

ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ
ЖУРНАЛ ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ УТВЕРЖДЕННЫХ ВАК РФ ИЗДАНИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ ТРУДОВ СОИСКАТЕЛЕЙ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ

10

2013

(151)

СОДЕРЖАНИЕ

Экономика и организация сборочного производства

Крынина Т.А. Разработка программного обеспечения для автоматизированной оценки затрат на изготовление изделий 3

Сборочное оборудование и его элементы

Надеждин И.В., Беберина А.В. Совершенствование динамических характеристик загрузочных устройств сборочных машин-автоматов 6

Современные технологии сборки

Бойкачев В.Н. Оптимизация организационно-технологического сопровождения автоматизации электромонтажных работ в производстве радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов 16

Божкова Л.В., Вартанов М.В., Мартынович Н.А. Математическая модель динамики сопряжения деталей с применением промышленного робота и вибрационного устройства 18

Заярный С.Л. Определение параметров гидропрессового способа сборки-разборки соединения с натягом с использованием имитационной модели 22

Технологическая оснастка для сборки

Житников Ю.З., Житников Б.Ю., Матросова Ю.Н. Инерционный гайковерт 26

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Безъязычный В.Ф., Замятин В.Ю., Замятин А.Ю. Проект мегасистемы качества и конкурентоспособности промышленного предприятия. Концепция и общая структурно-лингвистическая модель 28

Холодкова А.Г. Обеспечение качества сборки ответственных резьбовых соединений. 33

В помощь конструктору, технологу

Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Селективная сборка отдельной партии деталей 38

Информация

Иванов А.Н. Металлообработка-2013 42

Председатель редакционного совета
Ф.М. МИТЕНКОВ, академик РАН

Редакционный совет

МОСКВА
А.С. ВАСИЛЬЕВ (главный редактор), д.т.н., проф.
А.А. ГУСЕВ, д.т.н., проф.
М.В. ВАРТАНОВ, д.т.н., проф.
А.М. ДАЛЬСКИЙ, д.т.н., проф.
И.Н. ЗИНИНА, к.т.н., доц.
Ю.Л. ИВАНОВ, д.т.н.
Ю.Г. КОЗЫРЕВ, к.т.н.
А.И. КУМЕНКО, д.т.н., проф.
А.В. МЕДАРЬ, к.т.н.
Е.А. МИКРИН, д.т.н.
В.В. ПОРОШИН, проф.
Б.В. ШАНДРОВ, к.т.н., проф.
А.А. ШАТИЛОВ, к.т.н., доц.
А.Г. ХОЛОДКОВА, к.т.н., проф.
Г.А. ЯРКОВ, инж.

Региональные редсоветы

БЕЛГОРОД
Н.А. ПЕЛИПЕНКО, д.т.н.
БРЯНСК
О.А. ГОРЛЕНКО, д.т.н., проф.
ВЛАДИВОСТОК
Ю.Н. КУЛЬЧИН, д.т.н., чл.-кор. РАН
А.А. СУПОНЯ, к.т.н.
В.М. КОРНИЕНКО, к.т.н.
ВОЛГОГРАД
В.Г. КАРАБАНЬ, к.т.н., доц.
М.Г. КРИСТАЛЬ, д.т.н., проф.
В.И. ЛЫСАК, д.т.н., проф., чл.-кор. РАН
В.М. ТРУХАНОВ, д.т.н., проф.
ИЖЕВСК
И.В. АБРАМОВ, д.т.н., проф.
Б.А. ЯКИМОВИЧ, д.т.н., проф.
В.Г. ОСЕТРОВ, д.т.н., проф.
КАЗАНЬ
Р.И. АДГАМОВ, д.т.н., проф.
КОВРОВ
Ю.З. ЖИТНИКОВ, д.т.н., проф.
КОЛОМНА
Ю.Д. АМИРОВ, д.т.н., проф.
КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ
Б.Н. МАРЬИН, д.т.н.
В.И. ШПОРТ, д.т.н., проф.
А.М. ШПИЛЕВ, д.т.н., проф.
НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ
С.В. ДМИТРИЕВ, д.т.н., проф.
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ, к.т.н.
НИЖНИЙ НОВГОРОД
С.В. ГОЛУБЕВ, инж.
ОМСК
В.Н. КОСТЮКОВ, д.т.н.
ОРЕЛ
Ю.С. СТЕПАНОВ, д.т.н., проф.
Г.А. ХАРЛАМОВ, д.т.н., проф.
ОРЕНБУРГ
А.Н. ПОЛЯКОВ, д.т.н., проф.
А.И. СЕРДЮК, д.т.н., проф.
А.П. ФОТ, д.т.н., проф.
РЫБИНСК
В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ, д.т.н., проф.
В.В. НЕПОМИЛУЕВ, д.т.н., проф.
А.Н. СЕМЕНОВ, д.т.н., проф.
САМАРА
М.А. ЕВДОКИМОВ, д.п.н., проф.
Ю.А. ВАШУКОВ, к.т.н., доц.
Г.А. КУЛАКОВ, д.т.н.
В.А. НИКОЛАЕВ, к.т.н., проф.
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
В.Ф. КУЗЬМИН, к.т.н.
Е.В. ШАЛОБАЕВ, к.т.н., проф.
ТОЛЬЯТТИ
А.И. РЫЖКОВ, к.т.н.
ТУЛА
В.В. ПРЕЙС, д.т.н., проф.
ХАБАРОВСК
В.А. ЛАШКО, д.т.н., проф.
Украина
КИЕВ
А.С. ЗЕНКИН, д.т.н., проф.
В.А. МАТВИЕНКО, к.т.н.
ДОНЕЦК
А.Н. МИХАЙЛОВ, д.т.н., проф.
СЕВАСТОПОЛЬ
Е.Л. ПЕРВУХИНА, д.т.н., проф.
Беларусь
МИНСК
В.Л. БАСИНОК, д.т.н.
М.Л. ХЕЙФЕЦ, д.т.н., проф.
ГОМЕЛЬ
В.Е. СТАРЖИНСКИЙ, д.т.н.
ИЗРАИЛЬ
В.М. БЕДРИН, инж.
ПОЛЬША
П. ЛЕБКОВСКИ, д.т.н.
Е. ЛУНАРСКИ, д.т.н.

Ответственные за подготовку и выпуск номера:

Ю.А. ЧИЧОВ, И.М. ГЛИКМАН

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

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
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.

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

10 ²⁰¹³
(151)

CONTENTS

Economy and the organization of assembly

Krynina T.A. Software for automated evaluation costs of production of products is developed 3

Production tools and machinery for assembly

Nadezhdin I.V., Beberina A.V. Improvement of dynamic characteristics loading devices of assembly automatic machines 6

Modern technologies in assembly

Boykachev V.N. Organizational and technological optimization of electrical work automation support of spacecraft electronic equipment manufacturing 16

Bozhkova L.V., Vartanov M.V., Martynovich N.A. Mathematical model of dynamics of the parts assembly by means industrial robot and vibratory device 18

Zayarnyi S.L. The use of a simulation model to determine the parameters of the hydraulic press used for assembling and disassembling the connection with interference 22

Technological equipment for assembly

Zhitnikov Yu.Z., Zhitnikov B.Yu., Matrosova Yu.N. Inertial screwdriver 26

Quality assurance. Testing. Monitoring

Bezyazychny V.F., Zamyatin V.Yu., Zamyatin A.Yu. Project of megasystem of quality and competitiveness for industrial enterprises. Concept and general structural and linguistic model 28

Kholodkova A.G. Ensuring assembling quality for critical threaded joints 33

Industrial and design engineer's aid

Sorokin M.N., Anurov Yu.N. Selective assembly of a job lot of details. 38

Information

Ivanov A.N. Metal working-2013. 42

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

Editors

MOSCOW

A.S. VASIL'EV
(Chief editor)
M.V. VARTANOV
A.M. DALSKY
A.A. GUSEV
I.N. ZININA
Yu.L. IVANOV
Yu.G. KOZYREV

A.I. KUMENKO
A.V. MEDAR'
E.A. MIKRIN
V.V. POROSHIN
B.V. SHANDROV
A.A. SHATILOV
A.G. KHOLODKOVA
G.A. YARKOV

Regional editors

BELGOROD

N.A. PELIPENKO

BRIANSK

O.A. GORLENKO

VLADIVOSTOK

Yu.N. KULSHIN
A.A. SUPONIA
V.M. KORNIENKO

VOLGOGRAD

M.G. KRISTAL
V.G. KARABAN'
V.I. LYSAK
V.M. TRUKHANOV

IZHEVSK

I.V. ABRAMOV
B.A. YAKIMOVICH
V.G. OSETROV

KAZAN

R.I. ADGAMOV

KOVROV

Yu.Z. ZHITNIKOV

KOLOMNA

Yu.D. AMIROV

KOMSOMOLSK-ON-AMUR

B.N. MARJIN
V.I. SCHPORT
A.M. SHPILEV

NABEREZHNYE CHELNY

S.V. DMITRIEV
R.M. KHISAMUTDINOV

NIZHNY NOVGOROD

S.V. GOLUBEV

OMSK

V.N. KOSTIUKOV

OREL

Yu.S. STEPANOV
G.A. KHARLAMOV

ORENBURG

A.N. POLYAKOV
A.I. SERDUK
A.P. FOT

RYBINSK

V.F. BEZIYASHNY
V.V. NEPOMILUEV
A.N. SEMENOV

SAMARA

M.A. EVDOKIMOV
Yu.A. VASHUKOV
G.A. KULAKOV
V.A. NIKOLAEV

ST. PETERSBURG

V.F. KUZMIN
E.V. SHALOBAEV

TULA

V.V. PREYS

TOLIATI

A.I. RYZHKOV

KHABAROVSK

V.A. LASHKO

Ukraine

KIEV

A.S. ZENKIN
V.A. MATVIENKO

DONETSK

A.N. MIKHAILOV

SEVASTOPOL

E.L. PERVUKHINA

Belarus

MINSK

V.L. BASINJUK
M.L. KHEIFETZ

GOMEL

V.E. STARZHINSKI

ISRAEL

V.M. BEDRIN

POLAND

P. LEBKOVSKI
E. LUNARSKI

Executive editors of current issue:

Yu.A. CHICHOV, I.M. GLIKMAN

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

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
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.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 519.85

Т.А. Крынина (Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева)
E-mail: kta1489@mail.ru

Разработка программного обеспечения для автоматизированной оценки затрат на изготовление изделий

Представлено программное обеспечение для расчета себестоимости изготовления продукции, выпускаемой предприятием.

The software to calculate the cost of production of products manufactured by the enterprise has been presented.

Ключевые слова: выбор изделий, расчет затрат, объем производства, малое предприятие.

Keywords: product selection, costing, production, small-scale enterprise.

Одной из основных задач автоматизированной сборки изделий является разработка устройств, обеспечивающих сборку изделий и их элементов. К данному типу устройств относят, например, гайковерты, при проектировании которых определяют себестоимость их изготовления.

Для оценки затрат на изготовление предложена структурная схема определения оценки затрат (рис. 1) и программное обеспечение для их автоматизированной оценки.

Программное обеспечение для расчета параметров изготовления и реализации изделий на малом предприятии разработано на языке программирования С# с использованием электронных таблиц Excel. Программа представляет собой проект, состоящий из нескольких блоков расчета, экспорта в формат Excel.

Принцип работы программного обеспечения заключается в следующем.

Первоначально в программу вносят данные об изготавливаемых на предприятии изделиях, такие как наименование изделия, объемы его продаж за

предыдущие периоды, средняя норма прибыли за период и сумма капитализации, расчетные данные для автоматического определения уровней темпа роста отрасли, средней рентабельности в отрасли, рыночной концентрации и главного показателя – коэффициента анализа внешней среды. Для этого используют коэффициенты уровня важности показателей, вводимые предпринимателем в каждом



Рис. 1. Структурная схема оценки затрат на изготовление изделия

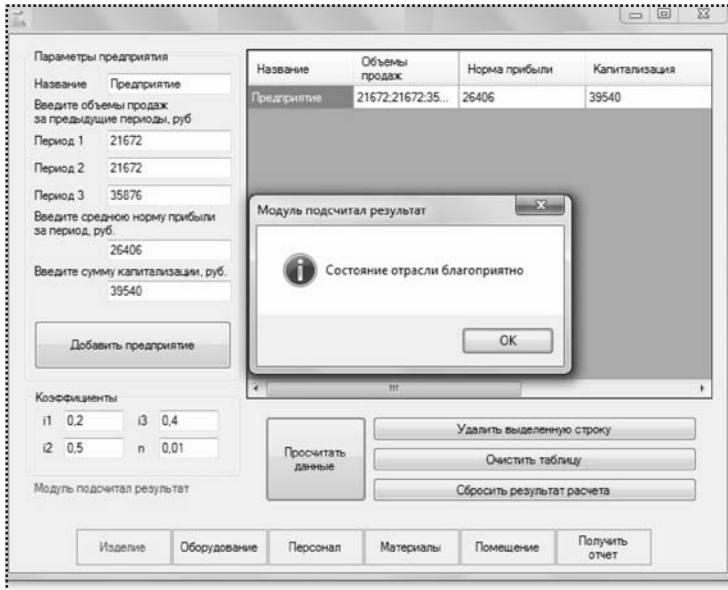


Рис. 2. Интерфейс программы

конкретном случае, с использованием которых программный модуль выдает результат: состояние отрасли благоприятно либо неблагоприятно (рис. 2).

Следующим шагом является определение количества и видов оборудования и приспособлений, которые будут использованы в процессе производства и сборки на предприятии. Для этого создают базу данных по стандартному оборудова-

нию с указанием основных технических характеристик и цен. Предприниматели будут иметь возможность в каждом случае выбирать оборудование из базы либо добавлять новое. Для построения реалистичного плана требуется сравнивать потребность в мощности с ее плановым наличием.

Кроме этого, в программе можно предусмотреть возможность покупки оборудования в лизинг или его аренды на площадях сторонних предприятий. Выбор производится из имеющегося списка стандартного часто используемого оборудования, занесенного в программу по умолчанию с функцией добавления нового либо уже имеющегося. К стоимости приобретаемого оборудования также прибавляются затраты по транспортировке, оснастке, дополнительным энергетическим устройствам, измерительным приборам и т.д.

В результате внесения общих затрат на оборудование, при нажатии кнопки "Вычислить" в программе автоматически вычисляется полная стоимость всего оборудования (рис. 3).

От количества и вида используемого оборудования зависит численность производственного персонала. Рабочих подразделяют на основных и вспомогательных.

К основным производственным рабочим относят тех рабочих, которые непосредственно воздействуют на предметы труда. Вспомогательные рабочие – это рабочие, обеспечивающие нормальный ход производственного процесса (ремонтные, транспортные, складские работники и т.п.). Потребность в рабочих следует рассматривать в прямой связи с видом и числом единиц используемого оборудования, а также структурой предприятия. Кроме того, следует определить потребности в персонале смежных служб, таких как участки заготовок, контроля качества, ремонта и обслуживания, управления производственным процессом, в некоторых случаях управленческие подразделения (рис. 4).

После автоматического расчета всех затрат на персонал программное обеспечение рас-

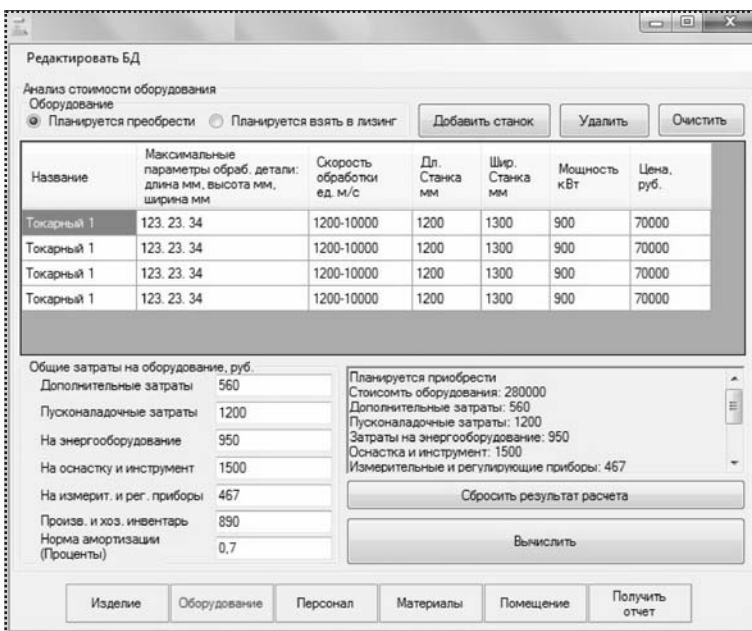


Рис. 3. Окно анализа стоимости оборудования



Категория	Количество	Единица измерения	Ставка
Производственные рабочие	85	Почасовая ставка, руб.	37
Сборщики приспособлений	54	Почасовая ставка, руб.	50
Транспортные рабочие	20	Почасовая ставка, руб.	35
Контроллеры	15	Оплата за месяц, руб.	45
Подсобные рабочие	47	Оплата за месяц, руб.	32
Управленческий персонал	20	Оплата за месяц, руб.	72

Расчет затрат на персонал	
Ставка за месяц:	Управленческий персонал - 1440
Налог - 489,5	Контроллеры - 675
Налог - 229,5	Подсобные рабочие - 1504
Налог - 511,36	Учет суммы выплат по аутстаффингу - 55
Почасовая оплата	
Производственные рабочие - 3145	Налог - 1069,3
Сборщики - 2700	

Рис. 4. Окно расчета затрат на персонал

Арендное помещение	
Производственная площадь	871000
Вспомогательная площадь	25600
КвМ производственной площади, руб.	1500
КвМ вспомогательной площади, руб.	763
Страховой взнос, руб.	455

Рис. 5. Окно анализа выбора помещения

считывает себестоимость изготовления изделия.

С этой целью в программу вводят название изделия и материала, единицу измерения материала, норму расхода, количество материала на единицу изделия, цену материала за единицу.

В программе имеется база данных материалов с указанием их состава, марок, размеров и другой необходимой информации. Затем вносятся информация о дополнительных расходах на изготовление изделия, производят их расчет и расчет себестоимости изготовления изделия.

Пользователь имеет возможность выбрать информацию о форме собственности на помещение, в котором находится производство, а именно информацию о том, находится помещение в собственности у предпринимателя или он его арендует (рис. 5), и произвести пересчет себестоимости изделия.

Для простоты работы с результатами расчетов, программное обеспечение выводит отчет полученного результата в Microsoft Excel.

Таким образом, предлагаемое программное обеспечение позволяет достаточно быстро произвести анализ эффективности изготовления и выпуска готовой продукции малыми предприятиями.

Библиографический список

1. Крынина Т.А. Разработка программного обеспечения для автоматизированной оценки затрат на изготовление изделия "Гайковерт" / Научный потенциал молодежи – будущее России. IV Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. IV Всероссийской межвуз. науч. конф. Муром, 20 апреля 2012 г. Муром: Изд.-полиграф. центр МИ ВлГУ, 2012. С. 127–129.

И.В. Надеждин, д-р техн. наук, **А.В. Беберина** (Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева)
E-mail: okm@rgata.ru

Совершенствование динамических характеристик загрузочных устройств сборочных машин-автоматов

Приведен анализ динамических характеристик квазибезударных законов движения загрузочных устройств автоматизированных сборочных систем на основе моделирования с учетом упругих свойств привода и исполнительных звеньев. Показаны способы улучшения динамических свойств загрузочных устройств на основе принципа электроуправляемого пневмопривода.

The analysis of dynamic characteristics of quasinon-jerk laws of movement of loading devices of the automated assembly systems is provided on the basis of modeling taking into account elastic properties of the drive and executive links. Ways of improvement of dynamic properties of loading devices on the basis of the principle of a controllable pneumatic drive are shown.

Ключевые слова: автоматизация сборки, загрузочное устройство, динамическая модель, управляемый пневмопривод.

Keywords: automated assembling, loading device, dynamic model, controllable pneumatic drive.

Эффективность работы автоматизированных сборочных систем во многом определяется быстродействием загрузочного оборудования, предназначенного для подачи ориентированных деталей непосредственно в зону выполнения технологической сборочной операции. К ним относят: револьверные, шиберные, грейферные, комбинированные питатели и манипуляторы [1].

Способы увеличения быстродействия манипуляторов в автоматизированных сборочных производствах изложены в работах [2–4]. Оптимальную конструкцию привода загрузочного оборудования выбирают с учетом обеспечения в первую очередь операции загрузки-выгрузки или межоперационного транспортирования сборочных деталей за минимально возможное время, что определяет повы-

шенные требования к приводам с точки зрения динамики реализуемых законов движения.

Законы движения должны обеспечивать плавность движения подающего устройства, отсутствие скачков скорости и ускорения, приводящих к ударам и значительным возрастаниям усилий, действующих на механизмы, а следовательно, быстрому износу и потере точности позиционирования.

В приводах загрузочных устройств чаще всего применяют пневмо- или гидропривод, шток которого, как правило, кинематически связан с исполнительным звеном подающего устройства, совершающего возвратно-поступательное или возвратно-вращательное движения [1].

С появлением сервомеханических систем позиционирования появилась возможность управлять законом движения пневмопривода с помощью контроллера путем изменения по соответствующему закону размеров сечений выходных отверстий выхлопной полости пневмоцилиндра [5, 6]. Управляемые пневмоприводы для автоматических загрузочных устройств весьма перспективны, особенно при реализации сложных законов движения. Динамика таких систем определяется законом движения исполнительного органа, а также характеристиками упругодиссипативных связей привода и ведомых звеньев системы.

Общее время T_n перемещения ведомого звена загрузочного устройства при угловом и линейном позиционировании складывается из времени углового $t_{пов}$ или линейного $t_{л}$ перемещения и времени успокоения колебаний $t_{усп}$ в конце хода (рис. 1):

$$T_n = t_{пов(л)} + t_{усп} \quad (1)$$

Величина $t_{усп}$ определяется длительностью колебаний исполнительного звена загрузочного устройства в точках позиционирования. Конец периода $t_{усп}$ зависит от значения допускаемой амплитуды колебаний Δl , которую обычно принимают равной

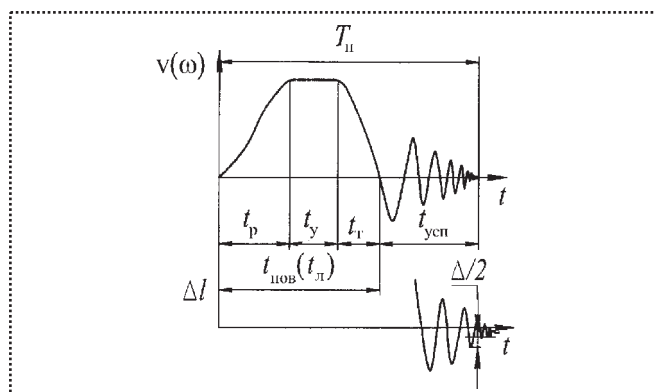


Рис. 1. Типичный характер изменения скорости $v(\omega)$ ведомого звена

половине допускаемой погрешности Δ повторяемости при позиционировании, т.е. $\Delta l \leq \Delta / 2$.

Время углового $t_{пов}$ или линейного $t_{л}$ перемещения исполнительного устройства в общем случае состоит из трех составляющих

$$t_{пов(л)} = t_p + t_y + t_t, \quad (2)$$

где t_p – время разгона;

t_y – время установившегося режима;

t_t – время торможения.

Изменение величин $t_{пов(л)}$ и $t_{усп}$ носит противоречивый характер. При прочих равных условиях уменьшение $t_{пов(л)}$ приводит к увеличению амплитуды и продолжительности колебаний $t_{усп}$ исполнительного органа в точках позиционирования.

Оптимальное значение $t_{пов(л)}$ соответствует условиям, при которых функция (1) будет минимальной.

