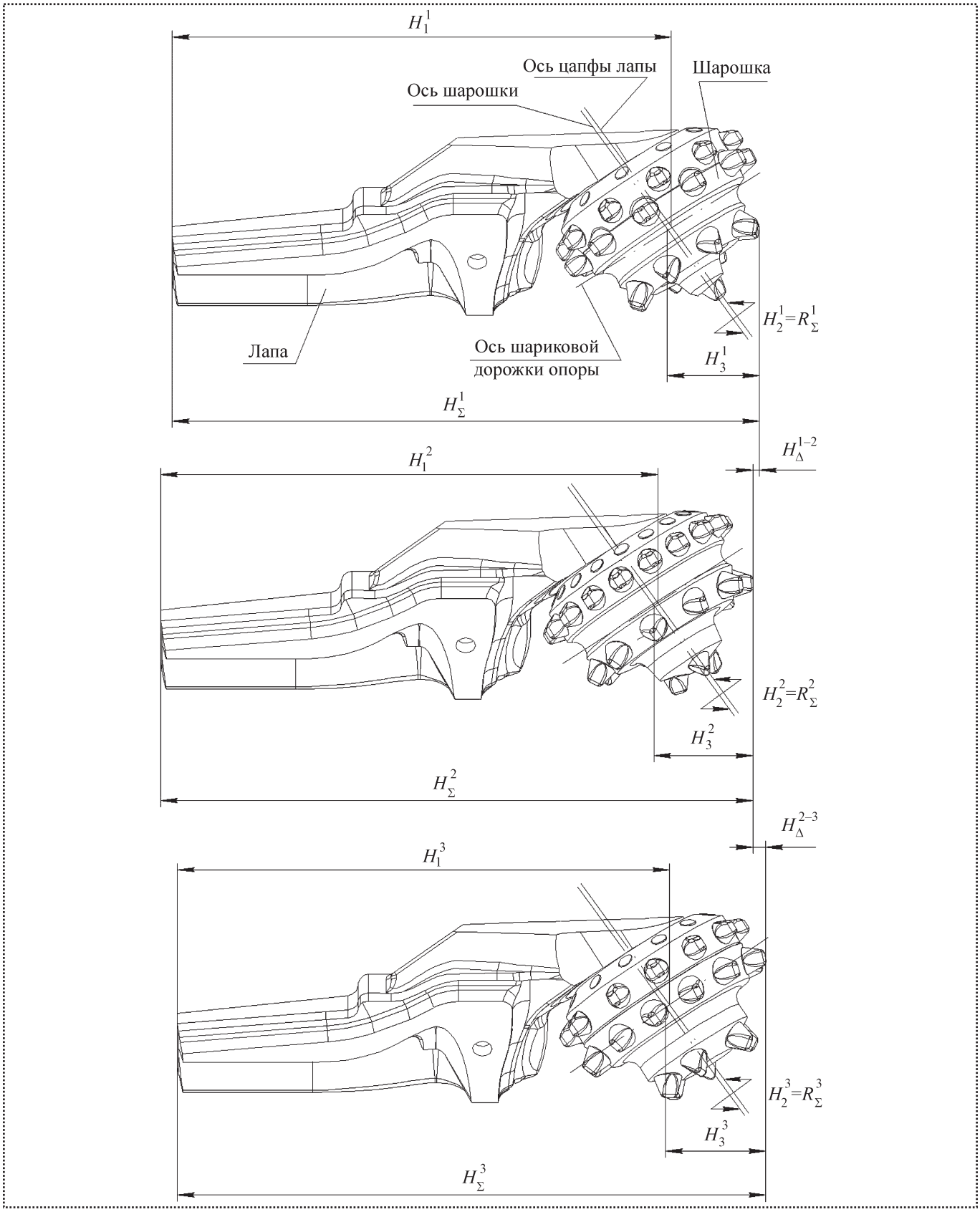


Рис. 1. Составляющие звенья размерной цепи разновысотности секций

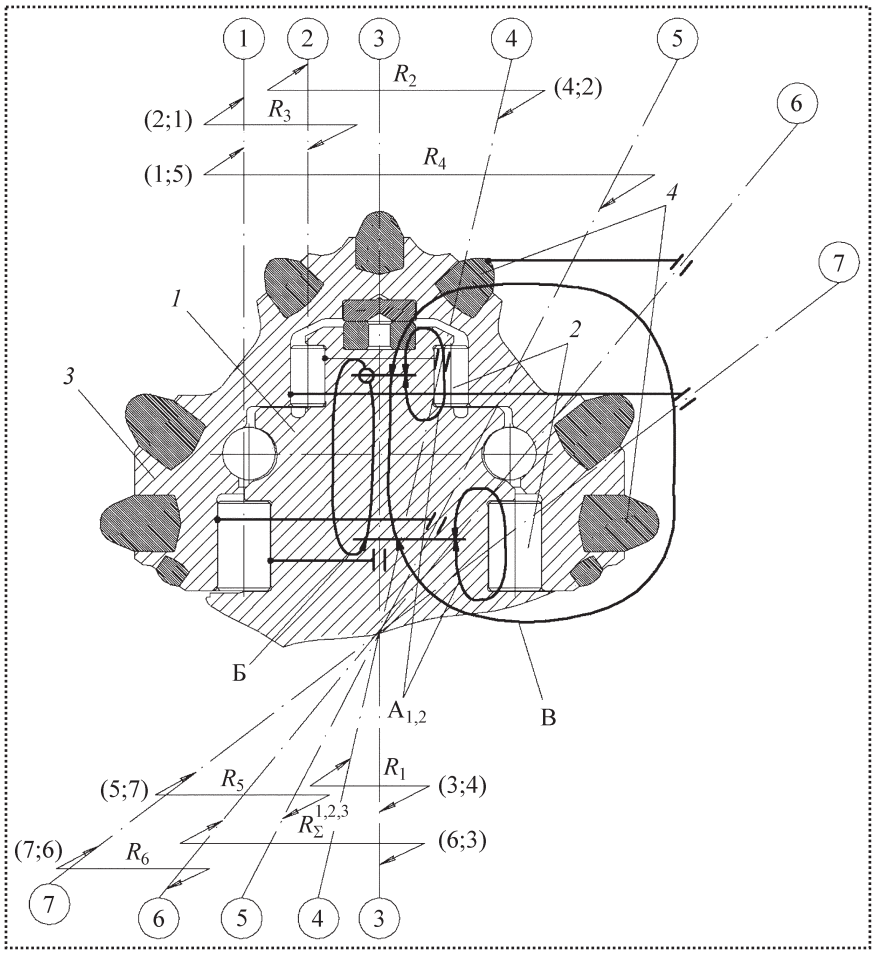


Рис. 2. Контурные связи радиальных биений узловой сборки опоры долота:
1 – цапфа лапы;
2 – ролики большой и малой беговых дорожек;
3 – шарошка;
4 – породоразрушающие зубки

рии. Угловое смещение влияет на соосность узловой сборки опор секций, от которой зависит радиальное биение R_Σ шарошки, являющееся производной размерной цепью общей сборки долота.

Алгоритм общей СУС долот должен удовлетворять условию равнонагруженности $T_э^1 \approx T_э^2 \approx T_э^3$ роликовых опор при комплектации секций под сварку. Для выполнения этого условия необходимо учитывать два вида ограничений на пространственные и временные связи секций долота.

Пространственные ограничения оценки качества СУС долота структурной разновысотности обеспечиваются решением вариационных уравнений размерной цепи по измеренным показателям высоты секций и их радиальных биений:

$$H_\Delta^{i,j} = \sqrt{(H_{1,3}^i - H_{1,3}^j)^2 + (|\vec{R}_\Sigma^i| + |\vec{R}_\Sigma^j|)^2}, \qquad (3)$$

где $H_\Delta^{i,j}$ – разновысотность секций *i* и *j*, мм;

$R_\Sigma^{i,j}$ – радиальные биения *i*-й и *j*-й секций, мм.