В работе [2] дан подробный анализ путей повышения быстродействия сборочных машин-автоматов путем уменьшения составляющих времени перемещения. При этом значительное сокращение времени $t_{усп}$ в точках позиционирования достигается путем улучшения закона движения, обеспечивающего плавное перемещение исполнительного органа с учетом заданной производительности и точности сборочных операций.

В работе [3] показано, что для получения высокой производительности автоматических сборочных систем целесообразно использовать циклоидальные законы движения, характеризующиеся отсутствием скачков скоростей и ускорений в начальной и конечной точках позиционирования. В дальнейшем такие законы движения будем называть квазибезударными.

Из анализа работ И.И. Артоболевского, Л.В. Петрокаса, К.В. Тира, В.А. Новгородцева следует, что наиболее распространенные и хорошо зарекомендовавшие себя на практике квазибезударные законы движения исполнительных устройств машин-автоматов с угловым и линейным позиционированием исполнительного органа можно разделить на четыре группы:

- 1) простые тригонометрические (синусоидальные и т.п.);
- 2) полиномиальные (законы Шуна, Стоддарта, Новгородцева);
- 3) комбинированные (трапецеидальный и т.п.);
- 4) модифицированные (закон Неклютина – модифицированный трапецеидальный, законы, характеризующиеся постоянной скоростью с переходными участками по синусоиде и т.п.).

Модифицированные законы движения исполнительных звеньев транспортно-загрузочных устройств, включающие участки постоянной скорости и переходные участки по трапеции или синусоиде, часто необходимы по технологическим требованиям [6].

Диаграммы зависимостей инвариантов подобия перемещений $\psi_i(\tau)$, скоростей $\omega_i(\tau)$ и ускорений $\varepsilon_i(\tau)$ для основных идеальных квазибезударных законов движения исполнительных устройств технологических машин-автоматов различного целевого назначения приведены на рис. 2. В качестве аргумента принята безразмерная величина времени $\tau = t / T_n$, где t – время, соответствующее перемещению ψ_Σ ; T_n – общая продолжительность перемещения ψ_Σ исполнительного звена, с.

За время T_n значение τ изменяется от 0 до 1.

Далее приведены зависимости для определения безразмерных инвариантов подобия перемещения ψ_i , скорости ω_i и ускорения ε_i , соответствующие квазибезударным законам движения исполнительного звена (рис. 2).

Изменение ускорения по треугольнику (закон № 1):

$$\left. \begin{aligned} \psi_i &= (16/3) \tau^3; \quad \omega_i = 16\tau^2; \quad \varepsilon_i = 32\tau; \quad 0 \leq \tau \leq 0,25; \\ \psi_i &= 1/6 - 2\tau + 8\tau^2 - (16/3)\tau^3; \quad \omega_i = 16\tau(1-\tau) - 2; \\ \varepsilon_i &= 16(1-2\tau); \quad 0,25 < \tau \leq 0,75; \\ \psi_i &= 1 - (16/3)(1-\tau)^3; \quad \omega_i = 16(1-\tau)^2; \\ \varepsilon_i &= 32(\tau-1); \quad 0,75 < \tau \leq 1. \end{aligned} \right\} (3)$$

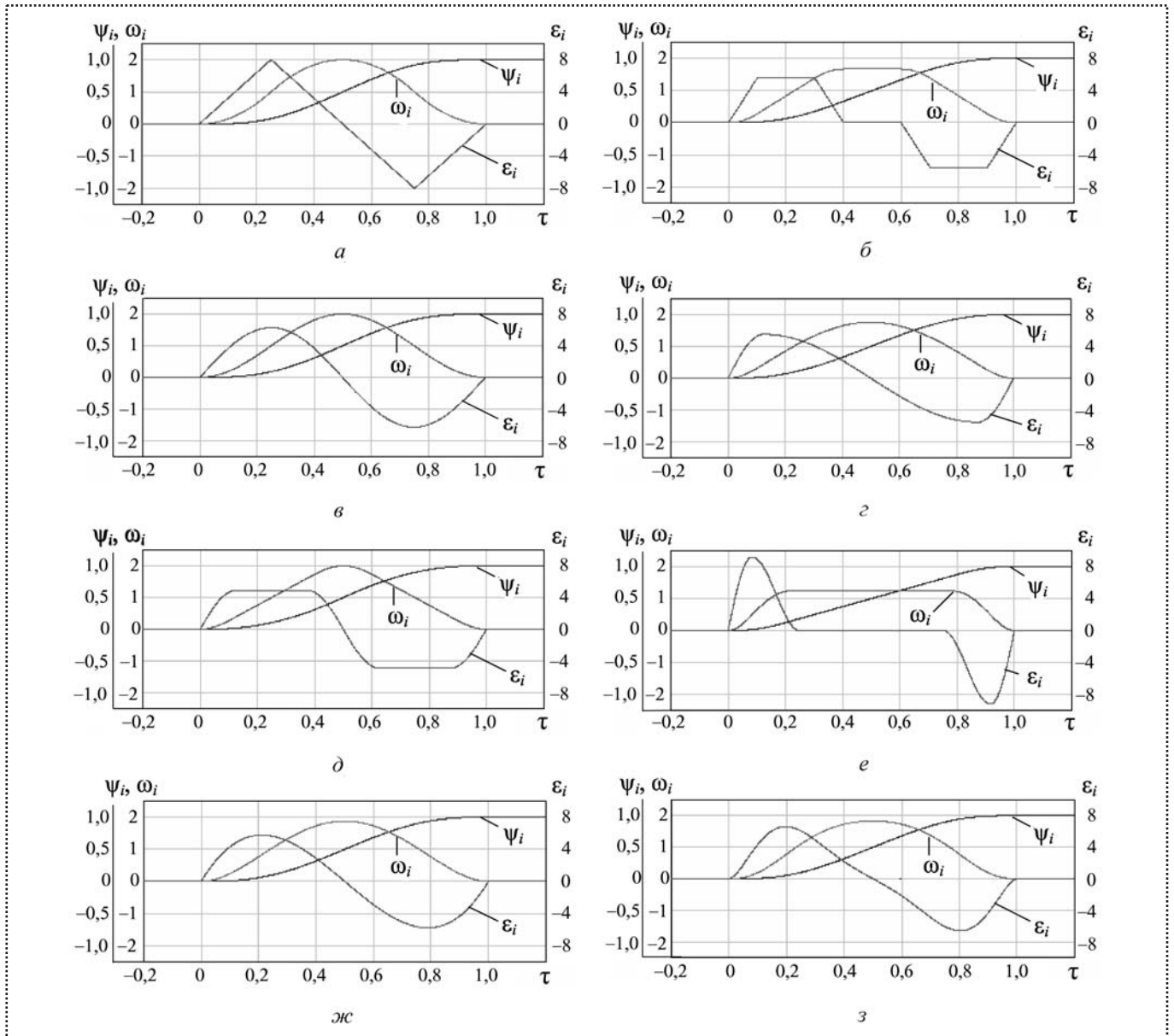


Рис. 2. Идеальные квазибездарные законы движения исполнительных механизмов загрузочных устройств сборочных машин-автоматов:

a – изменение ускорения по треугольнику (закон № 1); *б* – модифицированный закон № 1 с участками постоянной скорости (закон № 2); *в* – циклоидальный (закон № 3); *г* – закон наклонной синусоиды, $b = 0,15$ (закон № 4); *д* – Закон Неклютина (закон № 5); *е* – закон движения постоянной скорости с переменными участками по синусоиде (закон № 6); *ж* – закон Шуна (закон № 7); *з* – полиномиальный 9-й степени (закон № 8)

Модифицированный закон изменения ускорения по треугольнику с участками постоянной скорости и ускорения (закон № 2):

$$\left. \begin{aligned}
 \psi_i &= (64/9) \tau^3; \quad \omega_i = (64/3) \tau^2; \quad \varepsilon_i = (128/3) \tau; \quad 0 \leq \tau \leq 0,125; \\
 \psi_i &= (1/24 - \tau + 8\tau^2) / 3; \quad \omega_i = (16\tau - 1) / 3; \quad \varepsilon_i = 16/3; \quad 0,125 < \tau \leq 0,375; \\
 \psi_i &= (7/6 - 10\tau + 32\tau^2 - 64\tau^3 / 3) / 3; \quad \omega_i = (2/3) (-5 + 32\tau - 32\tau^2); \quad \varepsilon_i = (64/3) (1 - 2\tau); \quad 0,375 < \tau \leq 0,625; \\
 \psi_i &= (-97/24 + 15\tau - 8\tau^2) / 3; \quad \omega_i = (1/3) (15 - 16\tau); \quad \varepsilon_i = -16/3; \quad 0,625 < \tau \leq 0,875; \\
 \psi_i &= 1 - (64/9) (1 - \tau)^3; \quad \omega_i = (64/3) (1 - \tau)^2; \quad \varepsilon_i = (-128/3) (1 - \tau); \quad 0,875 < \tau \leq 1.
 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$



Циклоидальный (закон № 3):

$$\begin{aligned} \psi_i &= z - 0,5 \pi^{-1} \sin 2 \pi z; \quad \omega_i = 1 - \cos 2 \pi \tau; \\ \varepsilon_i &= 2 \pi \sin 2 \pi \tau. \end{aligned} \quad (5)$$

Закон наклонной синусоиды (закон № 4):

$$\left. \begin{aligned} \psi_i &= z - 0,5 \pi^{-1} \sin 2 \pi z; \quad \omega_i = (1 - \cos 2 \pi z) / n; \\ \varepsilon_i &= [2 \pi (1 - b) \sin 2 \pi z] / n^3; \\ \tau &= z - 0,5 \pi^{-1} \sin 2 \pi z; \quad n = 1 - b \cos 2 \pi z, \end{aligned} \right\} (6)$$

где z – вспомогательный переменный параметр, изменяющийся от 0 до 1; b – параметр, характеризующий наклон синусоиды; может принимать значения от -1 до $+1$.

Закон Неклютина (модифицированный трапецеидальный – закон № 5):

$$\left. \begin{aligned} \psi_i &= 0,3 (\tau - 0,2 \pi^{-1} \sin 5 \pi \tau); \quad \omega_i = 0,3 (1 - \cos 5 \pi \tau); \quad \varepsilon_i = 1,5 \pi \sin 5 \pi \tau; \quad 0 \leq \tau \leq 0,1; \\ \psi_i &= 1,5 \pi (0,5 \tau^2 - 0,04 \tau); \quad \omega_i = 1,5 \pi (\tau - 0,04); \quad \varepsilon_i = 1,5 \pi; \quad 0,1 < \tau \leq 0,4; \\ \psi_i &= 1,5 \pi \{-0,075 + 0,4 \tau - 0,04 \pi^{-2} \sin [5 \pi (0,5 - \tau)]\}; \quad \omega_i = 1,5 \pi \{0,4 + 0,2 \pi^{-1} \cos [5 \pi (0,5 - \tau)]\}; \\ \varepsilon_i &= 1,5 \pi \sin [5 \pi (0,5 - \tau)]; \quad 0,4 < \tau \leq 0,5; \quad \psi_i = 1 - 1,5 \pi \{-0,075 + 0,4 (1 - \tau) - 0,04 \pi^{-2} \sin [5 \pi (\tau - 0,5)]\}; \\ \omega_i &= 1,5 \pi \{0,4 + 0,2 \pi^{-1} \cos [5 \pi (\tau - 0,5)]\}; \quad \varepsilon_i = -1,5 \pi \sin [5 \pi (\tau - 0,5)]; \quad 0,5 < \tau \leq 0,6, \\ \psi_i &= 1 - 1,5 \pi [-0,04 (1 - \tau) + 0,5 (1 - \tau)^2]; \quad \omega_i = 1,5 \pi (0,96 - \tau); \quad \varepsilon_i = -1,5 \pi; \quad 0,6 < \tau \leq 0,9, \\ \psi_i &= 1 - 0,3 \{1 - 0,2 \pi^{-1} \sin [5 \pi (1 - \tau)] - \tau\}; \quad \omega_i = 0,3 \{1 - \cos [5 \pi (1 - \tau)]\}; \quad \varepsilon_i = -1,5 \pi \sin [5 \pi (1 - \tau)]; \quad 0,9 < \tau \leq 1,0. \end{aligned} \right\} (7)$$

Закон движения постоянной скорости с переходными участками по синусоиде (закон № 6):

$$\left. \begin{aligned} \psi_i &= \left(\tau - \frac{m}{\pi} \sin (\pi / m) \tau \right) \frac{1}{a}; \quad \omega_i = \frac{1 - \cos (\pi / m) \tau}{a}; \\ \varepsilon_i &= \frac{\pi \sin (\pi / m) \tau}{a m}; \quad 0 \leq \tau \leq m, \\ \psi_i &= 2 (\tau - 0,5 m) / a; \quad \omega_i = (0,5 a)^{-1}; \quad \varepsilon_i = 0; \\ m &< \tau \leq (1 - m), \\ \psi_i &= 1 - \frac{1 - \tau}{a} + \frac{m \sin (\pi / m) (1 - \tau)}{\pi a}; \\ \omega_i &= \frac{1 - \cos (\pi / m) (1 - \tau)}{a}; \\ \varepsilon_i &= \frac{\pi \sin (\pi / m) (1 - \tau)}{a m}; \quad a = 2 (1 - m); \\ (1 - m) &< \tau \leq 1. \end{aligned} \right\} (8)$$

Закон Шуна (закон № 7):

$$\begin{aligned} \psi_i &= \tau^3 (10 - 15 \tau + 6 \tau^2); \quad \omega_i = 30 \tau^2 (1 - \tau)^2; \\ \varepsilon_i &= 60 \tau (1 - 3 \tau + 2 \tau^2). \end{aligned} \quad (9)$$

Полиномиальный 9-й степени (закон № 8):

$$\left. \begin{aligned} \psi_i &= 103,457 \tau^9 - 465,55 \tau^8 + 855,0267 \tau^7 - \\ &- 820 \tau^6 + 439,55 \tau^5 - 135,159 \tau^4 + 23,686 \tau^3; \\ \omega_i &= 931,11 \tau^8 - 3724,44 \tau^7 + 5985,18 \tau^6 - \\ &- 4920 \tau^5 + 2197,73 \tau^4 - 540,64 \tau^3 + 71,06 \tau^2; \\ \varepsilon_i &= 7448,88 \tau^7 - 26071,08 \tau^6 + 35911,08 \tau^5 - \\ &- 24600 \tau^4 + 8790,92 \tau^3 - 1621,91 \tau^2 + 142,12 \tau. \end{aligned} \right\} (10)$$

Следует отметить, что зависимости (3)–(10) приведены только для вращающегося ведомого звена. Для прямолинейно движущегося ведомого

звена следует заменить соответствующие угловые перемещения, скорости и ускорения на линейные: s_i, v_i, a_i .

В таблице даны значения констант пиков скорости ω_{mi} , ускорения ε_{mi} , кинетической мощности N_{mi} ($N_i = \omega_i \varepsilon_i$) и пульса j_{mi} для законов движения, приведенных на рис. 2. Константа пика кинетической мощности определяет максимальный вращающий момент на входном валу привода от приведенных сил инерции масс механизма. Константа пика пульса j_{mi} характеризует интенсивность изменения ускорений и играет существенную роль при исследовании колебаний в быстроходных механизмах.

Сила удара пропорциональна перепаду ускорений в момент перехода от фазы разгона к фазе торможения и может привести к тому же динамическому эффекту, что и мягкий удар, что было отмечено в работах И.И. Вульфсона. С этой целью в качестве критерия введен безразмерный параметр



Таблица 1

Динамические характеристики идеальных квазибезударных законов движения загрузочных устройств сборочных машин-автоматов

№ п/п	Закон движения	m	ω_{mi}	ε_{mi}	N_{mi}	j_{mi}	j_{mi}^* ($\tau = 0,5$)
1	Изменение ускорения по треугольнику	—	2	8	8,7	32	—32
2	Изменение ускорения по треугольнику с участками постоянной скорости (модифицированный)	—	1,67	5,55	—	56	0
3	Циклоидальный	—	2	6,28	8,16	39,5	—39,5
4	Наклонной синусоиды при $b = 0,15$	—	1,739	5,89	5,5	69,4	—23,2
5	Неклютина	0,1	2	4,68	8,1	61,4	—61,4
6	Движения постоянной скорости с переменными участками по синусоиде	0,125	1,143	14,36	—	—	0
		0,200	1,25	9,82	8,02	173,6	0
		0,250	1,33	8,38	—	113	0
7	Шуна (полиномиальный 5-й степени)	—	1,875	5,77	6,69	60	—30
8	Полиномиальный 9-й степени	—	1,871	10,2	6,35	0	—

j_{mi}^* , характеризующий пульс ускорения, соответствующий $\tau = 0,5$.

Анализ безразмерных характеристик (табл. 1) квазибезударных законов "идеальных" механизмов показывает, что если сравнивать законы движения по величине максимального ускорения, существенно влияющего на величину динамических нагрузок на звенья механизма и производительность устройства в целом, то минимальную константу пика ускорения среди однородных законов движения имеют следующие законы (в порядке возрастания ε_{mi}): закон Шуна; наклонной синусоиды (при $b = 0,15$); циклоидальный. Среди комбинированных законов движения с участками постоянной скорости наименьший пик ускорения имеют закон Неклютина и модифицированный кубический закон изменения ускорения по треугольнику с участками постоянной скорости.

С точки зрения минимальных энергозатрат приводного двигателя (минимальное значение критерия

N_{mi}) предпочтительны законы наклонной синусоиды и полиномиальные.

Для повышения быстродействия загрузочных устройств машин-автоматов важное значение имеет анализ критерия пульса j_{mi} в точках позиционирования и в середине фазы движения j_{mi} ($\tau = 0,5$). Здесь наиболее предпочтительными являются законы: наклонной синусоиды, Шуна, циклоидальный и кубический.

Следует отметить, что приведенные ранее выводы носят приближенный характер и пригодны на этапе предварительных расчетов. Для более детального динамического анализа следует применять аналитические методы исследования упругих систем механизмов подачи для оптимизации их параметров (соотношения масс, жесткостей и т.п.) и синтеза оптимальных законов движения по критерию быстродействия.

В данной работе моделирование динамики загрузочных устройств сборочных систем с управляе-

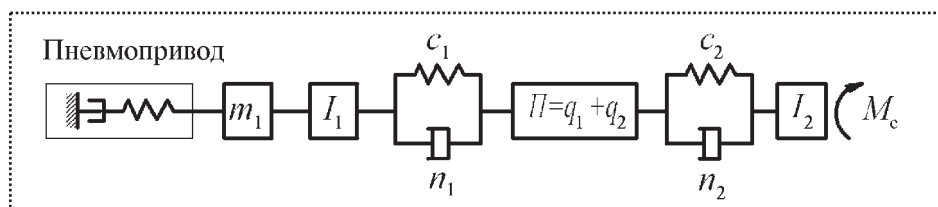


Рис. 3. Динамическая модель грузочного устройства с пневмоприводом

мым пневмоприводом производилось в программе "20-sim 4.1" "Controllab Products B.V.2009". Структурная схема исследуемой динамической модели грузочного устройства, учитывающей упругодиссипативные свойства пневматического привода и инерционно-упругодиссипативные свойства исполнительного звена, изображена на рис. 3.

На рис. 3 приняты следующие обозначения: m_1 – масса поршня, штока-рейки и промежуточных звеньев; I_1 и I_2 – приведенные моменты инерции промежуточных звеньев и исполнительного звена; c_1 и c_2 – коэффициенты жесткости элементов системы; n_1 и n_2 – коэффициенты демпфирования элементов системы; q_1 и q_2 – обобщенные координаты; M_c – момент сопротивления; Π – кинематический аналог механизма с квазибезударным законом движения.

На рис. 4 приведены реальные законы движения исполнительного звена грузочных устройств, полученные в результате моделирования при одном и том же угле поворота $\psi_\Sigma = 90^\circ$, времени поворота $t_{\text{пов}} = 0,2$ с, приведенном моменте инерции ведомых масс $I_2 = 0,5$ кг·м/с². Основные динамические характеристики иллюстрируемых колебательных режимов исполнительных звеньев грузочных устройств приведены в табл. 2. Кроме того, в табл. 2 даны значения безразмерных показателей, рассчитанных по результатам моделирования. К ним относятся:

- коэффициент динамичности

$$K_d = |\varepsilon_{\max}^{(T)}| / \varepsilon_{\max}^0,$$

где $\varepsilon_{\max}^{(T)}$ – максимальные угловые ускорения исполнительного звена при торможении; ε_{\max}^0 – расчетное значение максимального углового ускорения;

$$O_\varepsilon = |\varepsilon_{\max}^{(P)}| / \varepsilon_{\max}^{(P)},$$

где $\varepsilon_{\max}^{(P)}$ – максимальные угловые ускорения исполнительного звена при разгоне;

- коэффициент, характеризующий уровень дополнительных динамических нагрузок, вызванных колебаниями

$$Q_\varepsilon^* = |\varepsilon_{\max}^{(K)}| / \varepsilon_{\max}^0,$$

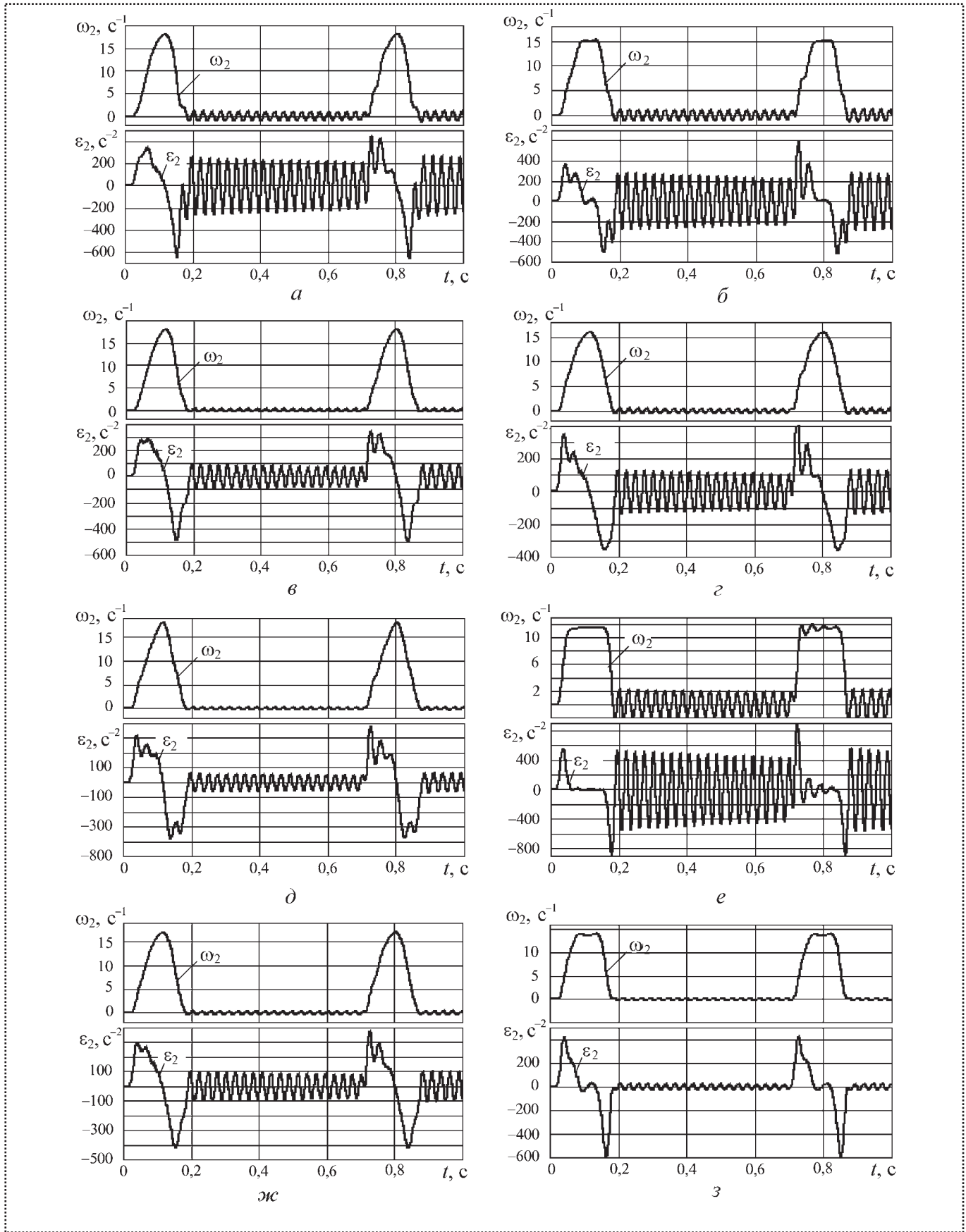
где $\varepsilon_{\max}^{(K)}$ – амплитуда угловых ускорений крутильных колебаний в момент выстоя ведомого звена.