Абсолютное значение радиального биения *i*-й секции соединения шарошки с цапфой лапы

$$|R_\Sigma^i| = \{R_{\max}(\beta) - R_{\min}(\beta)\}_k^i\big|_{\beta=\overline{0,\ 2\pi}}. \qquad (4)$$

Таблица 1

Номер оси	Оси симметрии сборочных компонент	Обозначение контуров		
		Внутренний	Взаимосвязанный	Внешний
1	Роликов большой роликовой дорожки	A_1	Б	В
2	Роликов малой роликовой дорожки	A_2		
3	Большой роликовой дорожки на цапфе лапы	A_1	Б	
4	Малой роликовой дорожки на цапфе лапы	A_2		
5	Большой роликовой дорожки шарошки	A_1	Б	
6	Зубков верхнего ряда	–		
7	Малой роликовой дорожки шарошки	A_2	–	

Составляющие звенья H_Σ приведенной размерной цепи определяются как сумма измеренных высот лапы $H_1^{л}$ и шарошки $H_3^{ш}$, включая $H_2^{л,\,ш} \equiv R_\Sigma$ радиальное биение i-го соединения:

$$H_\Sigma^i = (\vec{H}_1^{л} + \vec{H}_3^{ш} \pm \vec{H}_2^{л,ш})^i, \qquad (5)$$

где $H_1^{л}$ – расстояние от основания до канавки замка лапы, мм;

$H_3^{ш}$ – расстояние между базовой поверхностью и верхней точкой на рабочей поверхности шарошки, мм;

индексы 1, 2, 3 – номера составляющих звеньев размерной цепи.

Полученные уравнения размерных связей относительно этих инвариантных преобразований позволяют найти решения СМС общей сборки долот и корректно оценить качество СУС в параметрическом виде.

По измеренным размерам высоты $H_{n,\Sigma}^{1,2,3}$ секций производится их селекция $H_{k,\,\Sigma}$. Номера селективной группы k присоединяемых секций должны удовлетворять структурным соотношениям высот $H_\Sigma^{1,2,3}$ секций долота ($H_\Sigma^2 \le H_\Sigma^1$; $H_\Sigma^2 > H_\Sigma^3$; $H_\Sigma^1 \le H_\Sigma^3$) при условии $H_\Delta^{1,2,3} \le \delta_\Delta$. Неравенства высот секций выполняются в пределах допуска δ_Δ на разновысотность долота.

Процедура соответствия измеренных высот секций номерам селективных групп включает расчет количества групп по их интервальным значениям, которые определяются делением без остатка допуска δ_Σ^H высоты секций на равные интервалы. Тогда функция номеров селективных групп $k(H_n^1)$ отображается областью допустимых изменений действительных размеров высот $H_{n,\Sigma}^{1,2,3}$ секций, заключенных между двумя конечными положительными границами целочисленного множества интервалов:

$$k(H_{n,\Sigma}^{1,2,3}) = \begin{cases} 1, \ [H_{\min}^{1,2,3} \le H_{n,\Sigma}^{1,2,3} \le H_{\min}^{1,2,3} + \Delta) \\ 2, \ (H_{\min}^{1,2,3} + \Delta) < H_{n,\Sigma}^{1,2,3} \le (H_{\min}^{1,2,3} + 2\Delta) \\ \dots \\ w_{1,2,3}(H_{\min}^{1,2,3} + w_{1,2,3}\Delta) < H_{n,\Sigma}^{1,2,3} \le H_{\max}^{1,2,3}] \end{cases}, \qquad (6)$$

где $H_{n,\Sigma}^1$ – действительный размер n-го значения высоты H 1-й секции замыкающего звена Σ, мм;

Δ – приращение параметра высоты секции долота, мм.

Номера селективных групп k составляют целочисленное множество K положительных чисел $k_{w_1}(H_{n,\Sigma}^1)$, $k_{w_2}(H_{n,\Sigma}^2)$, $k_{w_3}(H_{n,\Delta}^3) \in K$. Примем равенство мощности $\{w_1 = w_2 = w_3\}$ трех подмножеств целочисленного множества W номеров селективных групп для каждого конструктивного исполнения секций. Номера селективной группы j-й секции относительно k-й селективной группы измеренных значений высот i-й секции удовлетворяют заданным структурным соотношениям высот и обеспечивают разновысотность секций долота в пределах допуска.

Алгоритм СМС основан на целочисленном множестве, которое представлено моноидом [2], позволяющим из одного типа целочисленных переменных номеров селективных групп и правил их комбинирования получить новые элементы комплекта номеров селективных групп того же целочисленного типа. Применение моноидов связано с тем, что они не зависят от способа комбинирования номеров селективных групп. Схема моноида выполняет правило ассоциативности. Такая схема преобразования множества номеров селективных групп не зависит от первого элемента, с которого начинают комплектование секций.

Способ СМС задает структуру комплекта присоединяемых секций на множестве комбинаций номеров селективных групп. Базовым множеством номеров селективных групп является $k(H_n^1)$ первая секция, так как занимает среднее положение в соотношении высот сек-

ций комплекта долота. Тогда при выборе номеров селективных групп присоединяемых секций должно выполняться условие разновысотности второй $H_n^1 \le H_n^2$ и третьей $H_n^1 \ge H_n^3$ секций.

Для моноидов это условие означает r правый и l левый сдвиги при выборе номера селективной группы $k_r(H_n^2)$ второй и $k_l(H_n^3)$ третьей секций. Моноиды допускают правило комбинирования номеров селективных групп комплектов двух секций к базовой первой секции при условии $l = r = 0$ для крайних значений и $l = r = 1$ в остальных случаях:

$$k_r(G^{1,2}) = \begin{matrix} k(H_n^1) \\ k_r(H_n^2) \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 6 \\ 1^* & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{pmatrix}, \quad k_l(G^{1,3}) = \begin{matrix} k(H_n^1) \\ k_l(H_n^3) \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 6^* \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где $k_l(G^{1,2})$, $k_r(G^{1,3})$ – матрицы преобразования номеров селективных групп секций, включающих соединения $G^{1,2}$, $G^{1,3}$ соответственно второй и третьей секций к первой базовой секции;

1^*, 6^* – модифицированная селективная группа, объединяющая соответственно первую со второй и шестую с пятой группами.

В случае ННС роликовых опор алгоритм комплектования секций под сварку на этапе СУС долот способом СМС включает следующие технологические переходы. После измерений $H_n^{i,j,s}$ высот секций каждого конструктивного исполнения секциям присваивают номера селективных групп (6). Подбирают в комплект к базовой секции H_n^1 с произвольно выбранным номером k-й селективной группы присоединяемые секции с номерами селективных групп, принадлежащих элементам вторых строк (7). В результате СУС буровых долот способом СМС однозначно определен выбор трех секций в комплекте, обеспечивая условную вероятность $P_2[(H_\Sigma^3 > H_\Sigma^1 > H_\Sigma^2) \vee (H_\Delta^{1,2,3} \le \delta_\Delta) \vee (H_\Sigma^{1,2,3} \le \delta_\Sigma^H)] \approx 1$ благоприятных исходов.

Ресурсные ограничения способствуют улучшению эффективности многопараметрической селекции при выполнении узловой и общей СУС буровых долот. Они оцениваются виртуальными геометрическими дополнениями $\hat{H}^{1,2,3}$ контурных компонент A_1, A_2, величина и знак которых позволяют составить комплект секций. Выполнив преобразования исходного моноида, делают окончательный выбор секции под сварку долота по номерам селективных групп. Величину и знак относительного смещения определяют на основе виртуального геометрического дополнения высотного параметра секций. Эти дополнения $\hat{H}^{i,j,s}$ вычисляют как проекции выравнивающих множителей $\mu^{1-2;1-3}$ производной размерной цепи $R_\Sigma^{1,2,3}$ на замыкающие размеры $H_\Delta^{1-2;2-3}$ соединений секций долота.

Алгоритм определения геометрических дополнений трехшарошечных долот приводит к задаче поиска такого значения выравнивающего множителя μ, которое обеспечит условие равномерных нагрузок на секции долота в пределах установленного допуска на разновысотность общей СУС долот. Численные значения и знаки выравнивающих множителей для каждого соединения определяются по зависимостям:

$$\mu_{R_\Sigma}^{1-2} = \frac{|H^{1-2}_{\Delta,k_r(G^{1,2})}|T_э^1}{T_э^2} \Bigg| k_r(G^{1,2}) = \begin{cases} k(H_n^1) \\ k_r(H_n^2) \end{cases}; \quad \mu_{R_\Sigma}^{1-3} = \frac{|H^{1-3}_{\Delta,k_l(G^{1,3})}|T_э^1}{T_э^3} \Bigg| k_l(G^{1,3}) = \begin{cases} k(H_n^1) \\ k_l(H_n^3) \end{cases}; \quad (8)$$

$$\mathrm{sign}\hat{\mu}^{i,j} = \begin{cases} +, & (T_э^i - T_э^j) > 0 \\ -, & (T_э^i - T_э^j) < 0 \end{cases}; \quad \mathrm{sign}\hat{\mu}^{i,s} = \begin{cases} +, & (T_э^i - T_э^s) < 0 \\ -, & (T_э^i - T_э^s) > 0 \end{cases}, \quad (9)$$

где $T_э^{i-j}$ – расчетные ресурсы i-й и j-й опор секций узловой сборки секций, ч;

H_{Δ}^{i-j} – разновысотность соединения i-й и j-й секций замыкающего звена общей сборки долота, мм;

μ – выравнивающий множитель соединений, определяющий относительное смещение номера селективных групп j-й и s-й секций, мм;

$\hat{\mu}$ – знаковая функция выравнивающего множителя.

Расчетные значения выравнивающих множителей (8), их знака (9) и угла наклона α оси цапфы лапы позволяют определить геометрические дополнения общей сборки секций под сварку:

$$\hat{H}^{j,s} = \begin{cases} \mu^{i,j}\hat{\mu}^{i,j}\cos\alpha \\ \mu^{i,s}\hat{\mu}^{i,s}\cos\alpha \end{cases}, \qquad (10)$$

где $\hat{H}^{j,s}$ – виртуальные геометрические дополнения j-й и s-й секций, изменяющие виртуально высотные параметры $H_{\Sigma}^{1,2,3}$ секций на величину их расчетного ресурса, мм.

Виртуальные геометрические дополнения учитывают временной фактор $T_{э}^{1,2,3}$ расчетного ресурса опор секций при их комплектации под сварку долота. По зависимости (10) рассчитывают $\hat{H}^{j}$ с учетом знака. Правильность расчета определяют проверкой соотношения, удовлетворяющего условию кольцевой симметрии:

$$H_{n}^{2} \geq H_{n}^{3}. \qquad (11)$$

На основании представленного алгоритма разработана технология сборки способом СМС под сварку секций долот, опоры которых собраны в соответствии с технологиями СУС и ННС [1].

В случае узловой СУС роликовых опор секций общая сборка долот способом СМС включает уточняющую процедуру окончательного выбора номеров k селективных групп присоединяемых секций. Уточняющая процедура корректирует моноид селективных групп (7), приравнивает мощности подмножеств селективных групп трех секций наибольшему общему делителю (НОД) $\{w_1 = w_2 = w_3 = \text{НОД}\}$ допуска разновысотности δ_{Σ}^{H} секций и значений геометрических дополнений (10).

После уточняющей процедуры составляют модифицированный моноид номеров селективных групп каждой секции, при этом сохраняются l и r преобразования, обеспечивая структурные соотношения $H_{\Sigma}^{1,2,3}$ высот секций. Затем их номера заносят в технологическую карту сборки, в соответствии с которой сгруппированный комплект секций под сварку поступает на общую сборку долота. Это позволяет структурно упорядочить множества секций по селективным группам, внутри которых проводится комплектование секций по частным показателям их действительных размеров и расчетных ресурсов.

Рассмотрим пример численного расчета групп СМС для долота типа 187,3МЗ-ПГВ.

Исходные данные:

– суммарная высота секции согласно чертежу $H_{\Sigma}^{1,2,3} = 290 \pm 0{,}4$ мм;

– расчетный ресурс 1-й секции (опоры) $T_{э}^{1} = 31{,}17$ ч;

– расчетный ресурс 2-й секции (опоры) $T_{э}^{2} = 29{,}77$ ч;

– расчетный ресурс 3-й секции (опоры) $T_{э}^{3} = 38{,}71$ ч;

– угол наклона цапфы согласно чертежу $\alpha = 36°$.

Структурное соотношение высот должно удовлетворять неравенствам: $H^2 \leq H^1$; $H^1 \leq H^3$.

Расчет селективных групп выполнен по формуле (6):

Группы	Интервалы	Среднее
	для 1-й секции	
1	$289{,}6 \leq H_1^1 < 289{,}8$	289,7
2	$289{,}8 < H_2^1 < 290{,}0$	289,9
3	$290{,}0 < H_3^1 < 290{,}2$	290,1
4	$290{,}2 < H_4^1 < 290{,}4$	290,3
	для 2-й секции	
1	$289{,}6 \leq H_1^2 < 289{,}8$	289,7
2	$289{,}8 < H_2^2 < 290{,}0$	289,9
3	$290{,}0 < H_3^2 < 290{,}2$	290,1
4	$290{,}2 < H_4^2 < 290{,}4$	290,3

	для 3-й секции	
1	$289{,}6 \le H_1^3 < 289{,}8$	289,7
2	$289{,}8 < H_2^3 < 290{,}0$	289,9
3	$290{,}0 < H_3^3 < 290{,}2$	290,1
4	$290{,}2 < H_4^3 < 290{,}4$	290,3

Представление групп моноидов по базовому множеству групп 1-й секции:

$k(H_n^1)=$	1	2	3	4
$k(H_n^2)=$	1	1	2	3^*
$k(H_n^1)=$	1	2	3	4
$k(H_n^3)=$	2	4	4	3^*

3^* – смешанная группа объединения 3-й и 4-й групп 2-й секции в интервале 290,0–290,4 мм со средним значением 290,2 мм.

Полученные варианты сборок представлены в табл. 2. Здесь 2^* – смешанная группа объединения 1-й и 2-й групп 3-й секции в интервале 289,6–290,0 мм со средним значением 289,8 мм.

Проверка результатов согласно неравенствам, характеризующим структурное расположение секций в долоте:

1-й вариант сборки:

$$H_{\text{ср}}^3 > H_{\text{ср}}^1 = H_{\text{ср}}^2;$$

2-й вариант сборки:

$$H_{\text{ср}}^3 > H_{\text{ср}}^1 > H_{\text{ср}}^2;$$

3-й вариант сборки:

$$H_{\text{ср}}^3 > H_{\text{ср}}^1 > H_{\text{ср}}^2;$$

4-й вариант сборки:

$$H_{\text{ср}}^3 = H_{\text{ср}}^1 > H_{\text{ср}}^2.$$

Все условия структуры разновысотности выполняются, поскольку удовлетворяют неравенствам.