Анализ результатов моделирования (см. рис. 4 и табл. 2) показывает, что диаграммы скоростей и ускорений для большинства квазибезударных законов движения исполнительного звена грузочных устройств имеют искаженный характер за счет перераспределения между участками разгона и торможения, что в итоге привело к резкому возрастанию максимальных ускорений $\varepsilon_{\max}^{(T)}$ на участке торможения.

Наименьшие ускорения на участке торможения среди однородных квазибезударных законов движения имеет закон Шуна ($O_\varepsilon = 1,11$); среди комбинированных – закон Неклютина ($O_\varepsilon = 1,01$) и закон движения постоянной скорости с переменными участками по синусоиде при $t(v = \text{const}) = 0,5 T_{\text{п}}$ ($O_\varepsilon = 1,01$). Наименьшее значение коэффициента динамичности K_d имеют полиномиальные законы ($K_d = 1,0 \dots 1,17$), а также циклоидальный ($K_d = 1,27$) и наклонной синусоиды ($K_d = 1,27$).

Отличительной особенностью реальных законов движения от идеальных является наличие значительных крутильных колебаний исполнительного звена грузочного устройства в точках позиционирования. Для большинства из рассматриваемых законов движения (за исключением полиномиальных, циклоидального и закона Неклютина) крутильные колебания приводят к существенному нарушению симметрии динамических характеристик, причем на кривых ускорений появляются заметные фазовые сдвиги и всплески, превышающие максимальные ускорения на режиме торможения, при этом $\varepsilon_{\max}^{(P)} > |\varepsilon_{\max}^{(T)}|$.

Резкое возбуждение крутильных колебаний наблюдается при комбинированных законах движе-





← **Рис. 4. Результаты моделирования динамики загрузочных устройств с различными законами одностороннего вращательного движения:**

a – изменение ускорения по треугольнику (закон № 1); *b* – модифицированный закон № 1 с участками постоянной скорости (закон № 2); *v* – циклоидальный (закон № 3); *z* – закон наклонной синусоиды, $b = 0,15$ (закон № 4); *d* – Закон Неклютина (закон № 5); *e* – закон движения постоянной скорости с переменными участками по синусоиде (закон № 6); *ж* – закон Шуна (закон № 7); *з* – полиномиальный 9 степени (закон № 8)

Таблица 2

Динамические характеристики реальных законов движения загрузочных устройств сборочных машин-автоматов

№ п/п	Закон движения	$\omega_{\max}, \text{c}^{-1}$	$\varepsilon_{\max}^{(p)}, \text{c}^{-2}$	$\varepsilon_{\max}^{(T)}, \text{c}^{-2}$	$\varepsilon_{\max}^{(k)}, \text{c}^{-2}$	K_d	O_ε	O_ε^*
1	Изменение ускорения по треугольнику	18,1	450	660	270	1,34	1,47	0,55
2	Изменение ускорения по треугольнику с участками постоянной скорости	15,3	594	514	295	1,74	1,16	0,86
3	Циклоидальный	18,0	293	492	91	1,27	1,68	0,23
4	Наклонной синусоиды при $b = 0,15$	16,1	467	358	138	1,29	1,30	0,38
5	Неклютина	18,0	380	383	63	1,33	1,01	0,22
6	Движение постоянной скорости с переменными участками по синусоиде $t(v=\text{const}) = 0,57 T_{\text{п}}$	12,1	876	885	558	1,56	1,01	0,98
7	То же, $t(v=\text{const}) = 0,4 T_{\text{п}}$	13,1	556	562	110	1,27	1,11	0,25
8	Шуна	17,0	377,5	418	102	1,17	1,11	0,29
9	Полиномиальный 9-й степени	14,0	425	587	27	1,0	1,38	0,04

ния. Например, для модифицированного закона изменения ускорения по треугольнику с участками постоянной скорости показатель $O_\varepsilon^* = 0,86$; для закона движения постоянной скорости с переменными участками по синусоиде $O_\varepsilon^* = 0,98$. В то же время для законов Неклютина, Шуна и циклоидального – показатель $O_\varepsilon^* = 0,22 \dots 0,29$. Наименьшее значение $O_\varepsilon^* = 0,04$ соответствует полиномиальному закону 9-й степени.

Таким образом, результаты исследования динамических характеристик реальных квазибезударных законов движения загрузочных устройств с

учетом колебательных процессов в точках позиционирования показали, что наилучшими законами движения с точки зрения увеличения быстродействия и производительности являются: циклоидальный, наклонной синусоиды при $b=0,15$, Шуна, полиномиальный 9-й степени. Из комбинированных законов наиболее предпочтительным является закон Неклютина.

С точки зрения практической реализации рассматриваемых законов движения с помощью управляемого пневмопривода полиномиальные законы менее предпочтительны по сравнению с гар-

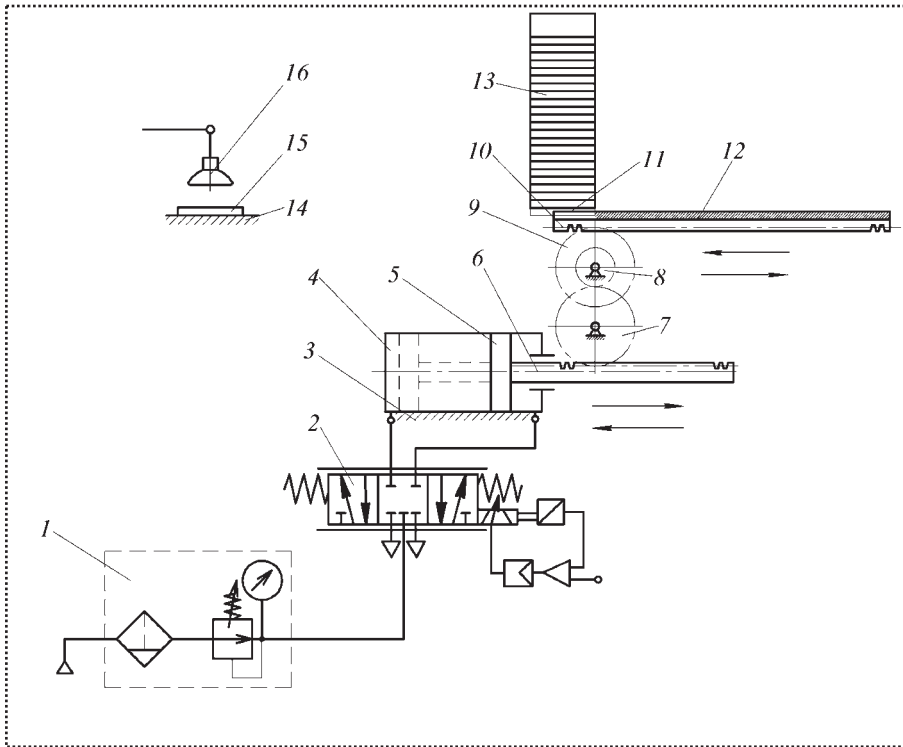


Рис. 5. Загрузочное устройство с управляемым пневматическим приводом:

1 – устройство подготовки воздуха; 2 – пропорциональный 5/3 распределитель прямого действия; 3 – основание; 4 – пневмоцилиндр двустороннего действия; 5 – шток; 6 – зубчатая рейка; 7, 8, 9 – зубчатые колеса; 10 – подвижная рейка; 11 – шибер; 12 – каретка; 13 – кассета с заготовками; 14 – позиция загрузки; 15 – деталь; 16 – рука манипулятора

моническими (циклоидаальный и т.п.), так как должны быть реализованы с очень высокой точностью. В противном случае применение полиномиальных законов может привести к существенному ухудшению динамики загрузочного устройства.

В качестве примера рассмотрим подающее устройство с управляемым пневмоприводом [6], в котором реализован циклоидаальный закон движения шибера (рис. 5).

Управление пневмоцилиндром осуществляется с помощью пропорционального распределителя 2

фирмы FESTO. В процессе управления аналоговый входной сигнал соответствует пропорционально открываемой части выходного отверстия распределителя. Контроллер получает сигналы обратной связи по давлению в полостях пневмоцилиндра 4 и по положению поршня 6 и управляет пропорциональным распределителем 2 в соответствии с циклоидаальным законом движения.

На рис. 6 приведены результаты экспериментального исследования динамических характеристик пневмопривода шибера загрузочного уст-

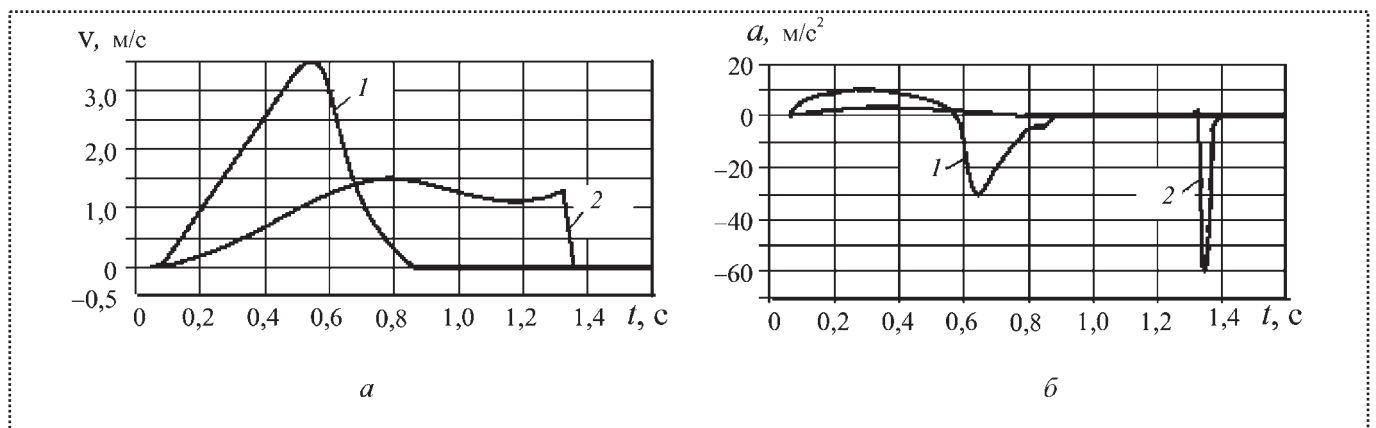


Рис. 6. Законы движения загрузочного устройства с циклоидаальным законом движения подающего шибера:

a – для скорости; *б* – для ускорения; 1 – пневмопривод с циклоидаальным законом движения; 2 – пневмопривод с традиционным законом движения



ройства при реализации циклоидального закона движения и параметрах: максимальное время перемещения $t_s \leq 1,0$ с; масса стопы заготовок $m = 12$ кг. Для сравнения там же приведены соответствующие кривые, полученные для традиционного способа торможения пневмоцилиндра шибберного загрузочного устройства с помощью демпфирующих устройств.

Приведенные графики показывают, что управляемый пневматический привод с циклоидальным (квазибезударным) законом движения в точках позиционирования обеспечивает более высокое быстродействие загрузочного устройства и благоприятные динамические характеристики.

Выводы

Повышение эффективности автоматизированных сборочных систем в значительной степени зависит от быстродействия загрузочных устройств. Применение в подающих устройствах управляемого пневмопривода с квазибезударными законами движения исполнительного звена дает возможность до 30 % повысить их быстродействие за счет улучшения динамических характеристик и увеличить производительность сборочных операций, характеризующихся малой длительностью цикла.

Применение полиномиальных законов движения исполнительного звена загрузочных устройств тре-

бует дополнительных исследований с точки зрения возможности и эффективности практической реализации способа управления пневмоприводом.

Библиографический список

1. **Автоматическая** загрузка технологических машин: справочник / И.С. Бляхеров и др.; под общ. ред. И.А. Клусова. М.: Машиностроение, 1990. 400 с.
2. **Надеждин И.В.** Быстродействующие манипуляторы для автоматизации процессов сборки мелких деталей в машиностроении и приборостроении // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2005. № 8. С. 20–27.
3. **Надеждин И.В.** Высокодинамичные механизмы вспомогательных операций автоматизированных сборочных производств / Под ред. В.Ф. Безъязычного. М.: Машиностроение, 2008. 270 с.
4. **Безъязычный В.Ф., Надеждин И.В.** Повышение производительности автоматизированной сборки за счет увеличения быстродействия транспортно-загрузочного оборудования // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2007. № 4. С. 6–11.
5. **Надеждин И.В.** Характерные динамические модели исполнительных механизмов транспортно-загрузочного оборудования автоматизированных сборочных производств // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2010. № 4. С. 9–15.
6. **Шибберный** питатель с управляемым пневматическим приводом: пат. на полезную модель 124209, Российская Федерация, МПК В23Q7/10 / И.В. Надеждин, А.В. Беберина. № 2012119791/02; заявл. 14.05.2012 г; опубл. 20.01.2013, Бюл. № 2. 3 с.



Читайте в следующем номере:



- **Полякова М.В., Рабинович Л.А., Плешаков А.А., Горелова А.Ю., Кристалль М.Г.** Минимизация экономических потерь при использовании пригонки для прецизионной сборки партий деталей
- **Демин А.А., Титов И.А.** Сборка прессовых соединений с применением промежуточных деформируемых втулок
- **Ланщиков А.В., Колганов Е.А.** Исследование затяжки резьбовых соединений пневматическим поршневым гайковертом
- **Карабанов В.В., Бохоров И.О.** Пайка титана и его сплавов
- **Челпанов И.Б., Кочетков А.В.** Механические испытания микромеханических приборов и средств измерения
- **Емельяненко А.А., Бабкин С.Г.** Об опыте использования пластика в качестве материалов корпусов гидроакустических приборов

УДК 658.005.5

В.Н. Бойкачёв, канд. техн. наук (НТИЦ "ТЕХКОМ")

E-mail: Techcom.space@gmail.com

Оптимизация организационно-технологического сопровождения автоматизации электромонтажных работ в производстве радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов

Разработаны оптимальные организационно-технологические решения по автоматизации электромонтажных работ в производстве радиоэлектронной аппаратуры, обеспечивающие высвобождение рабочих и повышение эффективности производства.

The optimal organizational and technological solutions for the automation of electrical work in the manufacturing of electronic equipment providing release of the workers and production efficiency increasing are developed.

Ключевые слова: организационно-технологическое решение, электромонтажные работы, эффективность производства, космический аппарат.

Keywords: organizational and technological solution, electrical work, production efficiency, spacecraft.

Основными тенденциями в развитии радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) космических аппаратов (КА) являются миниатюризация и интеллектуализация электронной компонентной базы (ЭКБ).

Важнейшим фактором миниатюризации является рост плотности монтажа электронных компонентов на печатных платах.

Другая важная особенность – высокая цена отказа прибора во время полета.

Обобщая современный опыт [1], можно сделать вывод о необходимости перехода к автоматизированному производству, где роль человека как непосредственного исполнителя технологических процессов минимальна.

Как показывает проведенный анализ, переход к полностью или частично автоматизированному производству требует наличия необходимых и достаточных условий. Необходимые условия включают в себя в основном готовность и способность руководства предприятия принять решение об автоматизации производства и наличие соответствующих ресурсов.

Готовность руководства предприятия принимать ответственные решения по совершенствованию организации производства в значительной мере зависит от состояния на нем инновационной деятельности. Для приборостроительных предприятий, работающих на высококонкурентном рынке высокотехнологичной продукции, повышение (или хотя бы поддержание на необходимом уровне) конкурентоспособности производства возможно главным образом путем осуществления им инновационной деятельности.

Осуществление непрерывного ряда инновационных циклов является формой выражения инновационного процесса от зарождения новой научной идеи до ее реализации в производстве в виде использования новых или улучшенных средств производства, технологических процессов, создания новых или усовершенствованных видов продукции и услуг, новых форм и методов организации производственного процесса [2]. Снижение инновационной активности приводит к отставанию предприятия в конкурентной борьбе [3].

В связи с этим одним из организационно-методических принципов повышения эффективности процессов создания и производства РЭА является создание на предприятии инновационной среды, которая характеризуется вовлеченностью всего коллектива предприятия в инновационную деятельность.

Основное достаточное условие перехода к автоматизированному производству – наличие соответствующего технологического оборудования и необходимого специального программного обеспечения. Современный рынок предлагает широкую гамму средств автоматизации для организации технологических процессов.

В качестве примера рассмотрим организацию работ по созданию участка автоматической сборки печатных плат в АНО "НТИЦ "ТЕХКОМ", включающего в себя три основных вида технологического оборудования: универсальный дозатор Dispense Master DD-500 (рис. 1 на стр. 2 обложки), систему монтажа компонентов MP-100 Modulo (рис. 2 на стр. 2 обложки) и программно-управляемую установку для пайки BM-W530 (рис. 3 на стр. 2 обложки).



Выбор данного оборудования обусловлен единичным и мелкосерийным характером производства, компактностью, а также его высокими техническими характеристиками.

Дозатор Dispense Master DD-500 является настольным. В нем могут быть использованы различные инструменты для нанесения точек и линий паяльной пасты, а также ее заливки или распыления. Дозатор прост в программировании. Для повышения эффективности работы в нем предусмотрена функция конвертации трехмерной модели печатной платы (CAD-модели) в управляющую программу дозирования. Оператор также может создать различные модели нанесения пасты: линии, арки, дуги, эллипсы, круги, точки, заливку и т.д. Эти возможности позволяют прецизионно наносить пасту на точки и каналы рельефных печатных плат [4]. Есть также функция повторения ранее созданных моделей, которая значительно сокращает трудоемкость работ в условиях действующей на предприятии системы типизации, унификации и стандартизации производства.

Дозатор можно быстро переналадить, он имеет высокие скорость (80 мм/с для линий) и точность дозирования. Перед началом работы он считывает штрих-код тубы с паяльной пастой для того, чтобы определить срок ее годности. Если он не соблюден, работа не начинается.

С использованием данного оборудования можно также лакировать платы с помощью устанавливаемой форсунки. Перемещение форсунки над поверхностью платы с элементами осуществляется в 3D режиме.

Система MP-100 – это гибкое модульное устройство для сборки на печатных платах мелких и средних партий электронных компонентов. Система работает с платами толщиной 0,5...4,5 мм с точностью монтажа ± 50 мкм и скоростью установки до 4800 компонентов в час. Система сама распознает загруженные в питатели компоненты, проверяет их и устанавливает.

Платы с установленными компонентами паяют на установке BM-W530. После включения установки и выхода ее на программно-заданный режим пайки на транспортную ленту устанавливают и пропускают через систему специальный тестер для того, чтобы сверить температурные поля в местах пайки с заданной программой работ. При необходимости можно программно провести коррекцию температуры и скорости перемещения платы внутри печи. Подготовленную для пайки плату (паяльная паста нанесена и компоненты установлены) устанавливают на транспортную ленту. После окончания пайки осуществляются отмывка и сушка с последующим визуальным и электрическим контролем.

Данное оборудование создает гибкую систему автоматизации электромонтажных работ с широкими функциональными возможностями. Помимо основных специалистов (инженеров, технологов, програм-

мистов) созданная система высвобождает и контролеров, так как контрольные операции выполняются тоже автоматически. Это обеспечивает высокое качество монтажа и производительность труда ввиду отсутствия "человеческого фактора". Те немногие и несложные работы, которые невыгодно автоматизировать, могут выполнять специалисты-технологи (загрузка, установка и снятие деталей и сборочных единиц, включение и выключение оборудования).

В результате внедрения системы автоматизации электромонтажных работ не только резко повышается производительность труда, но и уровень его интеллектуализации и, соответственно, квалификационные требования к техническому персоналу. В этом случае он должен обладать, как минимум, двумя компетенциями, а именно: технолога и программиста.

В условиях автоматизации производства происходит также интеллектуализация технологической подготовки производства (ТПП). Основу ее составляет проектирование автоматизированных технологических процессов с помощью соответствующих программных продуктов на основе электронных моделей конструкции печатных плат.

Характерно, что эти процессы совершенствования ТПП вступают в противоречие с технологическими нормативными документами, действующими в условиях ручного механизированного труда. В соответствии с ними на рабочих местах должна находиться необходимая технологическая документация. При внедрении автоматизированного производства технологический процесс можно посмотреть в электронном технологическом архиве.

При организации внедрения автоматизированных производств целесообразно использовать процессный подход, при котором дополнительно сокращается объем административных функций за счет способности сотрудников работать по принципу самоорганизации труда. В целях повышения эффективности производства для реализации такого организационно-методического подхода необходимо ввести данные компетенции в перечень требований к занимаемому персоналу.

Библиографический список

1. **Бойкачев В.Н.** Модель компактного интеллектуального производства систем управления космическими летательными аппаратами: тез. доклада на 12-й Междунар. конф. CAD/CAM/PDM-2102. М.: ИПУ РАН, 2012. 48 с.
2. **Батьковский А.М.** Моделирование инновационного развития высокотехнологичных предприятий радиоэлектронной промышленности // Современные технологии управления. 2012. № 9 (21). URL: <http://sovman.ru>.
3. **Урличич Ю.М.** Для покорения космоса необходимы передовые технологии // Наука и технологии в промышленности. 2012. № 1. С. 66–70.
4. **Бойкачев В.Н.** Инновационное технологическое обеспечение качества печатных плат // Технология машиностроения. 2013. № 2. С. 51–53.



УДК 621.757

Л.В. Божкова, М.В. Вартанов, д-ра техн. наук,

Н.А. Мартынович (Московский государственный машиностроительный университет – МАМИ)

E-mail: iptm@mami.ru, martynovich.nikita@mami.ru

Математическая модель динамики сопряжения деталей с применением промышленного робота и вибрационного устройства*

Представлена математическая модель динамики роботизированного сопряжения деталей типа "вал-втулка" с применением пассивной адаптации на базе вибрационной опоры.

The mathematical model of dynamics of the "shaft-hub" parts assembly by means of passive adaptation based on the vibratory cycling method was proposed.

Ключевые слова: динамика сопряжения, робот, сборка, деталь типа "вал-втулка", вибрационные колебания, пассивная адаптация.

Keywords: dynamics of assembly, robot, assembly, "shaft-hub" part, vibratory cycling, passive adaptation.

Часть III. Дифференциальные уравнения относительного движения центра масс вала при двухзвенном контакте сопрягаемых деталей

Рассмотрим случай, когда контакт сопрягаемых деталей произойдет в двух точках – k_3 и k_4 . При этом на центральную деталь будут действовать две нормальные реакции – \bar{N}_3 и \bar{N}_4 и две силы трения – $\bar{F}_{тр}^{(3)}$ и $\bar{F}_{тр}^{(4)}$ (рис. 3.1).

Таким образом, при двухточечном контакте сопрягаемых деталей дифференциальные уравнения относительно движения центра масс вала будут иметь вид:

$$\begin{cases} m\ddot{\xi}_c = N_{3\xi} + N_{4\xi} + F_{тр\xi}^{(3)} + F_{тр\xi}^{(4)} + F_{\xi}^{yn} + \\ + F_{ce\xi}^{ин} + F_{ck\xi}^{ин} + F_{\xi}^e, \\ m\ddot{\eta}_c = N_{3\eta} + N_{4\eta} + F_{тр\eta}^{(3)} + F_{тр\eta}^{(4)} + F_{\eta}^{yn} + F_{ce\eta}^{ин} + \\ + F_{ck\eta}^{ин} + F_{\eta}^e, \\ m\ddot{\zeta}_c = N_{3\zeta} + N_{4\zeta} + F_{тр\zeta}^{(3)} + F_{тр\zeta}^{(4)} + F_{\zeta}^{yn} + F_{ce\zeta}^{ин} + \\ + F_{ck\zeta}^{ин} + F_{\zeta}^e, \end{cases} \quad (3.1)$$

* Начало статьи опубликовано в № 1, 4, 2013.

где проекции на оси системы координат $O\xi\eta\zeta$ силы упругости \bar{F}^{yn} определяются отношениями (1.4), переносной и Кориолиса сил инерции центра масс вала – $\bar{F}_{ce}^{ин}$ и $\bar{F}_{ck}^{ин}$ – соотношениями (1.5) и (1.6), а сборочные силы \bar{F} – соотношениями (1.7)*.

Следовательно, для получения дифференциальных уравнений относительного движения центра масс вала необходимо найти проекции нормальных реакций \bar{N}_3 и \bar{N}_4 сил трения $F_{тр}^{(3)}$ и $F_{тр}^{(4)}$ на оси системы координат $O\xi\eta\zeta$, жестко связанной с базовой деталью.

Нормальная реакция \bar{N}_3 перпендикулярна оси Cz_3 и параллельна оси Cy_3 . При этом проекции нормальной реакции \bar{N}_3 на оси системы координат $Cx_3y_3z_3$ будут, соответственно, равны:

$$N_{3x3} = 0, \quad N_{3y3} = -N, \quad N_{3z3} = 0. \quad (3.2)$$

На основе выражений (3.2) с учетом формулы (1.10) можно найти проекции реакции \bar{N}_3 на оси системы координат $O\xi\eta\zeta$ по формуле:

$$\begin{Bmatrix} N_{3\xi} \\ N_{3\eta} \\ N_{3\zeta} \end{Bmatrix} = [lg] \begin{Bmatrix} N_{3x3} \\ N_{3y3} \\ N_{3z3} \end{Bmatrix}. \quad (3.3.1)$$

В результате получим с точностью до величины второго порядка малости:

$$\left. \begin{aligned} N_{3\xi} &= 0 \\ N_{3\eta} &= -N_3 \\ N_{3\zeta} &= N_3\varphi \end{aligned} \right\}. \quad (3.3.2)$$

Проекция силы трения $\bar{F}_{тр}^{(3)}$ на оси системы координат $Cx_3y_3z_3$, жестко связанной с устанавливаемой деталью, известны:

$$F_{трx3}^{(3)} = 0, \quad F_{тры3}^{(3)} = 0, \quad F_{трz3}^{(3)} = F_{тр}^{(3)} = fN_3, \quad (3.4)$$



где f – коэффициент трения скольжения.

Найдем проекции силы трения $\bar{F}_{тр}^{(3)}$ на оси подвижной системы координат $O\xi\eta\zeta$, жестко связанной с базовой деталью [4], по формуле

$$\begin{Bmatrix} F_{тр\xi}^{(3)} \\ F_{тр\eta}^{(3)} \\ F_{тр\zeta}^{(3)} \end{Bmatrix} = [lg] \begin{Bmatrix} F_{трx3}^{(3)} \\ F_{тры3}^{(3)} \\ F_{трz3}^{(3)} \end{Bmatrix}. \quad (3.5)$$

На основе формулы (3.5) с учетом выражений (3.4), (1.10) и (1.3) получим:

$$\begin{aligned} F_{тр\xi}^{(3)} &= -f N_3 \psi, \\ F_{тр\eta}^{(3)} &= f N_3 \varphi, \\ F_{тр\zeta}^{(3)} &= f N_2. \end{aligned} \quad (3.6)$$

При контакте сопрягаемых деталей в двух точках (k_3 и k_4) теряются две степени свободы центра масс вала.

В соответствии с функциональными возможностями упругих связей в схвате известны две координаты точки k_3 в системе координат $Cx_3y_3z_3$, а именно:

$$x_{k3}^{(3)} = 0, \quad y_{k3}^{(3)} = r. \quad (3.7)$$

Координата $z_{k3}^{(3)}$ неизвестна.

Между координатами точки k_3 в системе координат $O\xi\eta\zeta$ и $Cx_3y_3z_3$ существует зависимость:

$$\begin{Bmatrix} \xi_{k3} \\ \eta_{k3} \\ \zeta_{k3} \\ 1 \end{Bmatrix} = [Bg] \begin{Bmatrix} x_{k3}^{(3)} \\ y_{k3}^{(3)} \\ z_{k3}^{(3)} \\ 1 \end{Bmatrix}, \quad (3.8)$$

где $[Bg]$ – матрица, определяемая по формуле (2.6).

На основании формулы (3.8) с учетом выражений (3.7), (2.6) и (1.3) найдем следующие приближенные зависимости:

$$\begin{aligned} \xi_{k3} &= z_{k3}^{(3)} \psi + \xi_c, \\ \eta_{k3} &= r + z_{k3}^{(3)} \varphi + \eta_c, \\ \zeta_{k3} &= -r\varphi + z_{k3}^{(3)} + \zeta_c, \end{aligned} \quad (3.9)$$

где координату $z_{k3}^{(3)}$ определяют по формуле

$$z_{k3}^{(3)} = vt - l, \quad (3.10)$$

где v – скорость звена, несущего схват.

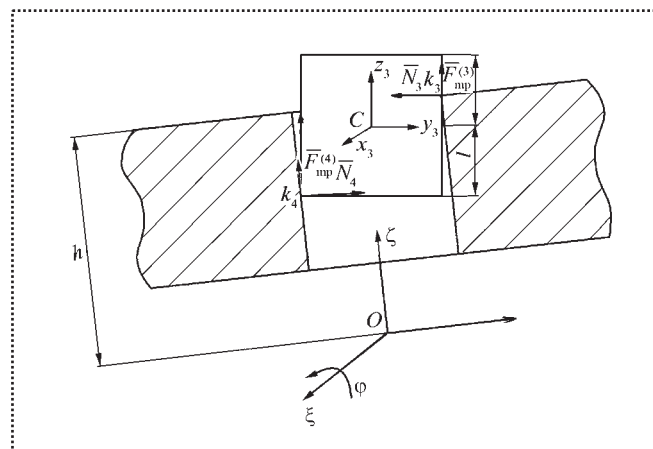


Рис. 3.1. Расчетная схема двухточечного контакта сопрягаемых поверхностей

Кроме того, как следует из рис. 3.1, известна координата точки k_3 в системе координат $O\xi\eta\zeta$, а именно:

$$\zeta_{k3} = h. \quad (3.11)$$

На основе третьего уравнения системы (3.9) с учетом уравнений (3.10) и (3.11) получим

$$\zeta_c = h + l + r\varphi - vt. \quad (3.12)$$

Далее необходимо найти проекции нормальной реакции \bar{N}_4 и силы трения $\bar{F}_{тр}^{(4)}$ на оси подвижной системы координат $O\xi\eta\zeta$. Как следует из рис. 3.1, нормальная реакция \bar{N}_4 перпендикулярна оси $O\xi$ и приближенно параллельна оси $O\eta$.

Следовательно:

$$N_{4\xi} = 0, \quad N_{4\eta} = N_4, \quad N_{4\zeta} = 0. \quad (3.13)$$

Из формул (3.13) следует, что сила трения $\bar{F}_{тр}^{(4)}$ расположена в плоскости, параллельной координатной плоскости $O\xi\eta$. При этом проекции силы трения $\bar{F}_{тр}^{(4)}$ на оси системы координат $O\xi\eta\zeta$ будут определяться по формулам:

$$\begin{aligned} \bar{F}_{тр\xi}^{(4)} &= -fN_4 \frac{\dot{\xi}_{k4}}{\sqrt{\dot{\xi}_{k4}^2 + \dot{\eta}_{k4}^2 + \dot{\zeta}_{k4}^2}}, \quad \bar{F}_{тр\eta}^{(4)} = 0; \\ \bar{F}_{тр\zeta}^{(4)} &= -fN_4 \frac{\dot{\zeta}_{k4}}{\sqrt{\dot{\xi}_{k4}^2 + \dot{\eta}_{k4}^2 + \dot{\zeta}_{k4}^2}}, \end{aligned} \quad (3.14)$$

где $\dot{\xi}_{k4}$, $\dot{\eta}_{k4}$, $\dot{\zeta}_{k4}$ – соответствующие составляющие скорости точки k_4 вала.

Для определения составляющих скорости точки контакта k_4 необходимо найти соответствующие координаты этой точки в системе координат $O\xi\eta\zeta$ в виде функции времени.



Как следует из рис. 3.1, координаты точки k_4 в системе координат $Cx_3y_3z_3$ известны, а именно:

$$x_{k_4}^{(3)} = 0, \quad y_{k_4}^{(3)} = -r, \quad z_{k_4}^{(3)} = -l. \quad (3.15)$$

Между координатами точки k_4 в системе координат $O\xi\eta\zeta$ и $Cx_3y_3z_3$ существует зависимость:

$$\begin{Bmatrix} \xi_{k_4} \\ \eta_{k_4} \\ \zeta_{k_4} \\ 1 \end{Bmatrix} = [\mathbf{Bg}] \begin{Bmatrix} x_{k_4}^{(3)} \\ y_{k_4}^{(3)} \\ z_{k_4}^{(3)} \\ 1 \end{Bmatrix}. \quad (3.16)$$

На основе зависимости (3.16) с учетом формул (3.15), (2.6) и (1.3) получим следующие приближенные выражения:

$$\begin{cases} \xi_{k_4} = l\dot{\psi} + \xi_c, \\ \eta_{k_4} = -r - l\dot{\varphi} + \eta_c, \\ \zeta_{k_4} = r\dot{\varphi} - l + \zeta_c. \end{cases} \quad (3.17)$$

Как следует из рис. 3.1, в точке k_4 приближенно должно выполняться следующее условие:

$$\eta_{k_4} = -R, \quad (3.18)$$

$$\begin{cases} m\ddot{\xi}_c = -fN_3\psi - fN_4 \frac{l\dot{\psi} + \dot{\xi}_c}{\sqrt{(l\dot{\psi} + \dot{\xi}_c)^2 + (r\dot{\varphi} + \dot{\zeta}_c)^2}} - c(\xi_c + z_{c2}\psi) + m(\xi_c\dot{\psi}^2 - \eta_c\dot{\psi}\dot{\varphi} - 2\eta_c\dot{\psi}\ddot{\varphi} - \zeta_c\dot{\psi}\ddot{\psi} + 2\zeta_c\dot{\psi}\dot{\varphi}\ddot{\varphi}) + \\ + m(-2\dot{\psi}\dot{\zeta}_c - 2\dot{\eta}_c\dot{\psi}\dot{\varphi}) + F\psi, \\ m\dot{\eta}_c = -N_3 + N_4 + fN_3\varphi - c(\eta_c - z_{c2}\varphi) + m(\xi_c\dot{\psi}\dot{\varphi} + \eta_c\dot{\varphi}^2 + \zeta_c\dot{\psi}^2\varphi + \zeta_c\dot{\varphi}) + m(2\dot{\xi}_c\dot{\psi}\dot{\varphi} + 2\dot{\zeta}_c\dot{\varphi}) - F\varphi; \\ m\ddot{\zeta}_c = N_3\varphi + fN_3 - fN_4 \frac{r\dot{\varphi} + \dot{\zeta}_c}{\sqrt{(l\dot{\psi} + \dot{\xi}_c)^2 + (r\dot{\varphi} + \dot{\zeta}_c)^2}} - c(\zeta_c - z_{c2}) + m(\xi_c\dot{\psi}\ddot{\varphi} + \eta_c\dot{\psi}^2\dot{\varphi} - \eta_c\ddot{\varphi} + \zeta_c\dot{\varphi}^2 + \zeta_c\dot{\psi}^2) + \\ + m(-2\dot{\eta}_c\dot{\varphi} + 2\dot{\xi}_c\dot{\psi}) - F. \end{cases} \quad (3.22)$$

где R – радиус отверстия базовой детали.

Второе соотношение (3.17) с учетом формулы (3.18) позволяет определить координату η_c :

$$\eta_c = -(R - r) + l\dot{\varphi}. \quad (3.19)$$

Таким образом, на основе (3.17) и (3.18) можно найти необходимые производные по времени от координат точки k_4 :

$$\begin{aligned} \dot{\xi}_{k_4} &= l\dot{\psi} + \dot{\xi}_c \\ \dot{\eta}_{k_4} &= 0 \\ \dot{\zeta}_{k_4} &= r\dot{\varphi} + \dot{\zeta}_c. \end{aligned} \quad (3.20)$$

В результате подстановки системы (3.20) в систему (3.14) найдем:

$$\begin{aligned} F_{\text{тр}\xi}^{(4)} &= -fN_4 \frac{l\dot{\psi} + \dot{\xi}_c}{\sqrt{(l\dot{\psi} + \dot{\xi}_c)^2 + (r\dot{\varphi} + \dot{\zeta}_c)^2}}; \\ F_{\text{тр}\eta}^{(4)} &= 0; \\ F_{\text{тр}\zeta}^{(4)} &= -fN_4 \frac{r\dot{\varphi} + \dot{\zeta}_c}{\sqrt{(l\dot{\psi} + \dot{\xi}_c)^2 + (r\dot{\varphi} + \dot{\zeta}_c)^2}}. \end{aligned} \quad (3.21)$$

Дифференциальные уравнения относительного движения центра масс устанавливаемой детали (3.1) с учетом (3.3), (3.6), (3.13), (3.21), а также (1.4)–(1.7) примут вид:

В результате подстановки выражений (3.19) и (3.12) в левые части соответственно второго и третьего уравнения системы (3.22) получим систему двух линейных алгебраических уравнений, позволяющих определить нормальные реакции N_3 и N_4 . В результате решения этой системы уравнений найдем:

$$\frac{N_4}{m} = \frac{1}{\left[(\varphi + f) - f \frac{r\dot{\varphi} + \dot{\zeta}_c}{\sqrt{(l\dot{\psi} + \dot{\xi}_c)^2 + (r\dot{\varphi} + \dot{\zeta}_c)^2}} \right]} \left\{ \begin{aligned} & \left[ml\ddot{\varphi} + \frac{c}{m}(\eta_c - z_{c2}\varphi) - \xi_c\dot{\psi}\ddot{\varphi} - \eta_c\dot{\varphi}^2 - \zeta_c\dot{\psi}^2\varphi - \right. \\ & \left. - \zeta_c\ddot{\varphi} - 2\dot{\xi}_c\dot{\psi}\dot{\varphi} - 2\dot{\zeta}_c\dot{\psi}\dot{\varphi} - 2\dot{\xi}_c\dot{\varphi} + \right. \\ & \left. + \frac{F}{m}\varphi \right] (\varphi + f) + r\dot{\varphi} + \frac{c}{m}(\zeta_c - z_{c2}) - \\ & \left. - \xi_c\dot{\psi}\ddot{\varphi} - \eta_c\dot{\psi}^2\varphi + \eta_c\ddot{\varphi} - \zeta_c\dot{\psi}^2 + 2\dot{\eta}_c\dot{\varphi} - 2\dot{\xi}_c\dot{\psi} + \frac{F}{m} \right\}. \end{aligned} \quad (3.23)$$



$$\frac{N_3}{m} = \frac{N_4}{m} - l\ddot{\varphi} - \frac{c}{m} (\eta_c - z_{c2}\varphi) + \xi_c \ddot{\psi} \varphi + \eta_c \dot{\varphi}^2 + \zeta_c \dot{\psi}^2 \varphi + \zeta_c \dot{\varphi} + 2\xi_c \dot{\psi} \varphi + 2\dot{\zeta}_c \dot{\varphi} - \frac{F}{m} \varphi. \quad (3.24)$$

Таким образом, в рассматриваемом случае контакта сопрягаемых деталей в двух точках, задача свелась к решению одного дифференциального уравнения:

$$\begin{aligned} \ddot{\zeta}_c = & -\frac{N_3}{m} f \psi - f \frac{N_4}{m} \frac{l\dot{\psi} + \dot{\xi}_c}{\sqrt{(l\dot{\psi} + \dot{\xi}_c)^2 + (r\dot{\varphi} + \dot{\zeta}_c)^2}} - \\ & - \frac{c}{m} (\xi_c + z_{c2}\psi) + \xi_c \dot{\psi}^2 - \eta_c \dot{\psi} \varphi - \\ & - 2\eta_c \dot{\psi} \dot{\varphi} - \zeta_c \dot{\psi} + 2\zeta_c \dot{\psi} \dot{\varphi} - 2\dot{\psi} \dot{\zeta}_c - 2\dot{\eta}_c \dot{\psi} \varphi + \frac{F}{m} \psi. \end{aligned} \quad (3.25)$$

При этом координаты центра масс вала η_c и ζ_c определяют в соответствии с выражениями (3.19) и (3.12) по формулам:

$$\begin{cases} \eta_c = -(R-r) + l\varphi, \\ \zeta_c = h + l + r\varphi - vt. \end{cases} \quad (3.26)$$

В результате подстановки соотношений (1.1) в систему (3.26) получим уравнения, характеризующие законы изменения со временем координат η_c и ζ_c центра масс устанавливаемой детали:

$$\begin{aligned} \eta_c &= -(R-r) + lA \cos kt, \\ \zeta_c &= h + l + rA \cos kt - vt. \end{aligned} \quad (3.27)$$

На основе выражения (3.27) можно определить соответствующие составляющие скорости центра масс вала относительно втулки, а именно:

$$\begin{aligned} v_{c\eta} &= \dot{\eta}_c = -Alk \sin kt, \\ v_{c\zeta} &= \dot{\zeta}_c = -(Ark \sin kt + v). \end{aligned} \quad (3.28)$$

Из сравнения выражений следует, что одновременно эти составляющие скорости не могут быть равными нулю. Следовательно, явление заклинивания в рассматриваемом случае сборки исключено.

Вывод

Дальнейшее исследование поставленной задачи связано с реализацией построенных математических моделей на компьютере и проведением физического эксперимента на промышленном роботе IRB-140, оснащенный силомоментным датчиком и адаптивной технологической оснасткой.

Библиографический список

1. Божкова Л.В., Варганов М.В., Чуканова О.В., Кольчугин Е.И. Метод роботизированной сборки с использованием вибрационных колебаний // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2006. № 9. С. 19–24.
2. Божкова Л.В., Варганов М.В., Бакена Мбуа Ж.К. Совершенствование технологии сборки цилиндрических продольных деталей с применением вибрационных колебаний и пассивной адаптации // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2010. № 7. С. 26–32.
3. Добронравов В.В., Никитин Н.Н. Курс теоретической механики. М.: Высшая школа, 1983. 575 с.
4. Коловский М.З., Слоущ А.В. Основы динамики промышленных роботов. М.: Наука, 1988. 240 с.



УДК 621.753.3

С.Л. Заярный, канд. техн. наук (Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана)
E-mail: texnakon@yandex.ru

Определение параметров гидропрессового способа сборки-разборки соединения с натягом с использованием имитационной модели

Рассмотрена имитационная модель гидропрессового способа сборки-разборки соединения с натягом. Показана возможность использования имитационной модели для исследования процесса гидропрессования соединения с натягом. Определена функция изменения давления рабочего тела по длине соединения в зависимости от его конструктивных и технологических параметров. Показана зависимость максимального значения давления и расхода потока рабочего тела от положения подводящей канавки.

The simulation model of the assembly-disassembly connection with interference with a hydraulic press is considered. The possibility of using a simulation model to study the process of hydroextrusion connection with interference. Defined function of the pressure of the working body along the connection depending on its design and process parameters. The dependences of the maximum value of the pressure and flow rate of the working fluid on the position of the feed groove is shown.

Ключевые слова: соединение с натягом, сборка-разборка, гидропрессовый способ, имитационная модель.

Keywords: connect with interference, assembly-disassembly, gidropress method, simulation model.

Введение

Гидропрессовый способ сборки соединения с натягом (СН) обеспечивается нагнетанием рабочего тела (РТ) в зону сопряжения деталей либо с торца соединения, либо через канавку, расположенную на одной из сопрягаемых поверхностей. Это позволяет разделить сопрягаемые поверхности деталей СН пленкой РТ, что уменьшает силы трения, препятствующие их смещению.

Разделение сопрягаемых поверхностей деталей СН пленкой РТ определяет процесс гидрораспора СН [1]. Состояние стыка при гидрораспоре СН оп-

ределяется изменением по длине соединения функций давления РТ $p(x)$ и функции давления от натяга $p_n(x)$.

Если справедливо условие $p(x) \geq p_n(x)$, то такое состояние стыка СН можно охарактеризовать как "раскрытый стык". В случае если справедливо условие $p(x) \leq p_n(x)$, то РТ заполняет стык СН. При сохранении контакта поверхностей деталей такое состояние стыка можно охарактеризовать как "закрытый стык".

Вид функции давления $p(x)$, ее максимальное значение p_{\max} , а также расход Q потока РТ являются определяющими технологическими факторами гидропрессового способа сборки-разборки СН. При этом важной задачей является установление расчетными методами зависимости этих факторов от конструктивных и технологических параметров соединения.

Объект исследования представляет собой СН, сборка-разборка которого производится гидропрессовым способом с подводом РТ через подводящую канавку. При этом предполагается, что раскрытие стыка при гидрораспоре деталей соединения обеспечивается по всей длине. Параметрами соединения являются:

- d – диаметр поверхности сопряжения деталей;
- $d_1 = d_1(x)$ – внутренний диаметр охватываемой детали;
- $d_2 = d_2(x)$ – наружный диаметр охватываемой детали;
- l – длина соединения;
- l_k – величина, определяющая положение подводящей канавки;
- $\delta_n = \delta_n(x)$ – функция натяга в СН.

Гидрораспор СН для случая однонаправленного стационарного потока РТ с расходом Q (подвод РТ с торцевой части СН) и $p_n(x) = \text{const}$ был исследован в работе [2], в которой функция давления $p(x)$ была



получена в аналитической форме. Для тех же условий функция $p(x)$ получена в работе [3] в рамках интегрированной математической модели.

В настоящей работе гидропрессовый способ сборки-разборки СН исследуется с использованием имитационной модели гидрораспора [4], что позволяет варьировать, в отличие от методики, представленной в работе [2], функцией давления от натяга и положением подводящей канавки, т.е. $p_n(x) = \text{var}$ и $l_k = \text{var}$. При этом принято, что суммарный поток РТ с расходом Q разделяется на два направленных по сторонам 1 и 2 СН стационарных потока РТ с расходами Q_1 и Q_2 , т.е. $Q = Q_1 + Q_2$.

В общем случае расходы потока РТ по сторонам соединения являются несимметричными относительно подводящей канавки ($Q_1 \neq Q_2$) и предопределяются:

- конструкцией деталей СН;
- допускаемыми отклонениями сопрягаемых поверхностей деталей СН;
- положением подводящей канавки.

Решение задачи может быть получено суперпозицией решений, полученных отдельно для каждой стороны СН.

Суммарный расход Q может изменяться в широких пределах. Значение максимального давления ограничивается прочностью деталей СН. При этом возможные сочетания параметров ограничиваются полезной мощностью насоса высокого давления $N \geq Q p_{\max}$.

Изменение расходов Q_1 и Q_2 приводит к изменению сопротивления протеканию РТ, что в свою очередь приводит к изменению градиента давления по сторонам 1 и 2 стыка [4]:

$$\text{grad}[p_{1(2)}(x)] = \frac{6\nu Q_{1(2)}}{\pi d (\delta_{1(2)})^3}. \quad (1)$$

Параметры, входящие в соотношение (1), являются циклически взаимозависимыми. Так, с изменением функции давления $p_{1(2)} = p_{1(2)}(x)$ изменяется вязкость РТ

$$\nu = \nu_0 \exp(\alpha p_{1(2)}),$$

где ν_0 – вязкость РТ, определенная при нормальном давлении;

$\alpha = 0,02...0,03$ – коэффициент.