Определены численные значения и знаки выравнивающих множителей для каждого варианта сборки по зависимостям (8)–(10):

1-й вариант сборки

$$|H_{\Delta}^{1-2}| = 289{,}7 - 289{,}7 = 0;$$

$$|H_{\Delta}^{1-3}| = 289{,}7 - 289{,}8 = 0{,}1 \text{ мм};$$

$$\mu_R^{1-2} = (0 \cdot 31{,}17)/29{,}77 = 0;$$

$$\mu_R^{1-3} = (0{,}1 \cdot 31{,}17)/38{,}71 = 0{,}08 \text{ мм};$$

$$\hat{H}^{1-2} = 0 \cdot \cos 36° = 0;$$

$$\hat{H}^{1-3} = 0{,}08 \cdot \cos 36° = 0{,}064 \text{ мм};$$

2-й вариант сборки

$$|H_{\Delta}^{1-2}| = 289{,}9 - 289{,}7 = 0{,}2;$$

$$|H_{\Delta}^{1-3}| = 289{,}9 - 290{,}1 = 0{,}2 \text{ мм};$$

$$\mu_R^{1-2} = (0{,}2 \cdot 31{,}17)/29{,}77 = 0{,}209 \text{ мм};$$

$$\mu_R^{1-3} = (0{,}2 \cdot 31{,}17)/38{,}71 = 0{,}161 \text{ мм};$$

$$\hat{H}^{1-2} = 0{,}209 \cdot \cos 36° = 0{,}169 \text{ мм};$$

$$\hat{H}^{1-3} = 0{,}161 \cdot \cos 36° = 0{,}13 \text{ мм};$$

Таблица 2

Номер секции	Варианты сборок							
	1		2		3		4	
	Номер группы	Среднее значение, мм	Номер группы	Среднее значение, мм	Номер группы	Среднее значение, мм	Номер группы	Среднее значение, мм
1	1	289,7	2	289,9	3	290,1	4	290,3
2	1	289,7	1	289,7	2	289,9	3^*	290,2
3	2^*	289,8	3	290,1	4	290,3	4	290,3

3-й вариант сборки

$$|H_{\Delta}^{1-2}| = 290{,}1 - 289{,}9 = 0{,}2;$$

$$|H_{\Delta}^{1-3}| = 290{,}1 - 290{,}3 = 0{,}2 \text{ мм};$$

$$\mu_R^{1-2} = (0{,}2 \cdot 31{,}17)/29{,}77 = 0{,}209 \text{ мм};$$

$$\mu_R^{1-3} = (0{,}2 \cdot 31{,}17)/38{,}71 = 0{,}161 \text{ мм};$$

$$\hat{H}^{1-2} = 0{,}209 \cdot \cos 36° = 0{,}169 \text{ мм};$$

$$\hat{H}^{1-3} = 0{,}161 \cdot \cos 36° = 0{,}13 \text{ мм};$$

4-й вариант сборки

$$|H_{\Delta}^{1-2}| = 290{,}3 - 290{,}2 = 0{,}1 \text{ мм};$$

$$|H_{\Delta}^{1-3}| = 290{,}3 - 290{,}3 = 0;$$

$$\mu_R^{1-2} = (0{,}1 \cdot 31{,}17)/29{,}77 = 0{,}104 \text{ мм};$$

$$\mu_R^{1-3} = (0 \cdot 31{,}17)/38{,}71 = 0;$$

$$\hat{H}^{1-2} = 0{,}104 \cdot \cos 36° = 0{,}084 \text{ мм};$$

$$\hat{H}^{1-3} = 0 \cdot \cos 36° = 0.$$

Полученные результаты по разновысотности секций с учетом выравнивающих множителей для четырех вариантов сборки представлены в табл. 3. Их проверка согласно неравенствам, характеризующим структурное расположение секций в долоте:

1-й вариант сборки:

$$H_{\text{ср}}^{3} > H_{\text{ср}}^{1} = H_{\text{ср}}^{2};$$

2-й вариант сборки:

$$H_{\text{ср}}^{3} > H_{\text{ср}}^{1} > H_{\text{ср}}^{2};$$

3-й вариант сборки:

$$H_{\text{ср}}^{3} > H_{\text{ср}}^{1} > H_{\text{ср}}^{2};$$

4-й вариант сборки:

$$H_{\text{ср}}^{3} = H_{\text{ср}}^{1} > H_{\text{ср}}^{2}.$$

Таблица 3

Номера секций в комплекте	Исходные номера селективных групп	Средние размеры границ селективных групп, мм	Окончательные номера селективных групп
1-й вариант сборки			
1	1	289,7	1
2	1	289,7 + 0 = 289,7	1
3	2*	289,8 + 0,064 = 289,864	2
2-й вариант сборки			
1	2	289,9	2
2	1	289,7 + 0,169 = 289,869	2
3	3	290,1 + 0,13 = 290,23	4
3-й вариант сборки			
1	3	290,1	3
2	2	289,9 + 0,169 = 290,069	3
3	4	290,3 + 0,13 = 290,43	4
4-й вариант сборки			
1	4	290,3	4
2	3*	290,2 + 0,084 = 290,284	4
3	4	290,3 + 0 = 290,3	4

Условия структуры разновысотности для всех вариантов сборки выполняются, поскольку удовлетворяют неравенствам.

В результате проведенных расчетов получены окончательные номера селективных групп секций долот с учетом их разновысотности и ресурса.

Решение поставленной задачи уменьшает объем трудоемкой сборки, выполняемой методом регулировки, и увеличивает объем более производительной сборки методом многопараметрической групповой взаимозаменяемости, что позволит повысить эффективность СУС секций под сварку неподвижных неразъемных соединений долот.

Библиографический список

1. **Рыльцев И.К., Журавлев А.Н.** Структурно упорядоченная технология сборки изделий тяжелого машиностроения. – М.: Машиностроение-1, 2008. 329 с.

2. **Лаллеман Ж.** Полугруппы и комбинаторные приложения: пер. с англ. – М.: Мир, 1985. 440 с.

УДК 629.331:621.838

О.А. Ряховский, *д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой РК-3 "Детали машин",*
В.А. Иванов, *аспирант (Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)*
E-mail: vasiliya.ivanov@gmail.com

Сборка привода электромеханического клинового тормоза

Рассмотрены особенности сборки новой уникальной системы, разрабатываемой в МГТУ им. Н.Э. Баумана, – привода электромеханического клинового тормоза, применяемого вместо общепринятого гидравлического привода.

The present paper considers assembly features of the electromechanic wedge brake, – new unique system, which is being developed at Bauman MSTU and applied instead of conventional hydraulic drive.

Ключевые слова: *тормоз, автомобиль, электропривод, электромеханика, клин.*

Key words: *brake, automobile, electric drive, electromechanics, wedge.*

Электромеханический клиновой тормоз предназначен для выполнения торможения в составе служебной тормозной системы.

В конструкции использован электромеханический привод фрикционного тормоза с использованием эффекта самоусиления, снижающего рабочие силы, что приводит к уменьшению размеров тормоза, но требует более точной системы управления.

Тормозная колодка соединена с клином, скошенным под углом α (рис. 1). Нажимной механизм управления тормозом действует на тормозную колодку с силой F_m. Сила торможения F_b, образующаяся в контакте тормозного диска с тормозной колодкой, превосходит по модулю силу привода F_m благодаря наличию клинового механизма, что и приводит к самоусилению.

Связь силы управления тормозом F_m и силы трения F_b тормозного диска о колодку

$$F_m = F_b \frac{\mathrm{tg}\alpha - \mu}{2\mu}$$

получена из уравнений статики и зависимости

$$F_N \mu = F_b,$$

где F_N – нормальная сила воздействия колодки на тормозной диск;

μ – мгновенное значение коэффициента трения между колодкой и диском [1].

Электромеханический клиновой тормоз использует импульс транспортного средства для питания электрического привода. Вспомогательная сила, полученная благодаря эффекту самоусиления, используется для создания нормальной силы. Таким образом, тормозной привод создает только небольшую часть от требуемой нормальной силы. Более того, энергия, необходимая для деформации дета-

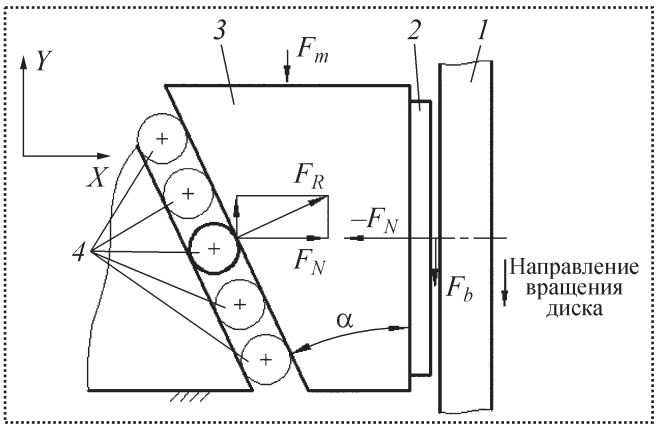


Рис. 1. Механическая модель клинового тормоза:
1 – тормозной диск;
2 – тормозная колодка;
3 – клин;
4 – опоры клина;
F_R – реакция, возникающая между клином и опорой при торможении