Изменение функции давления также приводит к изменению зазора между сопрягаемыми поверхностями деталей СН $\delta_{1(2)} = \delta_{1(2)}(x)$. Изменение вязкости РТ и величины зазора обуславливают изменение его гидравлического сопротивления. Изменение гидравлического сопротивления зазора обуславливает изменение функции давления $p_{1(2)} = p_{1(2)}(x)$. Связанное с этим изменение максимального значения p_{\max} приводит к изменению коэффициента полезного действия КПД (p_{\max}) и полезной мощности насоса высокого давления $N = \frac{Q p_{\max}}{\text{КПД}(p_{\max})}$.

Если радиальная жесткость СН по сторонам стыка составляет $g_{1(2)} = g_{1(2)}(x)$, а $p_{n1(2)} = p_{n1(2)}(x)$, то с учетом перечисленных зависимостей и очевидного соотношения $\delta_{1(2)} = \frac{p_{1(2)} - p_{n1(2)}}{g_{1(2)}}$ соотношение (1) может быть представлено в виде

$$\frac{\Delta p_{1(2)}(x)}{\Delta x} = 6\nu_0 \exp[\alpha p_{1(2)}(x)] \frac{N}{\pi d} \times \left[\frac{g_{1(2)}}{p_{1(2)}(x) - p_{n1(2)}(x)} \right]^3 \frac{\text{КПД}(p_{\max})}{p_{\max}}.$$

Из полученного рекуррентного соотношения видно, что градиент давления, обуславливающий изменение функции давления РТ по длине СН, сам зависит как от изменения этой функции, так и от параметров гидропрессового оборудования, в частности от параметров насоса высокого давления. Это, а также показанная на примере (1) циклическая взаимозависимость входящих в соотношение параметров существенно усложняют получение аналитического решения задачи по определению функции давления РТ при гидрораспоре СН.

По указанной ранее причине параметры гидропрессовой сборки-разборки СН определяют экспериментальными методами, с учетом конкретных конструктивных и технологических ограничений.

Так, исследованиями, представленными в работе [1], установлено, что в случае применения РТ с кинематической вязкостью $\nu = 128 \text{ мм}^2/\text{с}$ при $Q \leq 100 \text{ мм}^3/\text{с}$ давление, необходимое для сборки-разборки СН с диаметром сопрягаемой поверхности $d = 75...86 \text{ мм}$, гидропрессовым способом определяется как $p_{\max} = 20 + 1,8 p_n(l_k)$. При этом в слу-



чае использования РТ с произвольной вязкостью v_{0c} для определения p_{\max} рекомендуется применять соотношение $p_{\max} = (0,5 + 0,1 \ln v_{0i}) [20 + 1,8 p_n (l_k)]$. В случае $Q \geq 100 \text{ мм}^3/\text{с}$ давление РТ существенно увеличивается.

Приведенные данные позволяют установить некоторые условия эффективной сборки-разборки СН гидропрессовым способом, а именно:

- условие не превышения расхода РТ на единицу окружной длины стыка СН (удельный расход) $q = v_{0i} Q / 128 \pi d \leq 0,4 \text{ мм}^2 \text{ с}^{-1}$;

- условие не превышения полезной мощности насоса высокого давления на единицу окружной длины стыка (удельная мощность) $\bar{N} = Q p_{\max} / \pi d < 0,6 \cdot 10^{-4} \text{ кВт} / \text{мм}$.

Определение функции давления РТ по каждой стороне СН, с учетом формулы (1), может быть выполнено численным методом по рекуррентному соотношению [4]:

$$p_{i+1, j} = p_{i, j} - \Delta x \text{ grad } (p_{i, j}), \quad (2)$$

где $p_{i, j}$ – расчетное давление для i -го сечения и j -го расчетного цикла;

Δx – шаг расчета.

Величины, входящие в формулу (2), определяют из соотношений:

- градиент давления для сечения x_i , j -го расчетного цикла

$$\text{grad } (p_{i, j}) = 6q_i v_{i, j} \left(\frac{g_i}{p_{i, j} - p_{ni}} \right)^3;$$

- кинематическая вязкость для сечения x_i , j -го расчетного цикла

$$v_{i, j} = v_0 \exp(\alpha, p_{i, j}),$$

где v_0 – кинематическая вязкость РТ при нормальном давлении; α – коэффициент, $\alpha = 0,02$;

- радиальная жесткость СН при раскрытии стыка в сечении x_i

$$g_i = \frac{2}{d} \frac{E_1 E_2}{E_1 C_{2i} + E_2 C_{1i}},$$

где E_1, E_2 – модули упругости материалов деталей СН;

- безразмерные параметры, определяющие радиальную жесткость СН в сечении x_i

$$C_{1i} = \frac{1 + k_{1i}^2}{1 - k_{1i}^2} - \mu_1;$$

$$C_{2i} = \frac{1 + k_{2i}^2}{1 - k_{2i}^2} + \mu_2;$$

$$k_{1i} = \frac{d_{1i}}{d}, \quad k_{2i} = \frac{d}{d_{2i}},$$

где μ_1 и μ_2 – коэффициенты Пуассона деталей СН.

Определение функции давления РТ для СН обеспечивается суперпозицией решений, полученных для каждой ее стороны. При этом граничные условия составляют: $p_{1\max} = p_{2\max}$, $N = \text{var}$. Общее решение может быть представлено в виде

$$p(x) = p_{\Delta l_k=0}(x) + \Delta p_{\Delta l_k}(x),$$

где $p_{\Delta l_k=0}(x)$ – функция давления при симметричном положении подводящей канавки $l_k = 0,5l$,

$\Delta p_{\Delta l_k}(x)$ – функция изменения давления, соответствующая измененному положению подводящей канавки $l_k = 0,5l - \Delta l_k$.

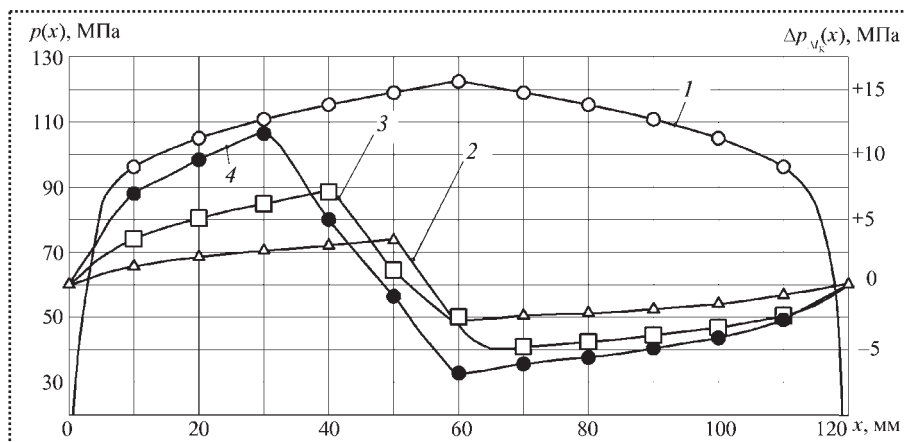
На рис. 1 и 2 представлены результаты расчета $p(x)$, $\Delta p_{l_k}(x)$ и Q_1, Q_2 для СН с параметрами $d_1 = 10 \text{ мм}$; $d = 84 \text{ мм}$; $d_2 = 130 \text{ мм}$; $l = 120 \text{ мм}$; $l_k = 20 \dots 60 \text{ мм}$; $p_n = 50 \text{ МПа}$. Максимальное давление РТ принималось $p_{РТ} = 123 \text{ МПа}$ при кинематической вязкости при температуре $50 \text{ }^\circ\text{C}$ $\bar{v} = 128 \text{ мм}^2/\text{с}$.

Полученные результаты могут быть использованы и при определении параметров гидропрессового способа сборки-разборки конических соединений с натягом (КСН) с малой конусностью ($c \leq 1:50$). Особенностью КСН является то, что их разборка гидропрессовым способом может быть обеспечена без приложения внешнего осевого усилия. При этом важным параметром является время разборки КСН.

Время разборки КСН гидропрессовым способом с увеличением производительности насоса высокого давления сокращается, однако при этом существенно увеличиваются напряжения в охватываемой детали и возрастает повреждаемость сопрягаемых поверхностей. С уменьшением вязкости РТ значение минимального необходимого при разборке давления уменьшается, однако при этом

Рис. 1. Распределение по длине СН функции давления $p(x)$ и функций изменения давления $\Delta p_{\Delta l_k}(x)$ в зависимости от смещения подводящей канавки Δl_k от симметричного положения:

1 – $p(x)$ при симметричном расположении подводящей канавки, $\Delta l_k = 0$; 2 – $\Delta p_{\Delta l_k}(x)$ при $\Delta l_k = 10$ мм; 3 – $\Delta p_{\Delta l_k}(x)$ при $\Delta l_k = 20$ мм; 4 – $\Delta p_{\Delta l_k}(x)$ при $\Delta l_k = 30$ мм



снижается и уровень надежности разборки КСН при неблагоприятной эпюре давления от натяга.

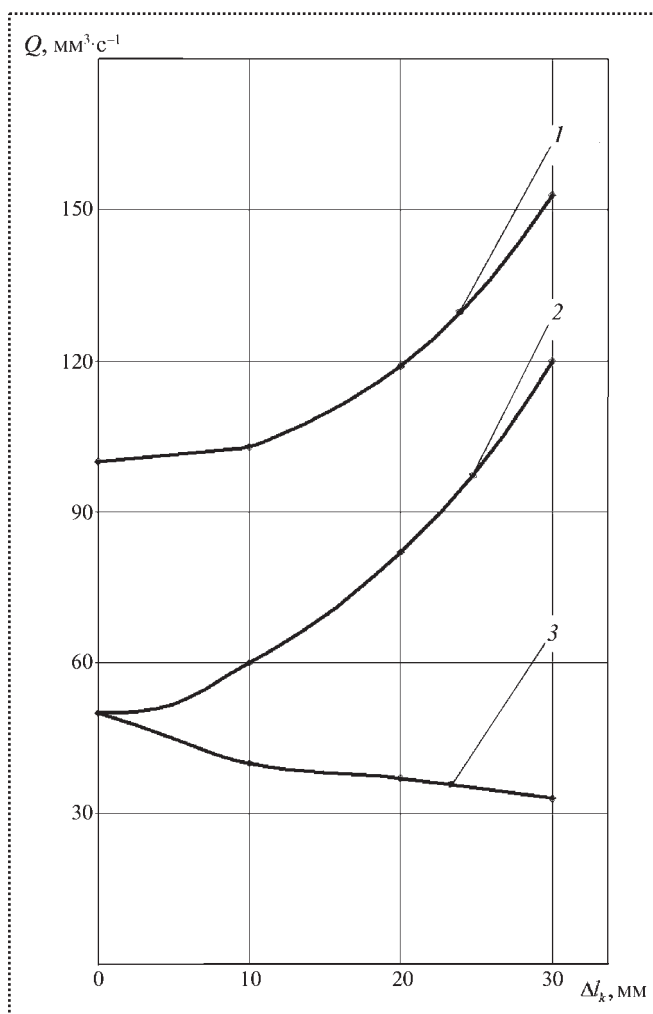


Рис. 2. Изменение общего расхода РТ Q и расходов РТ по сторонам СН Q_1 и Q_2 при сборке-разборке соединения гидропрессовым способом ($p_{\max} = 123$ МПа):

1 – Q ; 2 – Q_1 ; 3 – Q_2

Общее время разборки КСН гидропрессовым способом определяется бóльшим временем протекания РТ по сторонам соединения. Это время можно определить как большее из значений

$$t_{1(2)} = \frac{\pi d \int_{1(2)} \delta_{1(2)}(x) dx}{Q_{1(2)}}$$

Вывод

Предложенный алгоритм использования имитационной модели гидрораспора СН позволяет рассчитать распределение гидростатического давления РТ по длине соединения и определять основные параметры гидропрессовой сборки-разборки СН для различных сочетаний его параметров и условий протекания РТ в стыке.

Библиографический список

1. Гречишев Е.С., Ильяшенко А.А. Соединения с натягом: расчет, проектирование, изготовление. М.: Машиностроение, 1981. 247 с.
2. Заярный С.Л., Ильяшенко А.А., Ноткин В.С. Расчет распределения давления в соединениях с натягом при монтаже их методом гидрораспора // Вопросы технологии механосборки и сборки в машиностроении. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1980. С. 59–63.
3. Щенятский А.В. Теория и технология гидропрессовых соединений с натягом: дис. ... д-ра техн. наук. Ижевск, 2003. 355 с.
4. Заярный С.Л. Имитационные модели гидропрессования конического соединения с гарантированным натягом // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2011. № 12. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/256412.html> (дата обращения 20.12.2011).

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ СБОРКИ

УДК 621.757

Ю.З. Житников, д-р техн. наук (Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева),

Б.Ю. Житников, д-р техн. наук (Владимирский юридический институт),

Ю.Н. Матросова, канд. техн. наук (Завод им. В.А. Дегтярева, г. Ковров)

E-mail: kgta_tms@mail.ru

Инерционный гайковерт

Разработана кинематическая схема инерционно-го гайковерта. Описан принцип работы гайковерта.

Developed kinematics scheme of inertial wrench. The principle of the wrench is described.

Ключевые слова: инерционный гайковерт, точность, момент затяжки, угол затяжки.

Keywords: inertial screwdriver, accuracy, inhaling moment, inhaling corner.

Одношпиндельный гайковерт (рис. 1) состоит из корпуса с рукояткой, в котором расположен двигатель 1, на выходном валу которого установлены шестерня 2 и муфта предельного момента 4. Шестерня 2 с одной стороны через зубчатое колесо 19 связана с планетарным редуктором 17, сателлиты 3 которого выполнены неуравновешенными и установлены на водиле 16, и на

выходном валу которого закреплен механизм прерывистого движения 6 храпового типа, связанный со шпинделем 10 и патроном для удержания резьбовой детали 9 через зубчатые передачи 12 и 11. С другой стороны шестерня 2 связана со шпинделем 10 через муфту предельного момента 4, на выходном валу которой установлены колесо зубчатой передачи 12 и шестерня зубчатой передачи 11. На выходном валу механизма прерывистого движения 6 установлен модуляционный диск 8 с расположенными по его окружности токопроводящими штырями. Для контроля угла поворота резьбовой детали в процессе затяжки служит электрическая система 13, состоящая из контактов, проводников, реле P, счетчика импульсов СИ и контактирующая со штырями модуляционного диска 8 и муфтой предельного момента 4.

Гайковерт работает следующим образом.

Оператор подводит патрон 9 гайковерта к резьбовой детали, который захватывает ее и пускает двигатель 1. Одновременно замыкается контакт электрической системы контроля 13 угла затяжки резьбового соединения. Начинается процесс завинчивания резь-

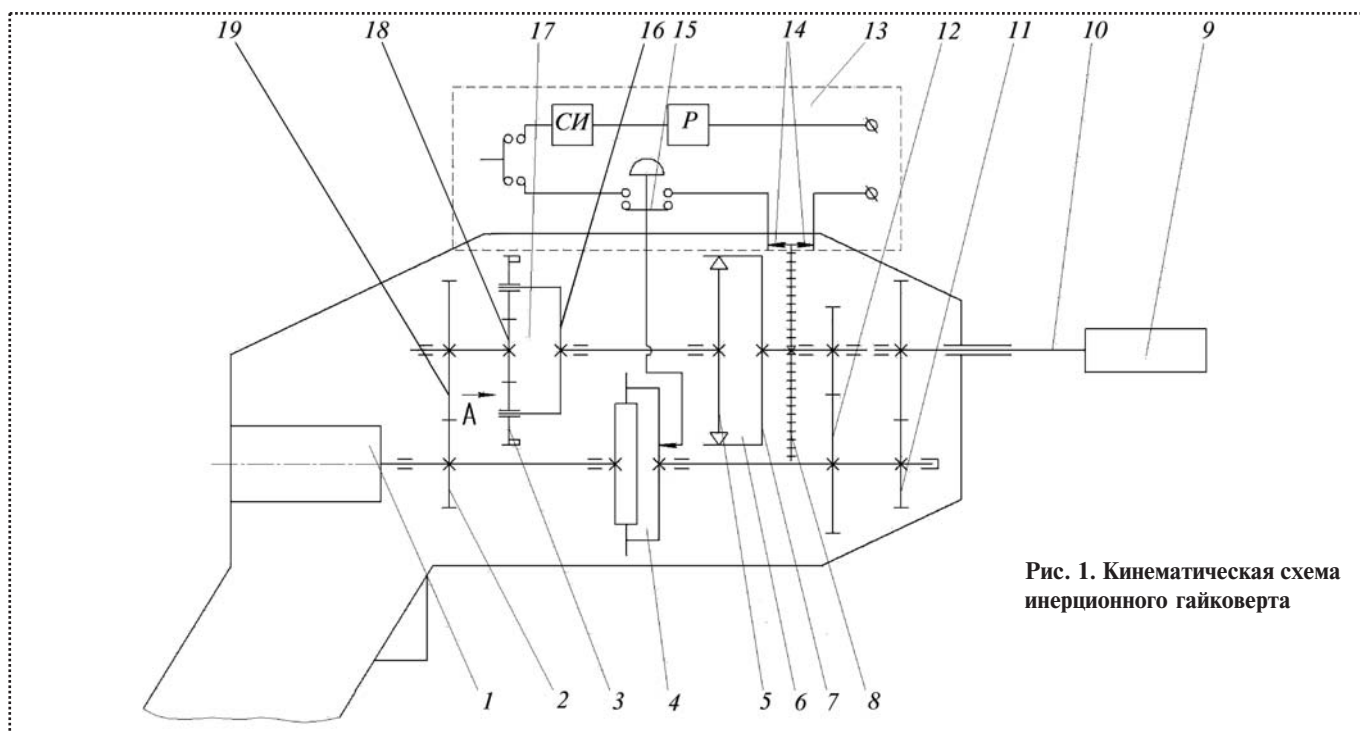


Рис. 1. Кинематическая схема инерционного гайковерта

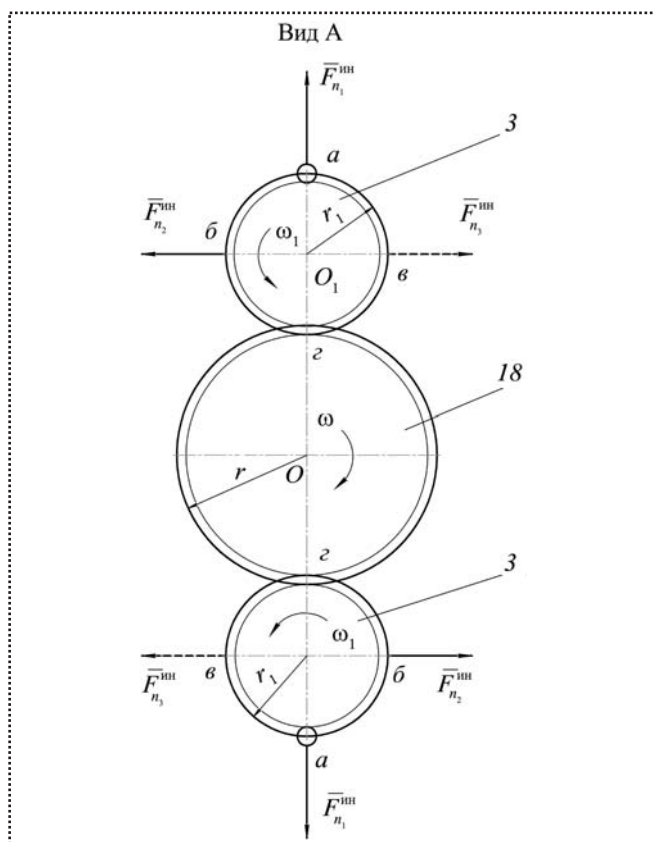


Рис. 2. Схема возникновения импульсов моментов центробежных сил инерции от неуравновешенных масс сателлитов (вид А на рис. 1):

ω и r – угловая скорость вращения и радиус колеса 18

бового соединения. Вращение от выходного вала двигателя 1 передается по двум кинематическим цепям – быстроходной, но маломоментной и тихоходной, но высокомоментной. По быстроходной цепи вращение передается от шестерни 2 через муфту предельного момента 4, зубчатую передачу 11, шпиндель 10, патрон 9 к резьбовой детали. Происходит процесс завинчивания и предварительной затяжки резьбового соединения.

В это же время вращение передается по тихоходной кинематической цепи от шестерни 2 к колесу 19, к колесу 18 на сателлиты 3 с неуравновешенными грузиками планетарного редуктора 17. При вращении сателлитов 3 с неуравновешенными грузиками возникают центробежные силы инерции (рис. 2), которые направлены в противоположную сторону нормальных ускорений, т.е. от центра вращения:

$$F_{n_1}^{\text{ин}} = m W_n = \frac{\sigma}{g} \omega_1^2 r_1,$$

где m – масса грузика;

W_n – нормальное ускорение;

σ – сила тяжести грузика;

g – ускорение свободного падения;

ω_1 – угловая скорость вращения сателлитов 3;

r_1 – радиус сателлитов 3.

Совокупность двух сил инерции, которые по мере поворота сателлитов 3 из положения (а) в положение (б) обеспечивают увеличение момента сил инерции относительно оси водила 16 планетарного редуктора 17, а при повороте грузика из положения (б) в положение (з) момент сил инерции уменьшается до нуля. При повороте из положения (з) в положение (в) момент сил инерции вновь возрастает, а при повороте из положения (в) в положение (а) уменьшается, но направлен уже в противоположную сторону от затяжки.

При повороте сателлитов 3 из положения (а) в положение (з), возникает момент сил инерции, который поворачивает вал водила 16 планетарного редуктора 17 и жестко связанную с ним обойму с собачками механизма прерывистого движения б. При вращении выходного вала муфты предельного момента 4 зубчатая передача 12 передает вращение храповому колесу 7 механизма прерывистого движения б с угловой скоростью большей, чем угловая скорость поворота обоймы. Собачки не входят в зацепление с зубьями храпового колеса, а проскальзывают по ним.

При повороте сателлитов 3 из положения (з) в положение (а) вал водила 16 планетарного редуктора 17 поворачивается в противоположную сторону от затяжки. Подпружиненные собачки, расположенные на обойме 5 утопают, проскальзывая по зубьям храпового колеса, не передавая вращения.

При достижении требуемого значения момента предварительной затяжки резьбового соединения срабатывает муфта предельного момента 4, т.е. начинают проскальзывать ее полумуфты. Подвижная полумуфта, перемещаясь вдоль оси вала муфты предельного момента 4, замыкает контакты 15 электрической системы контроля 13 угла поворота шпинделя 10. Передача вращения по быстроходной кинематической цепи прекращается.

Останавливается выходной вал муфты предельного момента 4, а следовательно, зубчатая передача 12 и храповое колесо механизма прерывистого движения б. При появлении на входном валу механизма прерывистого движения б момента сил инерции, направленного по направлению поворота резьбовой детали при затяжке, собачки обоймы 5 механизма прерывистого движения б войдут в зацепление с зубьями храпового колеса 7 и повернут его. Этот поворот через зубчатые передачи 12 и 11 передается на шпиндель 10 с патроном 9 к резьбовой детали. Одновременно с поворотом храпового колеса повернется модуляционный диск 13 и один из его штырей замкнет контакты 14 системы контроля 13, а счетчик импульсов СИ зарегистрирует первые импульсы. Процесс затяжки продолжается до тех пор, пока счетчик импульсов СИ не зарегистрирует требуемое число импульсов, соответствующее требуемому углу затяжки резьбового соединения и сработает реле Р, которое отключит двигатель. Процесс сборки резьбового соединения завершен.

Учитывая, что крутящий момент от центробежных сил инерции зависит от массы грузиков и квадрата угловой скорости вращения, гайковерту не требуется мощный двигатель с большими габаритами.