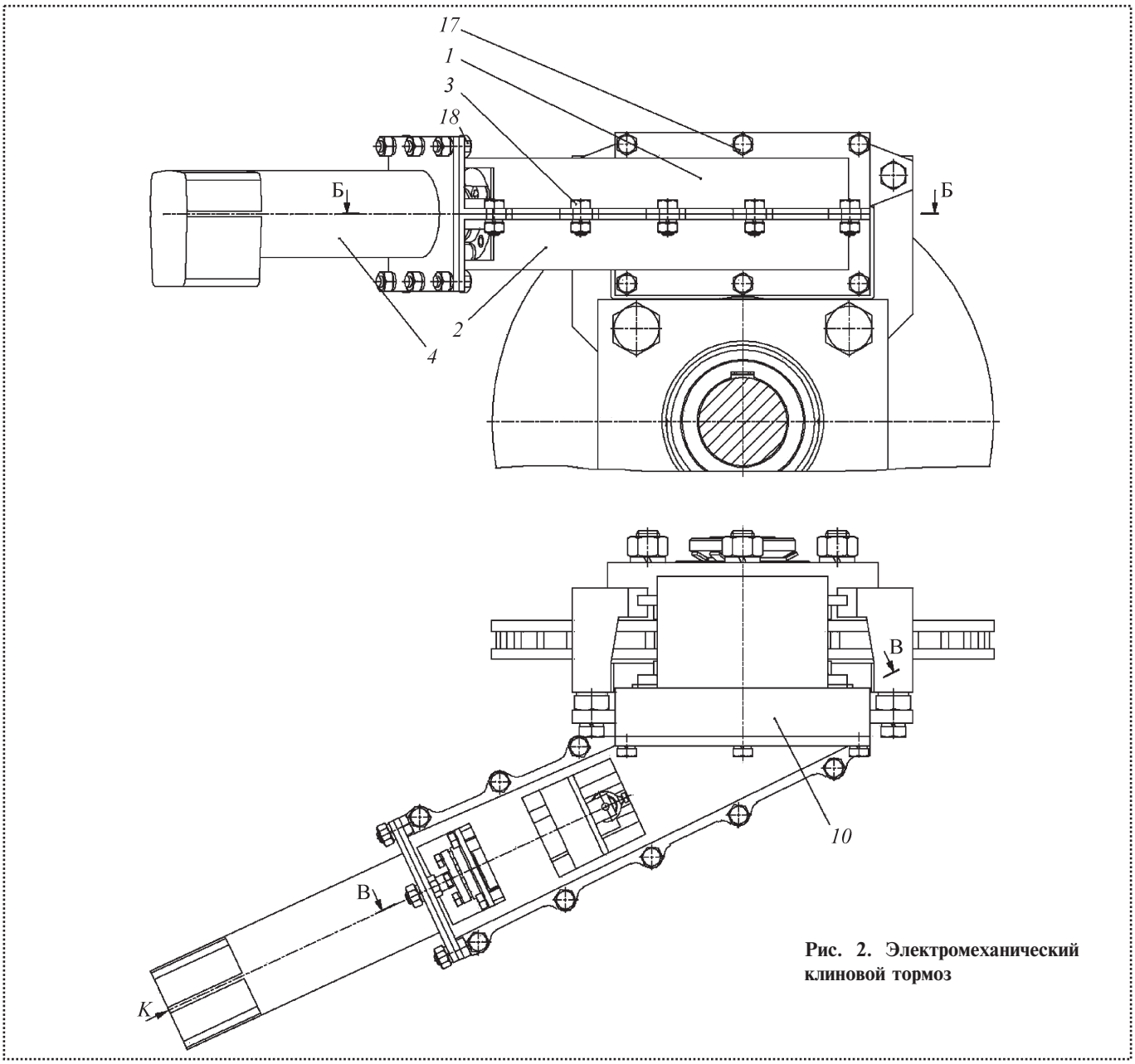


Рис. 2. Электромеханический клиновой тормоз

лей, также отбирается от кинетической энергии транспортного средства.

Вышеуказанные физические эффекты приводят к следующим преимуществам в противоположность "обычным" тормозным системам (в частности, электрическим):

– среднее потребление энергии приводом может быть значительно снижено;

– тормозной привод может иметь значительно меньшие размеры;

– нет необходимости в переходе на нестандартное напряжение питания, например 42 В;

– повышена динамика, управляемость и стабильность.

Вид и разрезы электромеханического клинового тормоза показаны на рис. 2–5.

Сборка электромеханического клинового тормоза заслуживает рассмотрения, так как конструкция корпуса привода достаточно сложная. Корпус (рис. 2) состоит из двух сварных деталей *1* и *2*, соединяемых болтами *3*.

Приводной электродвигатель *4* крепится к корпусу фланцем. Ролико-винтовой механизм фиксируется двумя подшипниками *6* относи-

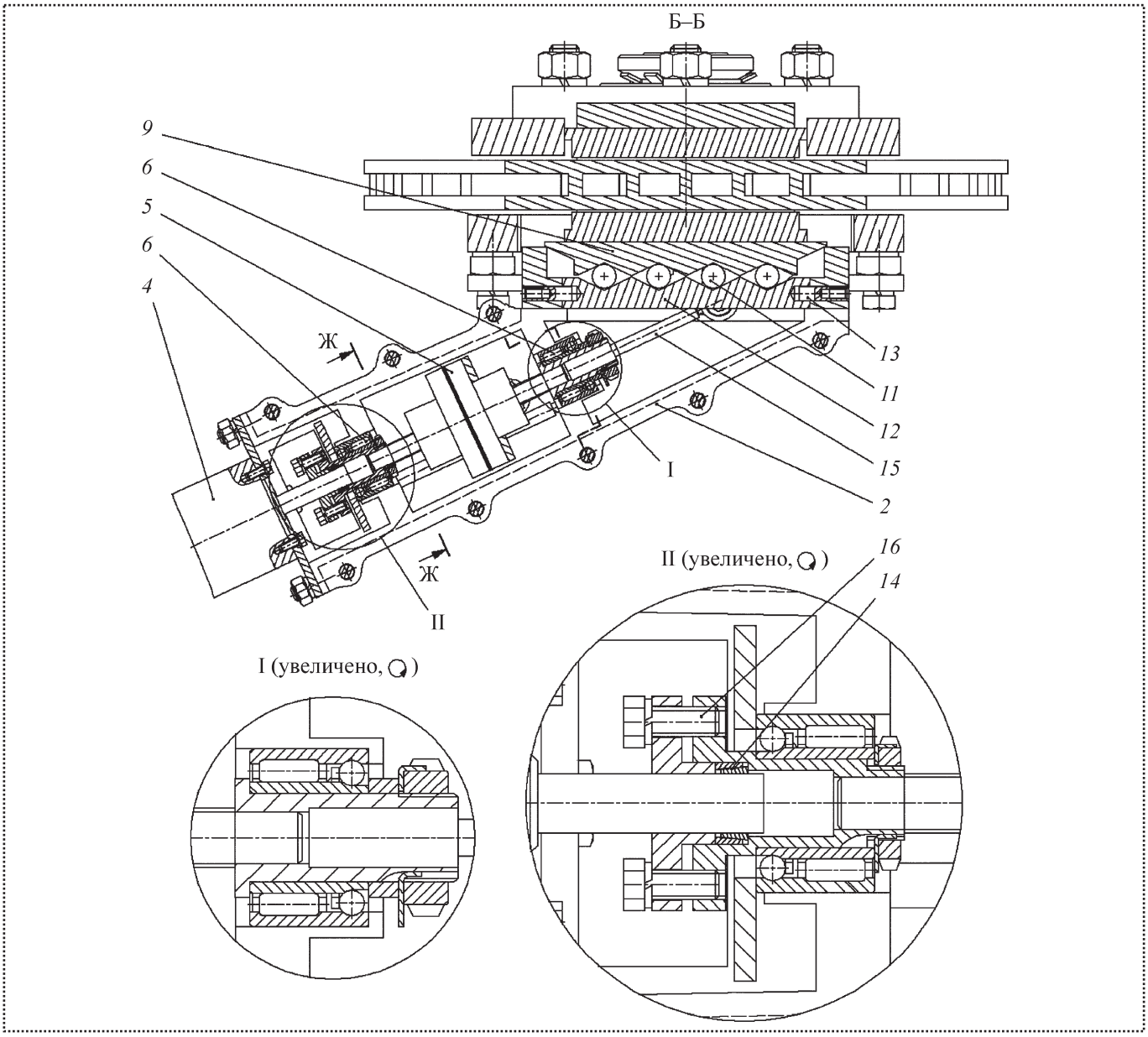


Рис. 3. Разрез по Б–Б (см. рис. 2)