Данный гайковерт обеспечивает момент затяжки резьбовых соединений с диаметром не более 8 мм.

УДК 658.562.012(075)

В.Ф. Безъязычный, д-р техн. наук (Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева), **В.Ю. Замятин**, канд. техн. наук (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург), **А.Ю. Замятин**, д-р техн. наук (Синергия Инвест, г. Несебр, Болгария)
E-mail: technology@rgata.ru

Проект мегасистемы качества и конкурентоспособности промышленного предприятия. Концепция и общая структурно-лингвистическая модель

Изложена концепция формирования структуры и приведена структурно-лингвистическая модель открытой глобально интегрированной мегасистемы качества и конкурентоспособности промышленного предприятия. В основу построения данной системы положены ответы на текущие и прогнозируемые мировые социально-экономические вызовы и тенденции.

Project of megasystem of quality and competitiveness for industrial enterprises. The concept and the common structural and linguistic model. The concept of structure formation is presented and the structural and linguistic model is described for open globally integrated megasystem of quality and competitiveness of industrial enterprises. The basis of this system construction is formed with the help of responses to current and forecast global socio-economic challenges and trends.

Ключевые слова: промышленное предприятие, мегасистема качества и конкурентоспособности, концепция формирования, структурно-лингвистическая модель.

Keywords: industrial enterprises, megasystem of quality and competitiveness, concept formation, structural and linguistic model.

В современных информационно-коммуникационных, социально-экономических и производственных условиях для устойчивого развития промышленных предприятий необходимо оптимизационное формирование и функционирование открытой корпоративной, глобально-интегрированной, обучающей и обучающейся, процессно- и проектно-ориентированной, социально-направленной, интерактивной, инновационной, синергетической мегасистемы качества и конкурентоспособности (MSS_{KK}).

Рассмотрен принятый подход к пониманию и тематической структурно-факторной лингвистической

характеристике категорий "качество" и "конкурентоспособность" предприятий и их продукции.

В настоящей работе основной акцент сделан на описании концептуальных аспектов и соответствующей им общей факторно-структурной лингвистической модели MSS_{KK} .

С точки зрения авторов, концептуальными **являются следующие аспекты:**

1. Структура мегасистемы MSS_{KK} , внутреннее и внешнее взаимодействие ее составляющих и управление ее функционированием должны быть основаны на выделении, всестороннем анализе и учете фундаментальных текущих и прогнозируемых социально-экономических вызовов и тенденций, характерных для передовых компаний и цивилизаций. К такому в частности, относятся [1–11]:

- приоритетность системного мышления, проектных и процессных подходов;
- конфликтология и рискология развития;
- переход от индустриального общества к постиндустриальному, информационному;
- интенсификация кооперации и интеграции в мире, глобализации и либерализации экономик и рынка;
- резкое повышение значимости конкуренции на рынке и конкурентоспособности стран и организаций;
- выдвижение категории "качество" на ведущие позиции синтеза и оценки объектов рассмотрения;
- целевая приоритетная ориентация на потребителя;
- переориентация с материальных благ на духовные ценности, актуализация движения к гуманистическому обществу;
- признание человеческого потенциала и капитала главной составляющей национального богатства и основной движущей силой социально-экономического роста;



- приоритетность глобального мотивированного вовлечения человеческих ресурсов в целевую деятельность компаний;

- повышенная востребованность транспрофессионалов, интеллекта, знаний, концептуального видения, обучающихся и обучающих организаций;

- переход на новую парадигму образования и обучения;

- инновационность и наукоемкость деятельности предприятий и их продукции, достижение наиболее высоких технологического уклада и уровня зрелости процессов;

- актуализация стратегии постоянного улучшения и резкого сокращения циклов создания и жизни новых объектов;

- диверсификация производства;

- развитие рынка научно-технической интеллектуальной продукции;

- обостренное отношение к охране и безопасности труда, к здоровью персонала;

- ухудшение экологической обстановки и повышение актуальности охраны окружающей среды;

- принятие рациональных решений на основе фактических и последних достижений науки и техники с учетом возможных рисков;

- возрастание роли руководителя и лидера, значимости деловой этичной коммуникации, социокультурного и жизненно-ситуационного обеспечения персонала;

- повышение разнообразия видов и инструментов менеджмента и моделей делового совершенства;

- скачкообразный рост значения маркетинга, бенчмаркинга, конкурентной разведки и контрразведки;

- актуализация аналитической деятельности и контроллинга;

- возрастание весомости прогнозирования, планирования, нормирования;

- широкое применение автоматизации и интегрированной информационной поддержки жизненного цикла изделий;

- развитие и проблемы электронного делового и торгового пространства;

- акцент на количественные оценки;

- изменение взаимоотношений производителя с поставщиками;

- актуализация решения проблем экономики качества и выражения конкурентных преимуществ в денежных единицах.

2. Такие мировые тенденции, как переход к информационной формации, возрастание роли духовных ценностей и интеллектуальной собственности, движение к гуманистическому обществу, не означают снижение значимости материальной продукции в

жизни и экономике (без машин, механизмов, хлеба и иных материальных благ человек обойтись не может).

3. Качество предприятий и их продукции является в основном объективным свойством и характеризуется совокупностью измеряемых с определенной достоверной вероятностью (надежностью) общественно значимых показателей, практически не зависящей от мнения и пристрастий потребителей.

4. Конкурентоспособность и ценность продукции соотносятся как с производителем, так и с потребителем и другими заинтересованными сторонами, а потому представляются во многом субъективными субстанциями.

5. Факторно-структурная лингвистическая модель мегасистемы MSS_{KK} представляется совокупностью принятых концептов [12] в виде исходных положений, предпосылок, предъявляемых требований к "образу" MSS_{KK} , социально-экономических вызовов и тенденций.

6. В пространстве MSS_{KK} актуализируются как сами работы в сфере постоянного улучшения качества и повышения конкурентоспособности, так и необходимость их выполнения на новом научно-техническом и машинно-кибернетическом уровне [13].

К основным, системообразующим положениям (исходным предпосылкам и требованиям) авторы относят следующие.

1. В соответствии с тенденцией глобализации, кооперации и либерализации в мегасистеме MSS_{KK} должны быть предусмотрены структуры, ответственные за реакции на максимальное число выделенных значимых вызовов и тенденций, она адресуется научно-образовательно-производственному комплексу (НОПК), созданному на взаимовыгодных условиях промышленным предприятием и его базовым образовательным учреждением, является открытой, развивающейся адекватно изменениям рынка и окружения в целом.

2. Главной целью MSS_{KK} является обеспечение НОПК завоевания, удержания и расширения доли соответствующего потребительского рынка, достаточной для рентабельного инвестирования и получения доходов и прибыли, при которых достигается устойчивое развитие НОПК, его поставщиков и других заинтересованных сторон.

3. основополагающими задачами MSS_{KK} являются:

- сближение интересов и целей собственников и высшего руководства, с одной стороны, высшего руководства и каждого работника НОПК – с другой;

- формирование таких корпоративных условий и климата, при которых персонал видит себя не наемным униженным работником, а полноправным участником процессов выдвижения целей, составления планов, распределения доходов своего предприятия, ответственным за его имидж (иначе со временем мо-



жет быть нарушена преемственность в работе НОПК и его MSS_{KK} , или их деятельность может быть направлена на удовлетворение потребностей одной или нескольких социальных групп в ущерб другим группам);

- обеспечение и достижение:

- а) мотивированности и вовлеченности каждого работника и персонала в целом;

- б) высшего для данного номенклатурно-временного масштаба качества и конкурентоспособности всех сторон деятельности НОПК:

- 1) производства, бизнес-проектов, бизнес-процессов и их выходов (изделий и услуг);

- 2) процессов профессионального и социокультурного образования и обучения всех работников;

- 3) нравственно-социальной ответственности и жизненно-ситуационного обеспечения работников;

- 4) выгоды потребителям, поставщикам, партнерам, всему обществу;

- в) удовлетворенности и лояльности потребителей, поставщиков, других заинтересованных индивидуальных сторон, общества;

- г) благоприятного имиджа и бренда НОПК и его продукции.

4. "Предприятие без продукции конкурировать не может. Поэтому рассматривать конкурентоспособность продукции и предприятия отдельно нельзя, они находятся в диалектическом единстве" [14]. И все-таки непосредственным предметом конкуренции предприятия являются результаты его деятельности – в данном случае в основном изделия.

5. Базис синергии, результативности, и эффективности деятельности НОПК и его MSS_{KK} составляют:

- системные, процессные, проектные и статистические подходы и мышление, командные методы работы, принятие решений на основе фактов;

- оптимизационное формирование, развитие использование человеческого, информационно-коммуникационного, научно-технического, технологического и организационно-управленческого капиталов;

- подходящие для НОПК и MSS_{KK} модели делового совершенства, например, сбалансированного производства, "шесть сигм", "20 ключей";

- непрерывное улучшающее развитие и рост качества на всех стадиях жизненного цикла производства и его результатов:

- а) планирования, нормирования, контроля и учета;

- б) уровня зрелости научно-технического обеспечения (подготовки и сопровождения) производства, бизнес-проектов и бизнес-процессов;

- в) совокупного ресурсного, творческо-инновационного, проектно-конструкторского и иного потенциалов;

- обеспечение совместимости и взаимодополняемости различных прогрессивных видов:

- а) обучения и самообучения, накопления и передачи явных и скрытых, внутренних и внешних знаний;

- б) аналитического сопровождения, менеджмента, маркетинга, контроллинга, бенчмаркинга, конкурентной разведки и контрразведки;

- в) наукоемких общепроизводственных и специальных технологий и средств;

- г) оптимизационных решений долговременного (стратегического), промежуточного (тактического) и кратковременного характеров;

- д) ресурсо- и энергосбережения;

- принятие в качестве наиболее информативной и объективной группы критериев оценки результативности и эффективности НОПК и MSS_{KK} сбалансированной системы показателей (*Balanced ScoreCard*);

- построение соответствующих текущим и будущим требованиям систем технического регулирования, метрологического (квалиметрического и калиброметрического) обеспечения, оптимизационного мониторинга и функционально-статистической обработки их результатов, выполнения прогнозов с заданным риском, с учетом вариабельности процессов и их результатов-выходов;

- достижение соответствия функционирования НОПК требованиям тематических нормативных правовых и нормативно-технических документов (в основном законов, законодательных актов, стандартов);

- формирование потенциальных и реальных, предпочтительных для НОПК запросов потребителей;

- опережающие, по отношению к конкурентам:

- а) принятие и реализация оптимизационных решений;

- б) выпуск требуемой рынку (потребителю) продукции.

6. Мегасистема MSS_{KK} должна строиться, развиваться и функционировать на основе и с учетом:

- ее соответствия всех требований к системам, включая требование единства стандартов и правил для ее компонентов;

- наиболее перспективных:

- а) информационно-коммуникационных сетей и информационных технологий, в частности *CALS*, экспертных систем, методов мозговой атаки, эвристических приемов;

- б) образовательно-воспитательных идеологий, технологий и методов, включая андрагогику, дианетику, дидактику и синтактику, коучинг, майевтику, наставничество, ноонику, педагогику и эвристику, психодинамику, соционику;

- в) инновационных наукоемких производственных технологий, прежде всего таких знаковых, как нанотехнология;

- г) методов SWOT- и функционально-стоимостного анализа;



- положений теории информационно-обменных процессов, ориентированных на вовлечение всех возможностей человеческого мозга и относящихся сегодня к высшей форме организации деятельности отдельных специалистов и коллективов;

- методологии логистической поддержки образования, обучения, бизнес-проектов и процессов, изделий и услуг, аутсорсингового и консалтингового обеспечения;

- научно-прикладных достижений программно-целевого планирования, логики, математики, вычислительной математики, математической теории организаций, теории вероятностей и математической статистики, теории графов, исследования операций, теории массового обслуживания, теории запасов и очередей, теории надежности, имиджологии, конфликтологии, рискологии, сервисологии и других тематически приземленных разделов науки и практики;

- потенциала, методов и средств:

- а) контроля качества процессов и их выхода;

- б) наиболее информативного комплексного мониторинга технологического и иного оборудования, всех видов деятельности НОПК;

- в) функционально-статистической обработки полученных данных, в том числе с целью диагностирования текущего состояния и оценки остаточной работоспособности, результативности и эффективности;

- г) системного анализа, самооценки и аудита (внутреннего и внешнего), включая риски, центры и уровень затрат на управление качеством и конкурентоспособностью;

- идеологии управления персоналом на основе лидирующего преобразующего менеджмента, с акцентом на мотивацию и самомотивацию, передачу полномочий, нравственность и этичность, психологию личности и групп, справедливость;

- инновационной производственно-управленческой и социокультурной идеологии;

- требований охраны окружающей среды, безопасности и охраны труда и их удовлетворения;

- формирования разумных потребностей будущих специалистов, "находящихся в поле зрения" НОПК, а также всего персонала НОПК;

- такого взаимодействия MSS_{KK} и ее составляющих с окружением, при котором стороны понимают свою взаимозависимость и связывают улучшение своего положения с улучшением положения партнеров.

7. В связи с тем, что каждый уровень зрелости компонентов, входящих в мегасистему MSS_{KK} (прежде всего проектов, процессов), может иметь свои специфические модели структуры, связей и управления, то:

- необходимо знание уровня зрелости каждого из компонентов (процессов) НОПК и его MSS_{KK} ;

- в идеале зрелость компонентов и процессов НОПК и мегасистемы MSS_{KK} должна быть одинаковой;

- между уровнями зрелости компонентов и процессов НОПК и MSS_{KK} должна быть установлена количественная связь, позволяющая вносить поправки во взаимодействие процессов одного и разных уровней.

8. Важная роль в принятии решений и работе мегасистемы MSS_{KK} должна быть отведена:

- результатам анализа коллективных экспертных оценок и итогов "мозговых штурмов";

- обратной связи, в первую очередь относительно удовлетворенности потребителей и поставщиков;

- широкой разъяснительной работе как внутри MSS_{KK} , так и в среде всех заинтересованных сторон;

- оптимизационной коммуникации с окружением.

9. Помимо изложенного, при управлении мегасистемой MSS_{KK} необходимы:

- анализ и учет характерных особенностей личностей, составляющих персонал (природные данные, дисциплинированность, национальность, вероисповедание, принадлежность к партии, наклонности, талант и т.д.);

- идентификация и отслеживание протекания на каждом иерархическом уровне MSS_{KK} и между ними определяющих внутри- и межуровневых процессов;

- достижение оптимизационного взаимодействия указанных уровней между собой и со всеми составляющими окружения, в котором функционирует рассматриваемая интегрированная мегасистема.

10. Особое внимание должно быть уделено воспитанию и социокультурному обеспечению персонала, особенно его молодежной части, а также корпоративной социальной ответственности всех участников НОПК.

11. Уполномоченные специалисты НОПК и MSS_{KK} должны иметь полную информацию о направленности и качестве образования будущих специалистов и нести свою часть ответственности за их подготовку, должны быть в состоянии обоснованно рекомендовать выпускников на те или иные должности в составе НОПК и MSS_{KK} . Важно, чтобы будущие специалисты еще во время получения образования были бы мотивированы выполнять определенные производственные функции и обязанности и осознанно могли выбирать предпочтительный участок работы.

12. Время адаптации пришедшего в НОПК молодого специалиста к реальным условиям производства и жизни должно быть минимизировано.

Исходя из приведенных предпосылок и требований, результатов анализа современных социально-экономических вызовов и тенденций обобщенная структурно-лингвистическая модель мегасистемы



MSS_{KK} в первом приближении может быть представлена множеством U_{KK} :

$$MSS_{KK} = U_{KK} (SS_{РПК}, SS_{ЧК}, SS_{зн}, SS_{ИКО}, SS_{соц}, SS_{МС}, SS_{НТО}, SS_{ОУП}, SS_{БТЭ}, SS_{без}, SS_{ТР-МО}, SS_{ЭС}, SS_{раз}, SS_{(...)}),$$

где SS – метасистемы, структура, связи и функционирование которых направлены на обеспечение адекватной реакции НОПК на текущие и прогнозируемые вызовы и тенденции в сфере качества и конкурентоспособности соответствующих отраслей, а также на конкурентные пространственно-временные, товарно-номенклатурные особенности рынка и его сегментов.

Индексы при множествах SS означают их деловую направленность:

- "РПК" – определение, "завоевание", закрепление и устойчивое расширение эксклюзивного пространства НОПК на рынке;
- "ЧК" – формирование и развитие главного достоинства НОПК – конкурентоспособного персонала, творческого потенциала работников, человеческого капитала должного уровня;
- "зн" – достижение интеллектуального статуса НОПК, соответствующего обучающей и обучающейся компании с хорошо организованной "спиралью" и инженерией знаний;
- "ИКО" – результативное и эффективное информационное и коммуникационное обеспечение НОПК, соответствующее задачам НОПК и особенностям информационного общества;
- "соц" – формирование и достижение имиджа и фактического состояния НОПК, соответствующих гуманистической и социально-ответственной компании с высокими моральными общечеловеческими устоями, духовностью, нравственностью и этичностью, благоприятным корпоративным климатом и поведением, а также удовлетворенностью персонала и членов его семей жизненно-ситуационным обеспечением;
- "МС" – формирование особых личностно-профессиональных отношений к будущим, ориентированным на работу в НОПК, и настоящим, работающим в НОПК, молодым специалистам;
- "НТО" – результативные и эффективные научно-техническая подготовка и научно-техническое сопровождение (в совокупности – научно-техническое обеспечение) процессов образования и обучения специалистов и производства продукции;
- "ОУП" – передовое организационно-управленческое обеспечение (в том числе самыми прогрессивными моделями делового совершенства) процессов образования и обучения специалистов и производства продукции;
- "БТЭ" – охрана и безопасность труда (физического, умственного) и экосистемы, обеспечение эф-

фективности досуга и восстановления работоспособности персонала и окружающей среды;

- "без" – обеспечение и поддержание надежности и безопасности используемого оборудования и инфраструктуры НОПК;
- "ТР-МО" – техническое регулирование, контроль качества, метрологическое (квалиметрическое, квалиэгометрическое) обеспечение всех структурных составляющих и сторон деятельности НОПК;
- "ЭС" – качество и конкурентоспособность экономического сопровождения деятельности НОПК и MSS_{KK} ;
- "раз" – всестороннее углубленное аналитическое обеспечение, прогнозирование и формирование будущих запросов и потребностей окружения и рынка, выявление проблемных участков, постоянное инновационное улучшение и стратегическое развитие НОПК и MSS_{KK} на основе внутренних и внешних фактов и факторов.

Состав и содержание приведенных метасистем метасистемы MSS_{KK} будет рассмотрено в последующих работах авторов.

Библиографический список

1. Бовин А.А., Черденникова Л.Е., Якимович В.А. Управление инновациями в организациях. 2-е изд., стереотип. М.: Омега-Л, 2008. 415 с.
2. Авдеев В.В. Управление персоналом. Оптимизация командной работы: реинжиниринговая технология. М.: Финансы и статистика, 2006. 960 с.
3. Анфилов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.
4. Гаврилова Т.А., Муромцев Д.И. Интеллектуальные технологии в менеджменте. 2-е изд. СПб.: Высшая школа менеджмента, 2008. 488 с.
5. Дресвянников В.А. Построение системы управления знаниями на предприятии. М.: КНОРУС, 2008. 344 с.
6. Красовский Ю.Д. Социокультурные основы управления бизнес-организацией. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. 391 с.
7. Менеджмент / С.И. Ашмарина и др. М.: Рид Групп, 2011. 576 с.
8. Мишин В.М. Управление качеством. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2008. 463 с.
9. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. СПб.: Лань, 2007. 368 с.
10. Портер М. Конкурентное преимущество: как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость. Пер. с англ. 2-е изд. М.: Альбина Бизнес Букс, 2006. 715 с.
11. Семенов А.К., Маслова Е.Л. Психология и этика менеджмента и бизнеса. 5-е изд., испр. и доп. М.: Дашков и К°, 2007. 276 с.
12. Теслинов А.Г. Концептуальное проектирование сложных решений. СПб.: Питер, 2009. 288 с.
13. Зубков В.С. Кибернетический подход к методологии улучшения качества и конкурентоспособности продукции // Стандарты и качество. 2004. № 2. С. 64–67.
14. Воронов А.А. Конкурентоспособность промышленной продукции // Стандарты и качество. 2003. № 5. С. 59–65.



УДК 621.757

А.Г. Холодкова, канд. техн. наук (Московский государственный открытый университет имени В.С. Черномырдина)
E-mail: holodkova.albertina@yandex.ru

Обеспечение качества сборки ответственных резьбовых соединений

Рассмотрены условия сборки ответственных резьбовых соединений, обеспечивающих необходимую стабильную силу затяжки.

Assembling conditions for those critical threaded joints, which do ensure tightening force required.

Ключевые слова: резьбовое соединение, гайковерт, сила затяжки, момент затяжки, коэффициент трения, условие собираемости.

Keywords: threaded joint, screw gun, tightening force, tightening torque, friction factor, assemblability condition.

В конструкции современных машин резьбовые соединения (РС) составляют 15...22 % от общего числа соединений, а трудоемкость их сборки достигает 20...25 % от общей трудоемкости всех сборочных работ.

В ряде конструкций изделий РС являются ответственными. Их прочность и долговечность обуславливают надежность работы изделия.

Качество сборки РС определяется силой его затяжки:

$$P_3 = \sigma_3 F_6,$$

где σ_3 – напряжение затяжки материала болта;

F_6 – площадь его поперечного сечения.

Как известно, минимальное напряжение затяжки РС $\sigma_{3\min}$ – определяют из условия нераскрытия стыка соединения двух деталей, а максимальное $\sigma_{3\max}$ – в зависимости от предела текучести материала болта σ_T . Для ответственных РС $\sigma_{\max} = (0,8...0,9)\sigma_T$.

В зависимости от допустимого отклонения ΔP_3 силы затяжки РС резьбовые стержневые детали (болты, шпильки) разделены по ГОСТ Р 52627–2006 и ГОСТ Р 52628–2006 на классы прочности, основными из которых являются:

8.8; 6.6; 5.8; 4.8.

Допустимое отклонение силы затяжки ΔP_3 для указанных классов соответственно составляет: ± 6 ; ± 20 ; ± 40 ; ± 60 %.

У ответственных РС ΔP_3 не должно превышать ± 20 %. Например, в двигателях внутреннего сгорания ответственными являются РС, крепящие крышки к опорам коленчатого вала, крышки шатунов к телу шатуна и т.п.

Так как РС в большинстве случаев являются групповыми, то помимо требований к значению силы затяжки P_3 необходимо обеспечить равномерное распределение нагрузки между РС и ее минимальный разброс ΔP_3 в каждом РС.

Ошибочно считать, что для создания стабильной силы затяжки достаточно гайковертом обеспечить стабильный момент M_3 затяжки.

Значение и стабильность силы затяжки зависят от многих факторов, которые условно можно разделить на три группы, обусловленные:

- качеством изготовления собираемых деталей;
 - характеристиками резьбозавертывающего инструмента;
 - условиями выполнения РС.
- К *первой группе* факторов относят:
- точность изготовления резьбовых деталей;
 - значения коэффициентов трения в резьбе и под торцом головки болта или гайки;
 - податливость стыка.

Требуемый момент затяжки P_3 рассчитывают по известной формуле [1]:

$$M_3 = P_3 \left[\frac{d_z}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \rho) + f_T \frac{D_{\text{нр}}}{2} \right], \quad (1)$$

где d_z – средний диаметр резьбы;

α – угол подъема витков резьбы;

ρ – угол трения в резьбе;

f_T – коэффициент трения под торцом болта или гайки;

$D_{пр}$ – приведенный диаметр площади торцевого контакта болта или гайки с соединяемыми деталями.

В свою очередь,

$$D_{пр} = \frac{1 D^3 - d_o^3}{3 D^2 - d_o^2},$$

где D – наружный диаметр головки болта или гайки; d_o – диаметр отверстия под болт или шпильку в соединяемой детали.

Ввиду того, что выражение в скобках в правой части уравнения (1) изменяется для каждого конкретного РС, даже стабильный момент затяжки M_3 не гарантирует стабильной силы затяжки P_3 . Изменения в пределах допусков значений d_z , α , ρ шага резьбы, а также неперпендикулярности торцев головки болта или гайки и плоскости стыка соединяемых деталей к резьбовым поверхностям, уменьшающую их площадь контакта, для каждого РС имеют случайный характер. Такой же случайный характер имеют значения коэффициентов трения в резьбе и под торцем.

Исследования, проведенные на кафедре "Технология машиностроения" МГТУ им. Н.Э. Баумана [2], показали, что указанные погрешности оказывают существенное влияние на значение силы затяжки в условиях сухого и граничного трения.

Зависимость силы затяжки P_3 от приведенного диаметра $D_{пр}$, учитывающего изменения параметров d_z , α , ρ для накатанных болтов М14×1,5 показана на рис. 1. Стабильность момента затяжки 40 Н·м фиксировалась датчиками. Силу затяжки измеряли исходя из показаний датчиков по удлинению болта (наиболее точный метод, дающий погрешность $\pm 3...5\%$).

Для создания условий сухого трения болты были обезжирены. Как видно из кривой 1, снижение точности резьбы уменьшало силу затяжки на 33 %.

Использование жидкой смазки (ее наносили окунанием болта в масло) снижало коэффициент трения примерно в 1,5 раза, однако создание стабильной силы затяжки не обеспечивалось (линия 2).

Только использование густой смазки с антифрикционной присадкой – дисульфидом молибдена (линия 3) позволило не только увеличить силу затяжки почти в два раза, но и компенсировать отрицательное влияние погрешности параметров резьбовых деталей, обеспечивая практически ΔP_3 в пределах 10...11 %.

Проведенные исследования позволили установить, что в общем балансе погрешностей, обуслов-

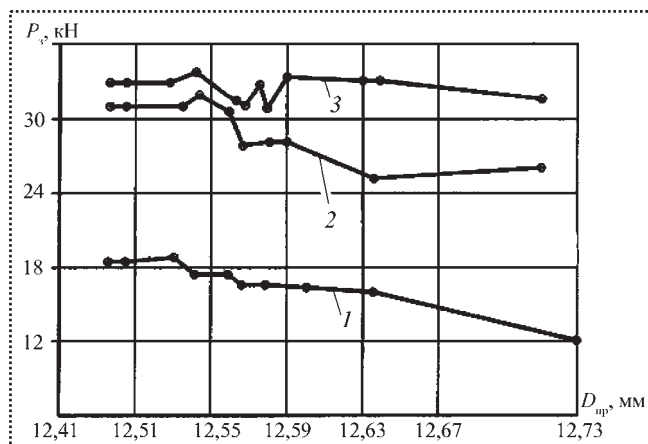


Рис. 1. Влияние смазки на величину и стабильность силы затяжки P_3 (резьбовое соединение М14, момент затяжки 40Н·м): 1 – без смазки; 2 – жидкая смазка; 3 – густая смазка с антифрикционной присадкой

ливающих нестабильность силы затяжки, погрешности параметров РС составляют около 10...12 %, гораздо существеннее влияние разброса значений коэффициента трения, доля которого в общем балансе погрешностей составляет 20...25 %.

Помимо этого, на стабильность силы затяжки РС влияет податливость λ стыка собираемых деталей. Чем больше λ , тем меньше ΔP_3 . Так, при использовании стопорных пружинных шайб ΔP_3 уменьшается на 9...11 %, а применение резиновых или паронитовых прокладок снижает ΔP_3 до 20 %.

Во второй группе факторов необходимо учитывать характеристики резьбовозавертывающего инструмента (РИ).

Известно, что существует два типа гайковертов:

- с размыканием силовой цепи двигатель – РС;
- без размыкания силовой цепи.

Гайковерты без размыкания силовой цепи (с пневмо- или гидроприводом) обычно затягивают РС до полной остановки ротора двигателя.

У гайковертов с размыканием силовой цепи используют муфты, а также токовые реле (в электрогайковертах), реле давления (в гидрогайковертах), а также различные датчики момента.

Пружинно-кулачковые муфты с полным расцеплением кулачков при достижении момента затяжки M_3 и автоматическим возвратом в исходное положение при новом цикле обеспечивают точность M_3 в пределах $\pm 5\%$.

В последнее время в гайковертах с адаптивными устройствами контроля силы затяжки [1, 2] нашли широкое применение электромагнитные порошковые муфты, передающие крутящий момент с точ-



ностью $\pm 3\%$. Их главное преимущество заключается в том, что они дают возможность плавно регулировать передающийся крутящий момент при затяжке РС. Наибольшую точность значения M_3 обеспечивает оснащение конструкции гайковерта электромагнитной порошковой муфтой с встроенным датчиком момента. Последний при достижении заданного значения M_3 дает сигнал на отключение муфты (время на его срабатывание – в пределах 0,5 с) и, тем самым, не позволяет M_3 увеличиваться под влиянием динамических факторов. При этом достигаемая точность ΔM_3 составляет $\pm 0,5\%$.

При затяжке групповых РС многошпиндельными гайковертами взаимное влияние РС друг на друга вносит дополнительные погрешности, влияющие на стабильность P_3 . Как правило, процесс затяжки в групповых РС не заканчивается в каждом соединении одновременно. Поэтому РС, затянутые первыми, под воздействием соседних РС ослабевают и могут оказаться полностью незатянутыми.

Чтобы уменьшить разброс P_3 , в групповых РС применяют двух- и трехступенчатую затяжку. Повторная затяжка стабилизирует площадь контакта резьбовых поверхностей, тем самым снижая и выравнивая силы трения в резьбе.

Помимо этого, использование РИ, оснащенных электронными устройствами активного контроля M_3 и угла поворота φ_3 головки болта или гайки при затяжке, позволяет устранить этот недостаток.

Погрешности, обусловленные конструкцией и работой РИ, в общем балансе погрешностей, вызывающих нестабильность силы затяжки ΔP_3 , составляют около 25 %.

Рассматривая *третью группу* факторов, на долю которых приходится до 30 % в общем балансе погрешностей, необходимо отметить, что в основном к ним относятся погрешности, вызванные:

- числом применяемых повторных затяжек РС;
- косвенными методами контроля затяжки: по моменту M_3 , углу поворота φ_3 или удлинению стержня болта или шпильки ΔL , а также активным методом по M_3 и φ_3 или по напряжению σ_p материала болта или шпильки [1]. Ввиду того, что непосредственно измерить P_3 РС в производственных условиях невозможно, каждый из этих методов вносит свою погрешность;
- выполнением условий собираемости при автоматической затяжке РС на сборочной позиции.

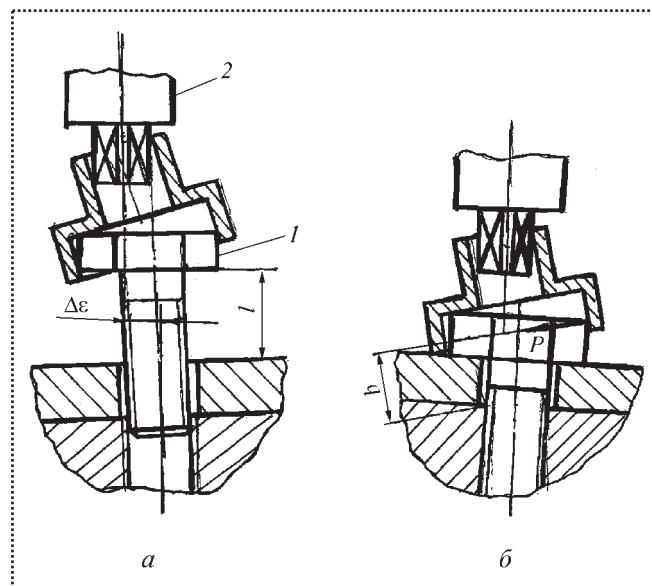


Рис. 2. Этапы процесса завинчивания гайковертом:

a – момент захвата патроном головки болта; *б* – затяжка болта: 1 – болт; 2 – патрон гайковерта; 3 – смещение оси патрона относительно оси резьбового отверстия; *P* – изгибающая сила; *b* – плечо действия силы *P*; *l* – вылет болта

Одним из условий безотказного процесса автоматической сборки и обеспечения качества РС является совмещение отверстия патрона гайковерта с шестигранником головки болта или гайки (рис. 2, *a*). Так как на сборочной позиции автоматизированной линии или робототехнологического сборочного комплекса всегда существует несоосность оси патрона и завернутого на несколько витков болта или гайки, то суммарную погрешность осевого положения определяют как

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\varepsilon_y^2 + \Delta_n^2 + \Delta_{\phi}^2}, \quad (2)$$

где ε_y – погрешность установки собираемого узла на сборочной позиции;

Δ_n – погрешность настройки шпинделя гайковерта;

Δ_{ϕ} – погрешность фиксации (позиционирования) собираемого узла на сборочной позиции.

Погрешность Δ_{Σ} может быть значительно большей при одновременном выполнении групповых РС многошпиндельным гайковертом, в котором число шпинделей может быть больше 12. Поскольку настройка гайковерта ведется по первому шпинделю и крайнему резьбовому отверстию, на точность совмещения остальных шпинделей будет влиять допуск на межосевое расстояние $T_{m.o}$ между

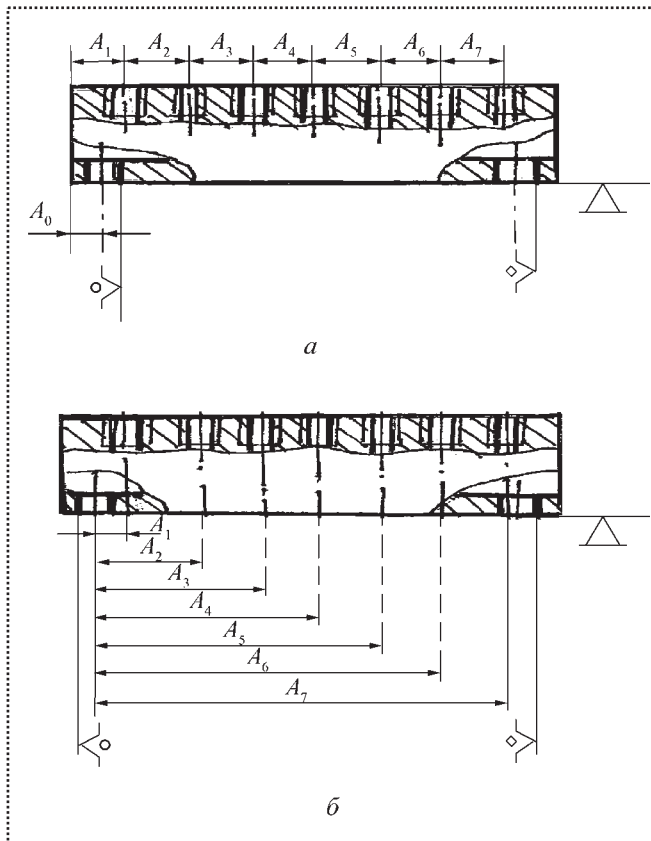


Рис. 3. Пример конструкции собираемого узла с резьбовыми деталями:

a – с неправильной простановкой; *б* – с правильной простановкой межосевых расстояний резьбовых отверстий

резьбовыми отверстиями корпусной детали (рис. 3).

При простановке линейных размеров (рис. 3, *a*) подряд, выполненных по $\pm IT 14/2$, отклонение от соосности последнего шпинделя и резьбовой поверхности достигает $\sum_{i=1}^{i=n} T_{i.m.o.}$. Производственные исследования, проведенные на автомобильных заводах, показали, что накопленная погрешность может достигать 1,2...1,5 мм.

В этом случае уравнение (2) примет вид:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\varepsilon_y^2 + \Delta_n^2 + \Delta_{\phi}^2 + \sum_{i=1}^{i=n} T_{i.m.o.}}$$

В связи с этим одними из требований, предъявляемых к конструкции собираемых деталей, являются:

- правильная простановка размеров от одной базы, показанная на рис. 3, *б*;
- ужесточение допусков на межосевое расстояние до 10–11-го квалитета, что нетрудно обеспе-

чить благодаря использованию кондукторов при обработке резьбовых отверстий в собираемых деталях или станков с ЧПУ.

Для осуществления автоматического процесса закручивания и затяжки РС необходимо, чтобы патрон гайковерта мог компенсировать имеющуюся погрешность положения собираемых деталей на сборочной позиции.

Допустимое смещение E , при котором гайковерт может захватить патроном головку болта или гайку, характеризует его технологические возможности. На рис. 4 показано положение патрона шпинделя в момент захвата гайки, наживленной на шпильку. Благодаря нежесткой консольной сборной конструкции: шпиндель *1*, насадка *2*, патрон *3*,

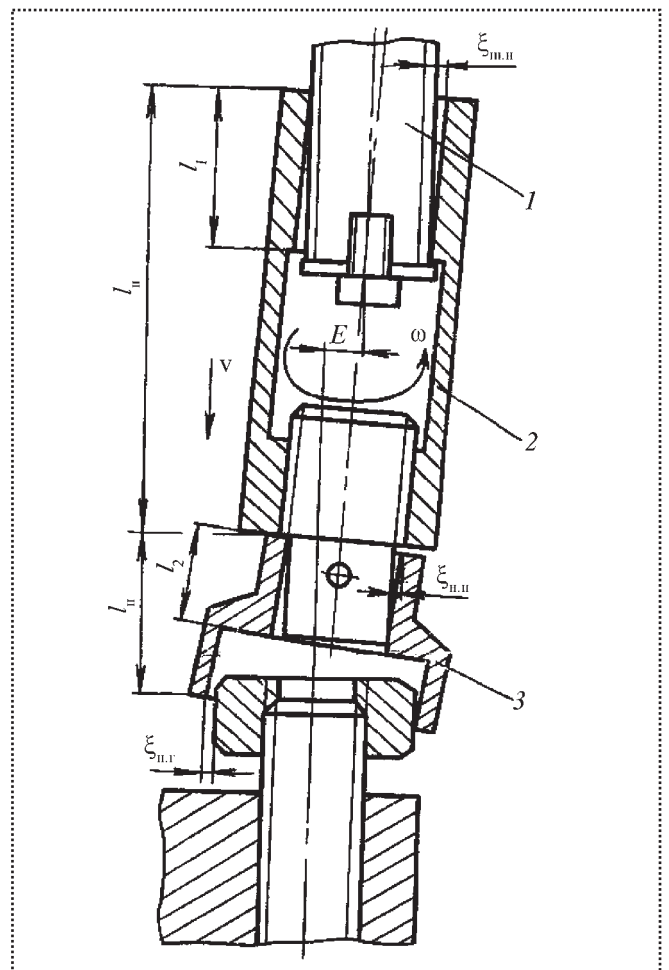


Рис. 4. Схема расположения составных частей гайковерта при выполнении резьбового соединения:

1 – шпиндель гайковерта; *2* – насадка; *3* – патрон; $\xi_{ш.п.}$, $\xi_{п.п.}$, $\xi_{п.г.}$ – соответственно зазоры между шпинделем и насадкой, насадкой и патроном, патроном и гайкой соответственно; E – допустимое смещение патрона гайковерта

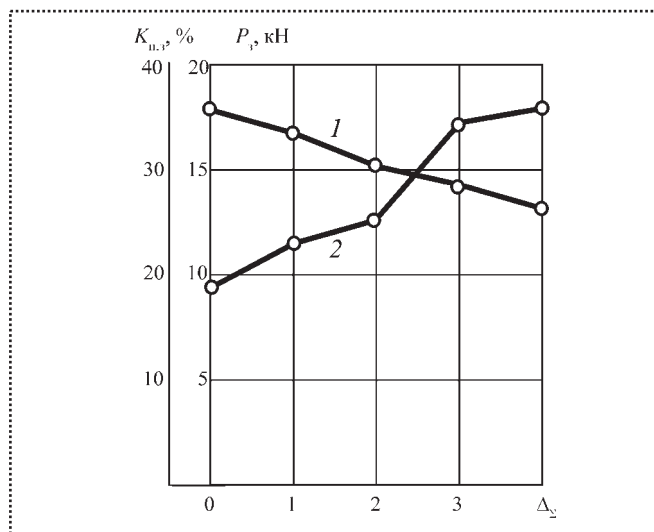


Рис. 5. Зависимость силы затяжки P_3 и ее нестабильности от (коэффициента неравномерности затяжки $K_{н.з}$) смещения Δ_{Σ} : 1 – P_3 ; 2 – $K_{н.з}$.

последний отклоняется на определенную величину E , которую можно определить как

$$E = \sqrt{(\xi_{ш.н} l_n / l_1)^2 + (\xi_{н.п} l_n / l_2)^2} + \xi_{п.г},$$

где $\xi_{ш.н}$, $\xi_{н.п}$, $\xi_{п.г}$ – соответственно зазоры в соединениях: шпиндель – насадка, насадка – патрон, патрон – гайка;

l_n, l_n – длины насадки и патрона;

l_1, l_2 – длины посадочных поверхностей насадки и патрона.

Значения величины E отечественных и зарубежных гайковертов лежат в пределах $\pm 0,6$ мм для резьб М6...М8 и $\pm 2,2...2,4$ мм – для резьб М18...М24.

Следовательно, чтобы патрон надежно захватывал гайки или головку болта, имеющаяся погрешность положения Δ_{Σ} собираемых деталей на сборочной позиции не должна быть больше величины E : $\Delta_{\Sigma} < E$.

Смещение Δ_{Σ} в процессе сборки создает сопротивление затяжки. На первом этапе (см. рис. 2, а) при ввинчивании болта в резьбу погрешность Δ_{Σ} компенсируется смещением патрона гайковерта E и смещением самого болта в пределах зазора в резьбе. Однако по мере завинчивания уменьшается вылет болта, увеличивается его жесткость, при этом угол перекоса оси болта стремится к нулю. Это приводит к росту силы P (см. рис. 2, б), действующей со стороны патрона на головку болта, ко-

Допустимые смещения Δ_{Σ} , мм, для РС

Размер РС	Класс прочности		
	8.8	6.6	5.8; 4.8
М6...М10	0,4...0,5	0,6...0,8	1,1...1,3
М12...М16	0,7...1	1,2...1,3	1,7...1,8
М18...М24	1,2...1,6	1,8...2,2	2,2...2,4

торая создает изгибающий момент $M_{изг} = Pb$. При этом часть момента затяжки M_3 расходуется на изгибающий момент, что существенно снижает значение силы затяжки и увеличивает его разброс, т.е. ее нестабильность.

Проведенные исследования болтовых РС показали (рис. 5), что увеличение смещения Δ_{Σ} от 0 до 4 мм не только уменьшает силу затяжки P_3 на 25 %, но и резко снижает ее стабильность. Как видно из линии 2, P_3 возрастает от 18 до 36 %, т.е. в 2 раза увеличивается коэффициент неравномерности затяжки $R_{н.з}$.

Поэтому для выполнения качественного РС необходимо, чтобы смещение Δ_{Σ} оси шпинделя РИ и резьбовой детали не превышало 40 % от максимальной величины допустимого смещения E используемого гайковерта. Рекомендуемые значения максимально допустимых смещений Δ_{Σ} на сборочной позиции приведены в таблице.

Вывод

При сборке ответственных резьбовых соединений для создания стабильной силы затяжки требуемого значения помимо использования гайковертов с активной системой контроля M_3 и угла поворота φ_3 головки болта или гайки при затяжке, необходимо повышать требования к точности изготовления резьбовых деталей и их расположению в собираемом узле, уменьшать и стабилизировать коэффициент трения в резьбе, применяя густую смазку с антифрикционными присадками.

Библиографический список

1. **Технология** машиностроения: учебник для вузов в 2-х т. Т. I. Под ред. А.И. Кондакова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.
2. **Технология** автоматической сборки / А.Г. Холодкова и др.; под ред. А.Г. Холодковой. М.: Машиностроение, 2010.

УДК 621.717

М.Н. Сорокин, д-р техн. наук, **Ю.Н. Ануров** (Московский государственный вечерний металлургический институт)
E-mail: ayn2001@mail.ru

Селективная сборка отдельной партии деталей

Рассмотрена зависимость вероятности полной собираемости изделий при селективной сборке отдельной партии деталей от допуска на параметр сопряжения изделия. Показано, что чем больше число деталей в партии и чем "ближе" друг к другу функции распределения сопрягаемых параметров, тем меньше допуск на параметр сопряжения при заданной вероятности полной собираемости изделий.

Dependence of probability of a full collecting of products is considered at selective assembly of a job lot of details from the admission on the parameter of interface of a product. It is shown that than quantity of details in party and the "closer" to each other more than function of distribution of interfaced parameters, the it is less value of the admission on interface parameter at the set probability of a full collecting of products.

Ключевые слова: селективная сборка, задача комплектования, вероятность получения сборочных комплектов, отдельная партия деталей.

Keywords: selective assembling, matching problem, probability of receiving assembly sets, job lot of details.

Селективная сборка изделий нашла широкое применение в массовом, крупносерийном и мелкосерийном производствах. Разработка математической теории селективной сборки позволила создать инженерные методы расчета технологии селективной сборки и исключить из технологического процесса селективной сборки накопление несобранных деталей [1–7].

Однако иногда возникает необходимость применения селективной сборки отдельной партии деталей. Тогда возникает вопрос, каким должен быть допуск на параметр сопряжения изделия для отдельной партии деталей, чтобы с заданной вероятностью обеспечить полную собираемость изделий.

Проведем исследование процесса селективной сборки изделий типа "вал–втулка" для отдельной партии деталей.

Будем рассматривать сопрягаемые параметры в относительной системе полей допусков.

Введем необходимые определения и обозначения: x_i – сопрягаемый параметр детали (втулки и вала), $i = 1, 2$. В дальнейшем индекс i принимает только эти два значения;

δx_i – поле допуска сопрягаемого параметра x_i детали, $\delta x_i = [-1, +1]$;

ξ_i – случайная величина, принимающая значения x_i сопрягаемого параметра x_i на поле допуска δx_i ;

$f_i(x_i)$ – функция распределения плотности вероятностей случайной величины ξ_i ;

R – параметр сопряжения изделия, $R = x_1 - x_2$;

ΔR – допуск на параметр сопряжения изделия;

η – случайная величина, принимающая значения параметра сопряжения R изделия;

$\Phi(R)$ – функция распределения плотности вероятностей случайной величины η ;

$p_{\text{соб}}$ – собираемость изделий;

ΔR_k – минимальный допуск ΔR на параметр сопряжения R изделия, при котором обеспечивается полная собираемость изделий, т.е. $p_{\text{соб}} = 1$.

Технологический процесс селективной сборки изделий можно разделить на два этапа.

На *первом этапе* изготавливают детали и определяют значения сопрягаемых параметров x_i , т.е. формируют поля допусков δx_i и функции распределения $f_i(x_i)$ сопрягаемых параметров x_i деталей. Затем определяют значение допуска ΔR_k .

На *втором этапе* определяют значение допуска ΔR на параметр сопряжения R изделия, исходя из требований технологического процесса селективной сборки изделий и случайной природы сопрягаемых параметров x_i деталей.

Рассмотрим первый этап.

Примем каноническую схему комплектования деталей (рис. 1). Проведем математическое моделирование задачи комплектования. Рассмотрим, какое минимальное значение допуска ΔR_k может быть получено для случайных величин ξ_i , значениями которых являются значения сопрягаемых параметров x_i после изготовления деталей.

В качестве случайной величины ξ_1 примем нормальную случайную величину, $\xi_1 \sim N(0, \sigma_1^2)$, $6\sigma_1 = 2$.