тельно корпуса. Гайка *7* ролико-винтового механизма фиксируется от проворота двумя стержнями *8*, жестко соединенными с корпусом и позволяющими гайке двигаться поступательно, воздействуя на подвижный тормозной клин *9* и совершая торможение.

Последовательность сборки следующая.

• Сборка подвижного тормозного клина *9* со сферическими подшипниками и его установка в тормозную скобу *10* изнутри; установка роликов качения *11*; установка неподвижного тормозного клина *12* в тормозную скобу; фиксация неподвижного тормозного клина штифтами *13*.

• Сборка ролико-винтовой передачи *5* с подшипниковыми опорами *6* и размещение в нижней части корпуса привода *2*.

• Установка верхней части корпуса привода *1*.

• Установка стержней *8*, фиксирующих гайку *7* ролико-винтовой передачи от проворота, в корпус привода со стороны двигателя.

• Регулировка зазора в подшипниковых опорах *6* болтами *19*.

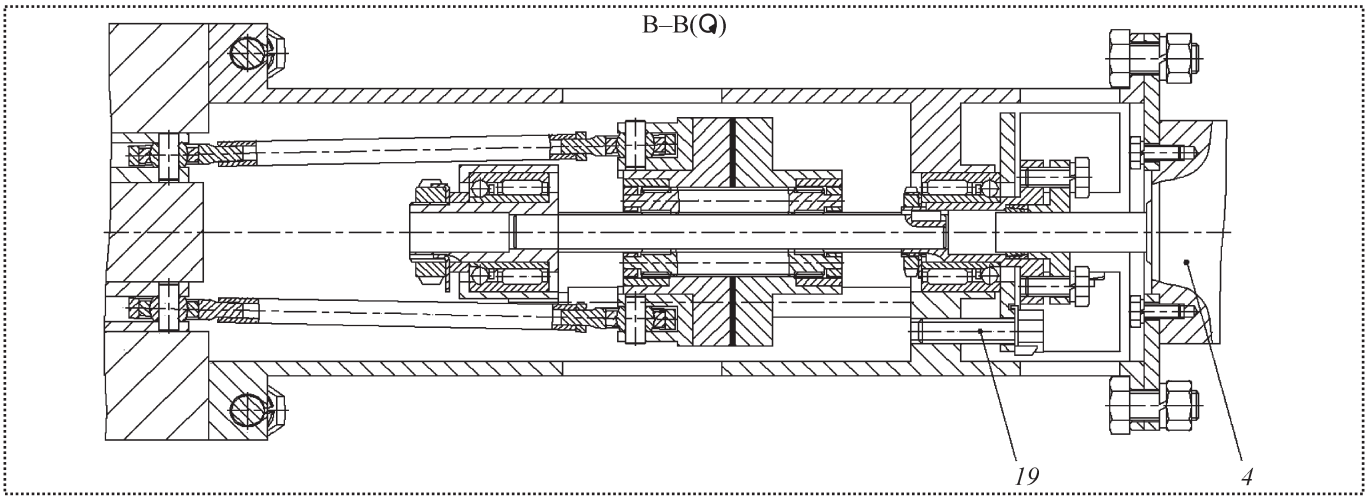


Рис. 4. Разрез по В–В (см. рис. 2)

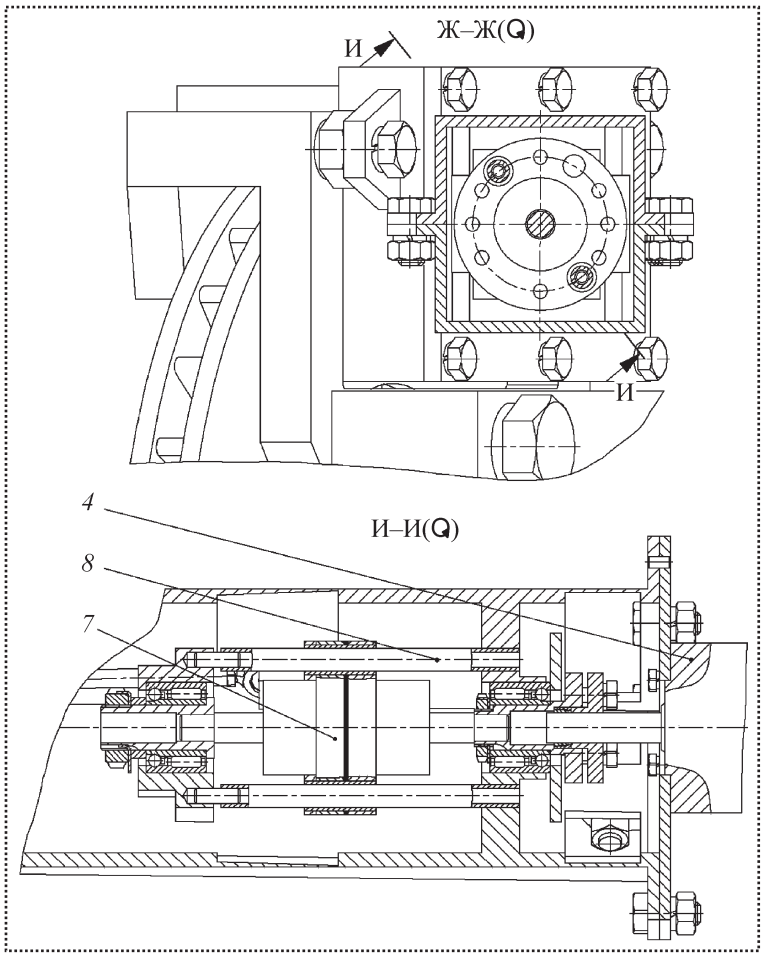


Рис. 5. Разрезы по Ж–Ж (см. рис. 3) и И–И

• Крепление привода к тормозной скобе *10* болтами *17*.

• Фиксация толкателей *15* подвижного тормозного клина *9* через окна в корпусе привода.

• Установка элементов фиксирующего устройства Clampex *14* и двигателя *1* с торца корпуса привода; крепление двигателя к корпусу привода болтами *18*.

• Фиксация элементов Clampex *14* болтами *16* через окна в корпусе привода.

Данный технологический процесс обеспечивает качественную сборку сложного механизма.

Выводы

В МГТУ им. Н.Э. Баумана разрабатывается электромеханический клиновой тормоз – новая уникальная система, основанная на электрически управляемом и контролируемом фрикционном тормозе с высокой способностью самоусиления. Посредством интеллектуально управляемого тормозного клина кинетическая энергия транспортного средства преобразуется в энергию торможения. Технология управления предотвращает заклинивание тормоза.

Описаны механическая модель привода, принцип действия и последовательность его сборки.

Библиографический список

1. **H. Hartmann, M. Schautt, A. Pascucci, B. Gombert.** "eBrake – the mechatronic wedge brake". SAE Paper 2002-01-2582. 6 с.

С.Н. Григорьев, *ректор МГТУ "Станкин"*

80 лет МГТУ "Станкин": инновации в образовании и науке

В 2010 г. исполняется 80 лет со дня основания Московского государственного технологического университета "Станкин" (до 1992 г. – Московского станкоинструментального института). Все эти годы "Станкин" являлся передовым центром по подготовке научно-педагогических и инженерно-технических кадров для России и стран ближнего и дальнего зарубежья.

Огромный вклад в его развитие на разных исторических этапах существования внесли крупные ученые-педагоги, которые во многом определяли имидж "Станкина" в образовательной, научной и производственной средах. Среди них – И.В. Харизоменов, И.И. Семенченко, Б.С. Балакшин, Н.С. Ачеркан, А.С. Ахматов, В.А. Кривоухов, В.А. Аршинов, И.П. Третьяков, Ю.А. Геллер, И.Е. Городецкий и многие другие, вырастившие целую плеяду учеников – известных руководителей народного хозяйства СССР и России, директоров предприятий, видных конструкторов и технологов, ученых и изобретателей.

Ректор МГТУ "Станкин" С.Н. Григорьев

"Станкин" в течение десятилетий сохранял добрые традиции преемственности поколений как среди выпускников, так и преподавателей. В настоящее время университет является ведущим научно-образовательным центром страны в области технологических средств производства для машиностроения. Современный ГОУ ВПО МГТУ "Станкин" это:

• многопрофильная научно-образовательная структура, органично сочетающая в себе сеть учебных, научных и производственных центров, оснащенных самой современной материально-технической базой и развитой инфраструктурой для качественной профессиональной подготовки, повышения квалификации и переподготовки специалистов;

• признанные научные и педагогические школы, обеспечивающие не только выпуск бакалавров, специалистов и магистров, но и научно-педагогических кадров высшей квалификации – через аспирантуру и докторантуру;

• университет, ориентированный на подготовку высококвалифицированных специалистов для различных отраслей машиностроительного комплекса на основе системной подготовки с обязательным применением инновационных машиностроительных технологий, современных информационных технологий, специальных и глубоких экономических компетенций и знаний.

"Станкин" одним из первых вузов России перешел на двухуровневую систему подготовки специалистов. За четыре года осуществляется подготовка бакалавров, за пять с половиной лет – дипломированных специалистов и за шесть лет – магистров. В соответствии с полученными в 2009 г. Лицензией на право осуществления образовательной деятельности и Свидетельством о государственной аккредитации ГОУ ВПО МГТУ "Станкин" готовит бакалавров и магистров по направлениям:

150900 – "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств";

220200 – "Автоматизация и управление";

200500 – "Метрология, стандартизация и сертификация";

200100 – "Приборостроение";

230100 – "Информатика и вычислительная техника";

150800 – "Гидравлическая, вакуумная и компрессорная техника";

080500 – "Менеджмент";

280200 – "Защита окружающей среды".

Аспирантура "Станкина" осуществляет подготовку специалистов высшей квалификации по 28 научным специальностям. Кроме того, университет реализует программы повышения квалификации и профессиональной переподготовки кадров, в частности по программе "Мастер делового администрирования" – Master of Business Administration (MBA).

В университете учатся более 5 тыс. студентов, которых обучают более 700 преподавателей. Среди них более двух третей с учеными званиями и степенями, в том числе более 100 профессоров и докторов наук. Ряд преподавателей являются лауреатами Ленинских, Государственных премий, Премий Правительства РФ и других престижных наград. Университет располагает 44,7 тыс. кв. метров площадей для проведения учебного процесса в Москве и Московской области и 4 корпусами для общежития студентов.

Благодаря прогрессивным методикам обучения и коллективу высокопрофессиональных преподавателей, выпускники "Станкина" составляют будущую инженерно-техническую элиту страны. Проводимая руководством университета политика интеграции в международное образовательное пространство, интенсивное развитие международных связей с научными учреждениями Германии, Англии, Китая, Индии, США и других стран обеспечивают востребованность выпускников не только в России, но и за рубежом.

Главный учебно-лабораторный корпус МГТУ "Станкин"

Основу научного потенциала университета всегда составляли его научные школы. Сегодня в "Станкине" успешно функционирует ряд признанных ведущих научных школ и сравнительно молодых, формирующихся, но уже достигших серьезных результатов:

"Конструкторско-технологическая информатика", руководитель – член-корреспондент РАН Ю.М. Соломенцев;

"Металлорежущие станки" – проф. В.В. Бушуев;

"Инструментальная техника" – проф. В.А. Гречишников;

"Метрологическая информатика" – проф. В.И. Телешевский;

"Высокоэффективные технологии обработки" – проф. С.Н. Григорьев

и многие другие школы.

В настоящее время основными принципами научно-исследовательской деятельности ГОУ ВПО МГТУ "Станкин" являются:

• интеграция научной и образовательной деятельности – исполнителями научных проектов являются не только научно-педагогические работники университета, но и студенты, аспиранты и докторанты; кроме того, результаты научной деятельности оперативно внедряются в учебный процесс;

• завершенность разработок – проведение фундаментальных и поисковых исследований для создания научных основ и научно-технического задела для последующей разработки принципиально новых решений, направленных на повышение конкурентоспособности машиностроительного производства;

• импортозамещение – научные разработки, ориентированные на создание импортозамещающих оборудования и технологий для обеспечения технологической независимости российского машиностроения, относящихся, прежде всего, к технологиям двойного назначения.

Университет, следуя мировым тенденциям развития технологических средств машиностроительного производства, проводит собственные иссле-

дования по новым направлениям, актуальным для отечественного машиностроения:

• разработка проектных решений и средств (программно-математического, информационного и методического обеспечения) для технологического перевооружения высокотехнологичных машиностроительных производств;

• создание технологического оборудования и инструментального обеспечения машиностроительного производства (станков и другого оборудования для размерной обработки конструкционных материалов, включая инструментальное обеспечение, кузнечно-прессовое, литейное и сборочно-сварочное оборудование, оборудование для модифицирующей обработки, промышленные роботы и другие средства автоматизации);

• создание метрологического оборудования (средств измерения, в том числе измерительных машин и приборов; вычислительных комплексов для обработки измерительной информации и др.);

• разработка инновационных технологий машиностроительных производств (включая технологии для гибких автоматизированных производств);

• создание специализированного информационного обеспечения (программных систем для разработки машиностроительной продукции, планирования, организации, технологической подготовки и управления машиностроительным производством).

Миссией современного "Станкина" является кадровое и научно-техническое обеспечение технологического перевооружения и технологической независимости отечественного машиностроения, прежде всего, его стратегически важных для обороноспособности и безопасности страны высокотехнологических комплексов: оборонно-промышленного, авиакосмического, судостроительного и энергомашиностроительного.

Для выполнения этой миссии:

– ведется подготовка и переподготовка специалистов;

– выполняются научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы для производственных, научно-проектных, ремонтно-эксплуатационных и других предприятий;

– обеспечиваются создание, внедрение и эксплуатация специальных технологических средств производства (технологий и оборудования) для машиностроения.

Партнерами университета – соисполнителями научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ выступают институты РАН и ведущие отраслевые НИИ, работающие в области создания и применения технологических средств машиностроительного производства, подведомственные Федеральному космическому агентству, государственным корпорациям "Ростехнологии" и "Росатом". На сегодняшний день "Станкин" организовал 8 совместных научно-образовательных центров с институтами РАН и ведущими отраслевыми институтами – ФГУП "Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова", Институтом машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Институтом проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Институтом проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Институтом прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, ОАО "ВНИИИнструмент" и др.

С целью долгосрочного обеспечения технологической независимости и конкурентоспособности российского машиностроения, прежде всего стратегических высокотехнологических предприятий оборонно-промышленного комплекса, в 2008 г. при "Станкине" в качестве обособленного структурного подразделения университета был создан Государственный инжиниринговый центр (ГИЦ). В соответствии с решениями Правительственной Комиссии по вопросам развития промышленности, технологий и транспорта ГИЦ МГТУ "Станкин" должен стать головной организацией, обеспечивающей научно-техническое развитие отечественного станкостроения и технологическое перевооружение стратегических отраслей машиностроения с применением конкурентоспособных импортозамещающих технологий и оборудования.

За счет консолидации научно-технического потенциала отечественного станкостроения, создания конкурентоспособного импортозамещающего оборудования и интенсивного информационного обмена с отраслевыми и корпоративными инжиниринговыми центрами ГИЦ МГТУ "Станкин" призван предложить российским машиностроительным предприятиям и их курирующим государственным ведомствам реальную альтернативу засилью импортного оборудования – проекты технологического перевооружения с применением отечественного механообрабатывающего оборудования.

Основные направления деятельности ГИЦ:

• информационно-аналитическое обеспечение технологического перевооружения машиностроения;

• разработка и реализация программ и проектов технологического перевооружения машиностроительных предприятий с преимущественным применением отечественных средств машиностроительного производства;

• разработка и организация серийного производства наукоемкого импортозамещающего механообрабатывающего оборудования, прежде всего двойного назначения, не производимого в России;

• организация и методическое обеспечение целевой подготовки специалистов в области средств машиностроительного производства.

Осуществляя деятельность в области технологического перевооружения машиностроения, ГОУ ВПО МГТУ "Станкин" выполняет ряд системообразующих функций:

• осуществляет методическое руководство российскими вузами, являясь базовым вузом Учебно-методического объединения по образованию в области автоматизированного машиностроения, в состав которого входит 270 вузов России и стран СНГ;

• выступает в качестве разработчика аналитических материалов, отраслевых стратегий, государственных образовательных стандартов и учебно-методического обеспечения в сфере машиностроения и производства технологического оборудования для машиностроения (станкоинструментальной промышленности);

• разрабатывает и внедряет новые технологии образования, учитывающие требования основополагающих международных и национальных стандартов, отражающих лучшие мировые тенденции развития в области новых технологий и форм обучения, методов управления образовательной деятельностью и качеством процесса обучения.

На базе "Станкина" создан Технический комитет 461 "Информационно-коммуникационные технологии в образовании" (ИКТО), обеспечивающий разработку национальных стандартов для отечественной системы образования. В университете создана и эффективно функционирует "Система добровольной сертификации информационно-коммуникационных технологий в образовании" (система ИНКОМТЕХСЕРТ), включающая органы и региональные испытательные лаборатории в Москве, Тамбове, Петрозаводске, Уфе, Томске, Перми и других городах.

ГОУ ВПО МГТУ "Станкин" является разработчиком ряда Федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования третьего поколения по подготовке бакалавров и магистров в рамках направлений "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" и "Автоматизация технологических процессов и производств".

Официальным признанием авторитета и научно-технического потенциала университета являются его победы в конкурсах на выполнение следующих важнейших инновационных проектов государственного значения по заказу Минпромторговли РФ:

– "Разработка и освоение производства гаммы отечественных универсальных технологических роботов для массовых автоматизированных производств гражданской машиностроительной продукции". Цель проекта – ликвидация отставания России в области роботизированных технологий и создание серийного производства модельного ряда оригинальных отечественных технологических роботов; срок выполнения работы – 2007–2009 гг. (соисполнитель работы – ОАО "АВТОВАЗ").

– "Разработка комплекса наукоемких комплектующих изделий, обеспечивающих конкурентоспособность современного механообрабатывающего оборудования". Цель проекта – обеспечение российских производств механообрабатывающего оборудования наукоемкими конкурентоспособными импортозамещающими комплектующими изделиями – системами ЧПУ, высокоточными электроприводами, высокоскоростными электрошпинделями, контроллерами электроавтоматики; срок выполнения работы – 2008–2010 гг. (соисполнитель работы – ОАО "Красный пролетарий").

В 2008 г. "Станкин" стал победителем Открытого творческого конкурса образовательных учреждений высшего профессионального образования, реализующих проекты совместной деятельности вузов с научными и производственными организациями в части создания инновационных образовательных программ и развития совместных исследований в рамках реализации проекта Федеральной целевой программы развития образования на 2006–2010 гг. В рамках указанного проекта университет получил лабораторное и научно-технологическое оборудование на сумму 66 млн руб. для оснащения научно-производственного (ресурсного) центра по направлению "Станкостроение".

В 2009 г." Станкин" стал победителем Открытого творческого конкурса образовательных учреждений высшего профессионального образования по организации ресурсных центров коллективного пользования в рамках мероприятия "Оснащение вузов, лидирующих в подготовке научных и научно-педагогических кадров для научных организаций и организаций оборонно-промышленного

комплекса, предприятий высокотехнологичных секторов экономики, современным специальным научно-технологическим оборудованием (учебно-исследовательские комплексы), используемым как для научных исследований, так и в образовательном процессе" Федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг." в номинации "Станкостроение". В рамках реализации указанного проекта в университет было поставлено технологическое и лабораторное оборудование на сумму 96 млн руб.

В последние годы локомотивом развития ГОУ ВПО МГТУ "Станкин" стала научная деятельность. В результате за последние три года бюджет университета вырос вдвое, а доходы от научной деятельности – в пять раз. В 2007 г. объем финансирования научно-исследовательских работ и услуг составил 116 млн руб., в 2008 г. – 242 млн руб., а в 2009 г. – уже более 550 млн руб.

Основными источниками финансирования научно-исследовательской деятельности университета в настоящее время являются:

– средства производственных и научных предприятий, поступающие по хозяйственным договорам на создание научно-технической продукции;

– средства федерального бюджета, выделяемые университету по государственным контрактам в рамках выполнения проектов по федеральным целевым и ведомственным программам;

– собственные внебюджетные средства университета.

Для достижения уровня развития университета, при котором он мог бы устойчиво выполнять свою миссию, сегодня активно воплощается в жизнь программа развития университета на ближайшие десять лет. Коллективу университета в ближайшие годы предстоит решить следующие важнейшие задачи:

в области образовательной деятельности – совершенствование образовательного процесса, направленное на комплексное кадровое обеспечение предприятий и их специализированных подразделений, занимающихся созданием, внедрением и эксплуатацией технологических средств производства для машиностроения;

в области научной деятельности – развитие и повышение эффективности научно-проектной деятельности по приоритетным направлениям развития МГТУ "Станкин" (оснащение уникальным оборудованием, повышение числа публикуемых материалов, защита и использование интеллектуальной собственности, международное сотрудничество);

в области создания инновационной инфраструктуры – формирование вокруг университета "инновационного пояса" (создание структурных подразделений научно-инновационной направленности, малых предприятий, реализующих проекты технологического перевооружения и внедряющих разработанные в университете технологические средства машиностроительного производства);

в области кадрового обеспечения деятельности университета – развитие кадрового потенциала (за счет стимулирования молодых ученых, преподавателей и специалистов, обеспечения преемственности поколений, повышения квалификации и профессиональной переподготовки научно-педагогических и управленческих работников, повышения эффективности аспирантуры и докторантуры, привлечения кадров из сферы науки и реального бизнеса);

в области совершенствования управления университетом – институциональные преобразования – реорганизация университета, привлечение к управлению стратегических партнеров – Министерства промышленности и торговли РФ, Ассоциации "Станкоинструмент" и ведущих машиностроительных предприятий.

МГТУ "Станкин" в год своего 80-летия полон решимости возглавить кадровое и научно-техническое обеспечение технологического перевооружения и технологической независимости отечественного машиностроения и, прежде всего – его стратегических высокотехнологических комплексов.

ООО "Издательство **Машиностроение**", 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**".
Адрес электронной почты издательства: **E-mail: mashpubl@mashin.ru**;
редакции журнала: **sborka@mashin.ru; tsmm@mashin.ru http://www.mashin.ru**
Телефон редакции журнала: (499) 268-38-42; тел./факс (499) 268-85-26; факс 269-48-97.
Технический редактор *Жиркина С.А.* Корректоры *Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.*
Сдано в набор 12.01.10 г. Подписано в печать 09.03.10 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч.-изд. л. 5,62. Заказ 145. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Издательство Машиностроение".
Отпечатано в ООО "Подольская Периодика", 142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, д. 15.