В качестве случайной величины ξ_2 примем нормированную на отрезке $[-1, +1]$ нормальную случайную

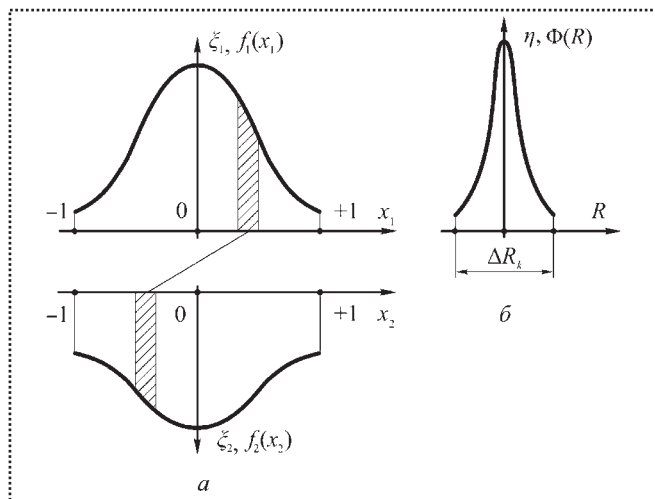


Рис. 1. Сопрягаемые параметры (а) и параметр сопряжения изделия типа "вал–втулка" (б)

величину, $\xi_2 \sim N(0, \sigma_2^2)$, $m\sigma_2 = 2$, $m = \overline{1, 6}$. При $m = 1$ нормированное на отрезке $[-1, +1]$ нормальное распределение является практически равномерным.

При моделировании задачи комплектования длину селективного интервала δ примем равной $\delta = 1 / 201$. Для выбранных случайных величин ξ_1 и ξ_2 решаем задачу комплектования методом полного целенаправленного суммирования и определяем значение допуска ΔR_k [7].

Допуск ΔR_k на параметр сопряжения R изделия в зависимости от величины σ_2 принимает значения (рис. 2):

σ_2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	2,0
ΔR_k	0,0199	0,2388	0,4179	0,5771	0,6965	0,7562

Анализ результатов моделирования показывает, что чем "ближе" функции распределения $f_i(x_i)$ случайных величин ξ_i друг к другу, тем меньше значение допуска ΔR_k на параметр сопряжения R изделия. Для данных функций распределения $f_i(x_i)$ значение допуска ΔR_k определяет минимальное значение допуска ΔR на параметр сопряжения R изделия, при котором обеспечивается полная собираемость изделий при селективной сборке.

Рассмотрим второй этап.

Проведем моделирование задачи комплектования. Исходные данные для моделирования те же, что были использованы на первом этапе.

Пусть на сборку поступает партия деталей объема N (рис. 3). На рис. 3, а представлены выборочные значения случайных ве-

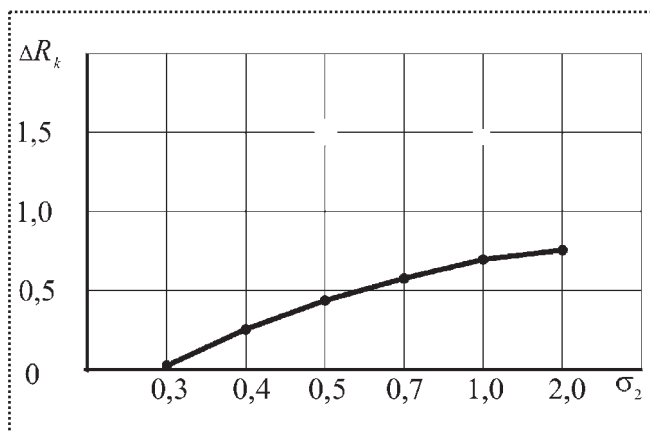


Рис. 2. График изменения допуска ΔR_k на параметр сопряжения R изделия в зависимости от величины σ_2

личин ξ_1 и ξ_2 . При этом N_{j_i} – число выборочных деталей в j_i -й селективной группе, $i = \overline{1, 2}$.

На рис. 3, б представлены выборочные значения случайной величины η . При этом N_{j_3} – число сборочных комплектов в j_3 -й группе.

Будем считать, что на сборку поступают детали, значения сопрягаемых параметров x_i которых являются выборочными значениями случайной величины ξ_i , т.е. значения

$$x_{i1}^1, x_{i2}^1, \dots, x_{iN}^1.$$

Необходимо решить задачу: для данной партии деталей объема N определить отрезок $[-R, +R]$, т.е. зна-

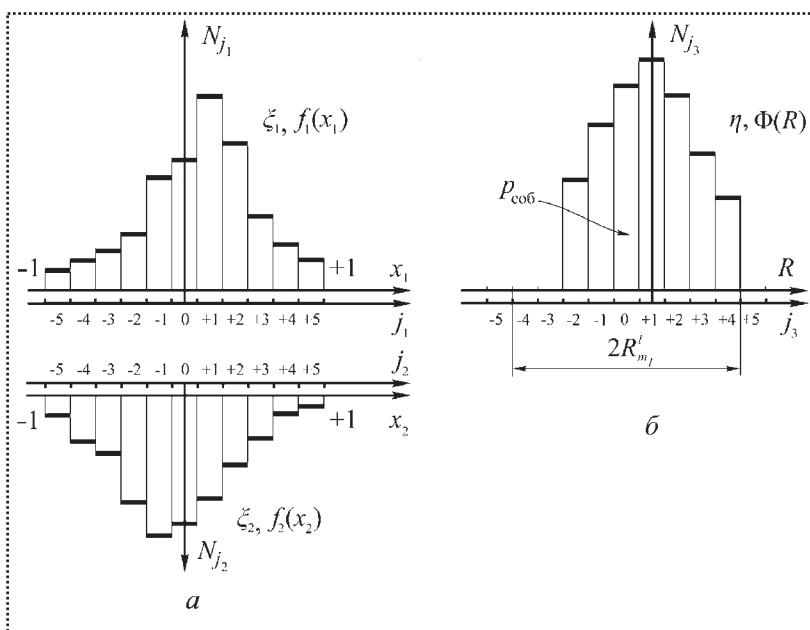


Рис. 3. Выборочные значения случайных величин ξ_1, ξ_2 (а) и η (б)



чение допуска ΔR на параметр сопряжения R изделия, для которого с заданной вероятностью будет обеспечиваться полная собираемость изделий.

Для данных выборочных значений сопрягаемых параметров решаем задачу комплектования методом полного целенаправленного суммирования [7]. Получим выборочные значения случайной величины η :

$$R_1^l, R_2^l, \dots, R_{m_1}^l, \dots, R_{k_1}^l, m_1 = \overline{1, k_1}.$$

Пусть задано значение вероятности $p_{\text{соб}}$, с которой должна обеспечиваться полная собираемость изделий.

Для полученной выборки выберем минимальное по абсолютной величине значение $R_{m_1}^l$. Это значение должно быть таким, чтобы отрезок $[-R_{m_1}^l, +R_{m_1}^l]$, т.е. допуск на параметр сопряжения R для данной выборки обеспечивал бы с вероятностью $p_{\text{соб}}$ полную собираемость изделий.

Проведем моделирование последовательности из K выборок:

$$x'_{i1}, x'_{i2}, \dots, x'_{iN}, l = \overline{1, K}.$$

Для каждой выборки из данной последовательности выборок получим выборочные значения случайной величины η :

$$R_1^l, R_2^l, \dots, R_{m_l}^l, \dots, R_{k_l}^l, m_l = \overline{1, k_l}, l = \overline{1, K}.$$

Для каждой из полученных выборок выберем минимальное по абсолютной величине значение $R_{m_l}^l$. Это значение должно быть таким, чтобы отрезок $[-R_{m_l}^l, +R_{m_l}^l]$, т.е. допуск на параметр сопряжения изделия, обеспечивал с вероятностью $p_{\text{соб}}$ полную собираемость изделий.

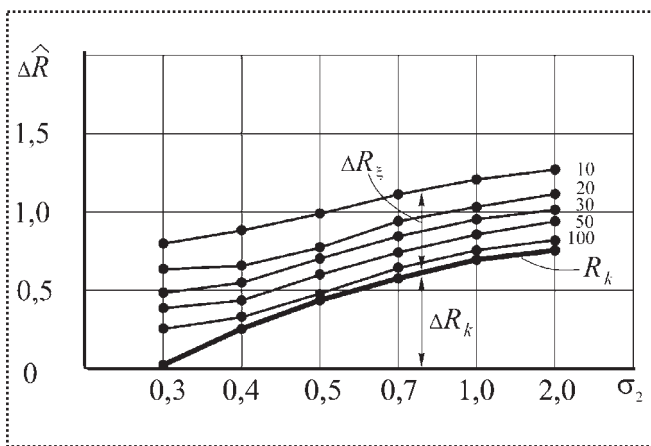


Рис. 4. Графики изменения допуска $\Delta \hat{R}$ на параметр сопряжения R изделия в зависимости от величины σ_2 и объема партии деталей N при заданном значении $p_{\text{соб}} = 0,95$

раемость изделий. Из совокупности $\{R_{m_l}^l\}$ выберем максимальное значение $R_{m_l}^l$, которое обозначим \hat{R} . Мы получим отрезок $[-\hat{R}, +\hat{R}]$, точечную оценку допуска $[-R, +R]$. Отрезок $[-\hat{R}, +\hat{R}]$ определяет допуск на параметр сопряжения R изделия, для которого с вероятностью $p_{\text{соб}}$ будет обеспечиваться полная собираемость изделий для партий деталей объема N . Оценку допуска $\Delta \hat{R}$ на параметр сопряжения R изделия определим как $\Delta \hat{R} = 2 \hat{R}$.

Значения и графики изменения значений допуска $\Delta \hat{R}$ на параметр сопряжения R изделия в зависимости от значения величины σ_2 и объема партии деталей N при фиксированных значениях $\sigma_1 = 0,3$ и $p_{\text{соб}} = 0,95$ представлены в табл. 1 и на рис. 4. При этом $\Delta R = \Delta R_k + \Delta R_\xi$.

Значения и график изменения допуска $\Delta \hat{R}$ на параметр сопряжения R изделия в зависимости от значения величины σ_2 и объема партии деталей N при заданном значении $p_{\text{соб}} = 1$ представлены в табл. 2 и на рис. 5.

Анализ результатов показывает, что существует связь между вероятностью полной собираемости изделий и допуском на параметр сопряжения изделия: чем выше вероятность полной собираемости изделий, тем больше должен быть допуск на параметр сопряжения изделия при выбранных исходных данных.

В соответствии с заданной вероятностью полной собираемости изделий определяется допуск $\Delta \hat{R}$ на параметр сопряжения R изделия в зависимости от числа

Таблица 1

Значения допуска $\Delta \hat{R}$ на параметр сопряжения R изделия в зависимости от величины σ_2 и объема партии деталей N при заданном значении $p_{\text{соб}} = 0,95$

σ_1 / σ_2	R_k	N				
		100	50	30	20	10
0,3/0,3	0,0199	0,2587	0,3781	0,4776	0,6368	0,7960
0,3/0,4	0,2388	0,3184	0,4378	0,5572	0,6567	0,8756
0,3/0,5	0,4179	0,4776	0,5970	0,6965	0,7761	0,9950
0,3/0,7	0,5771	0,6368	0,7363	0,8358	0,9353	1,1144
0,3/1,0	0,6965	0,7562	0,8557	0,9552	1,0348	1,2139
0,3/2,0	0,7562	0,8159	0,9353	1,0149	1,1144	1,2736

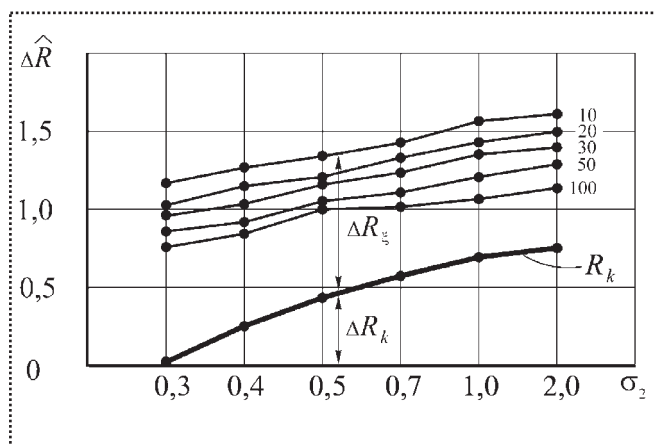


Рис. 5. График изменения допуска $\hat{\Delta R}$ на параметр сопряжения R изделия в зависимости от величины σ_2 и объема партии деталей N при заданном значении $p_{\text{соб}} = 1$

Таблица 2

Значения изменения допуска $\hat{\Delta R}$ на параметр сопряжения R изделия в зависимости от величины σ_2 и объема партии деталей N при заданном значении $p_{\text{соб}} = 1$

ξ_1 / ξ_2	R_k	N				
		100	50	30	20	10
0,3/0,3	0,0199	0,7562	0,8557	0,9650	1,0251	1,1741
0,3/0,4	0,2388	0,8358	0,9154	1,0348	1,1542	1,2736
0,3/0,5	0,4179	0,9953	1,0547	1,1741	1,2139	1,3432
0,3/0,7	0,5771	1,0149	1,1144	1,2338	1,3333	1,4328
0,3/1,0	0,6965	1,0746	1,2139	1,3532	1,4328	1,5721
0,3/2,0	0,7562	1,1343	1,2935	1,3791	1,4925	1,6119

деталей N в партии и функции распределения $f_i(x_i)$, т.е. от значения допуска ΔR_k для этих функций.

Чем больше отличаются друг от друга функции распределения $f_i(x_i)$ случайных величин ξ_i , чем меньше число деталей N в партии, тем больше должен быть допуск $\hat{\Delta R}$ на параметр сопряжения R изделия, чтобы с требуемой вероятностью обеспечить полную собираемость изделий. Допуск $\hat{\Delta R}$ на параметр сопряжения R , который обеспечивает требуемую вероятность полной собираемости изделий, можно представить в виде суммы

$$\hat{\Delta R} = \Delta R_k + \Delta R_\xi,$$

где ΔR_ξ — составляющая, учитывающая случайную природу сопрягаемых параметров x_i деталей. Введенная точечная оценка $\hat{\Delta R}$ является максимальной оценкой допуска на параметр сопряжения R изделия, которая обеспечивает заданную вероятность полной собираемости изделий.

Выводы

1. Вероятность полной собираемости изделий при селективной сборке отдельной партии деталей зависит от допуска на параметр сопряжения изделия: чем больше допуск на параметр сопряжения изделия, тем выше вероятность полной собираемости изделий.

2. Для заданного значения вероятности полной собираемости изделий значение допуска на параметр сопряжения изделия будет тем меньше, чем больше число деталей в партии и чем "ближе" друг к другу функции распределения сопрягаемых параметров.

3. Практически можно обеспечить полную собираемость изделий при селективной сборке отдельной партии деталей произвольного объема за счет увеличения допуска на параметр сопряжения изделия.

Библиографический список

1. Сорокин М.Н. Многомерная многопараметрическая задача комплектования. В сб.: Вопросы кибернетики. Методы и алгоритмы анализа больших систем. М.: Научный совет по комплексной проблеме "Кибернетика" АН СССР, 1988. С. 127–137.
2. Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Формализация метода межгрупповой взаимозаменяемости при реализации селективной сборки изделий // Сборка в машиностроении, приборостроении. № 8. 2011. С. 75–82.
3. Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Анализ собираемости изделий типа "вал–втулка" при селективной сборке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 1. С. 23–26.
4. Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Определение вероятности получения бракованных сопряжений при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" по действительным значениям сопрягаемых параметров // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 5. С. 31–35.
5. Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Алгоритм решения задачи комплектования при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" по методу межгрупповой взаимозаменяемости // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 9. С. 15–18.
6. Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Определение вероятности получения бракованных сопряжений при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" при выборе селективных интервалов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2013. № 1. С. 29–33.
7. Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Выбор полей допусков сопрягаемых параметров при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2013. № 3. С. 28–34.

Металлообработка–2013

С 27 по 31 мая 2013 г. на всей территории ЗАО "Экспоцентр" проходила 14-я Международная специализированная выставка "Оборудование, приборы и инструменты для металлообрабатывающей промышленности", организованная ЗАО "Экспоцентр" совместно с Российской ассоциацией производителей станкоинструментальной продукции "Станкоинструмент".

Выставка 2013 г. уникальна по своим масштабам. Экспозиционная площадь выставки составила 38 тыс. м². В ней приняли участие представители из 40 стран, в том числе и из России. Объем журнальной статьи не позволяет привести описание оборудования и приборов всех стран, демонстрировавшихся на выставке, поэтому в статье будет приведено краткое описание экспонатов и предложений российских предприятий и зарубежной техники вызвавшей наибольший интерес у специалистов-машиностроителей.

"ОАО Энимс" (Москва) предложило на выставке свои новые разработки, в числе которых *установка УРК1* (рис. 1) для распрессовки колес и тормозных дисков всех типов колесных пар с подводом высокого давления в ступицу колеса. Установка позволяет производить демонтаж элементов колесных пар с приложением усилия раздельно или одновременно к торцу оси и к ободу колеса. Для распрессовки элементов колесной пары с возможностью подвода высокого давления в ступицу установка может комплектоваться устройством подачи высокого давления мод. УРКТ1.940. Максимальное усилие распрессовки до 4000 кН. Рабочий ход штока 2,35...4,70 мм/с, обратный ход 8,5 мм/с. Приводная мощность установки 11 кВт, питающее напряжение 380 В. Ее габаритные размеры 4980×1500×1635 мм, высота над уровнем пола 1375 мм, масса 9 т. Установка ориентирована на использование в условиях вагоноремонтных и сборочных предприятий.

Также представлены разработанные с участием швейцарских фирм *высокоскоростные электрошпиндели* для автомобильной промышленности, двигателестроения, станкостроения, деревообработки, транспортной, энергетической и других отраслей машиностроения. Их мощность 0,1...100,0 кВт, частота

вращения 7...140 тыс. мин⁻¹. Охлаждение водяное. Зажим инструмента ручной или автоматический.

Завод прецизионного станкостроения им. Ильича (Санкт-Петербург) показал на выставке новые модели металлообрабатывающих станков.

Автомат продольного точения с ЧПУ мод. ЛА155Ф30 предназначен для токарной обработки деталей типа тел вращения различного профиля из калиброванного прутка диаметром до 16 мм. Наибольший эффект при использовании автомата достигается при изготовлении деталей с соотношением длины обработки к диаметру более 10. В суппортной стойке автомата установлена люнетная втулка. Регулирование минимального зазора между прутком и поверхностью втулки обеспечивает высокую точность обработки длинных и нежестких деталей.

Обработка режущим инструментом производится у торца люнетной втулки. Предусмотрено оснащение автомата вращающимся люнетом, а также сверлильно-фрезерным устройством, что обеспечивает поперечное сверление отверстий, продольное фрезерование пазов и мысок. Автомат быстро переналаживается с одной детали на другую.

Шесть резцов (установленных на суппорте с крестовыми направляющими), три осевых инструмента (установленных в трехшпиндельном сверлильно-резьбонарезном устройстве), использование люнета, подвижной шпиндельной бабки, а также двухкоординатной системы ЧПУ и гидрофицированных перемещений позволяют выполнять большинство токарных операций в мелкосерийном и серийном производствах. Частота вращения главного шпинделя автомата находится в пределах 80...8000 мин⁻¹, регулирование частоты вращения шпинделя бесступенчатое. Предусмотрено ускоренное перемещение шпиндельной бабки (до 4 м/мин). Диаметр сверления 1,5...12,0 мм. Наибольший диаметр нарезаемой резьбы: плашкой и метчиком – М8, резцом суппорта – М16. Мощность электродвигателя главного привода 5,5 кВт. Автомат оснащен монитором и сенсорной клавиатурой. Габаритные размеры автомата с приставным оборудованием 5600×900×1720 мм, масса (также с приставным оборудованием) – 2,27 т.

Супершлифовальная головка мод. СФГ-300М предназначена для высокоэффективного супершлифования и полирования до зеркального блеска наружных цилиндрических и конических поверхностей изделий из стали, цветных металлов и легких сплавов после их предварительного шлифования. Головка обеспечивает:

- возвратно-поступательное перемещение брусков вдоль всей обрабатываемой детали;

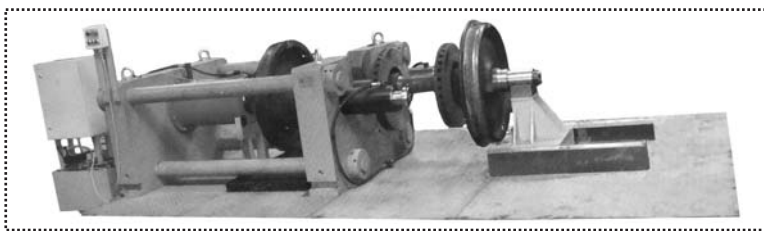


Рис. 1. Установка УРК1



- самозатачивание брусков в процессе обработки;
- однородную частоту на всей обрабатываемой длине;

• исправление геометрической формы изделия в поперечном сечении.

Обрабатываемое изделие устанавливается в центрах или патроне станка и вращается шпинделем. Абразивные бруски подводятся, прижимаются с усилием 1,5 Н к обрабатываемой поверхности и отводятся от изделия гидросистемой. Головка состоит из механизма осциллирования, несущего на себе одну или две инструментальные головки с державками брусков, станции гидропривода, станции охлаждения с магнитным аппаратом и электрошкафа. Параметр шероховатости обработанной поверхности изделия — $Ra = 0,08$ мкм, диаметр обрабатываемого изделия — 40...300 мм. Ход бруска при осциллировании 3 мм. Частота осциллирования бруска 1400 двойных ходов в минуту. Питающее напряжение 380, число электродвигателей 4 шт., их суммарная мощность 1,99 кВт.

ОАО "Станкозавод Седин" (г. Краснодар) демонстрировал на выставке *токарно-карусельный станок мод. 1М516Ф1 с устройством цифровой индикации* для черновой и чистовой обработки различных заготовок из черных и цветных металлов. С использованием станка осуществляют:

- обтачивание и растачивание цилиндрических и конических поверхностей;
- протачивание торцовых поверхностей, в том числе и с постоянной скоростью резания;
- прорезание канавок и отрезку;
- сверление, зенкерование и развертывание центральных отверстий;
- нарезание цилиндрических и конических резьб.

Станок имеет:

- один верхний суппорт с цифровой индикацией координат и пятипозиционную револьверную головку;
- приводы главного движения и подачи с частотно-регулируемыми электродвигателями переменного тока;
- устройство защиты направляющих поперечины;
- закаленные направляющие поперечины ползуна.

Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки 1600 мм, ее высота 100 мм, масса 8 т. Наибольшее допустимое усилие резания верхним суппортом 35 кН. Мощность привода главного движения 55 кВт. Наибольшая длина хода верхнего суппорта: по горизонтали 950 мм, по вертикали 700 мм.

Завод координатно-расточных станков "Стан-Самара" демонстрировал на выставке свои новые разработки.

Многоцелевой координатный станок мод. СКР400М особо высокой точности предназначен для изготовления мерительного инструмента и контрольной оснастки. Базовая модель станка с тремя управляемыми от

устройства числового программного управления (УЧПУ) координатами дополнительно укомплектована:

- инструментальным магазином с 16 ячейками при общей массе инструмента 8 кг (смена инструмента автоматическая);
- управляемым от УЧПУ кантуемым накладным поворотным рабочим столом;
- также управляемой от УЧПУ универсальной шлифовальной головкой;
- 3D-измерительной шуповой головкой с передачей сигнала через инфракрасный порт.

Разрешающая способность станка по координатам XYZ составляет 0,001 мм. Размеры рабочей поверхности стола 400×800 мм, его рабочий ход: поперечный 630 мм, продольный 500 мм. Вылет шпинделя (расстояние от стойки до оси вертикального шпинделя 450 мм). Рабочие подачи стола и шпиндельной бабки 1...12 000 мм/мин. Наибольшие диаметры обработки: сверление по стали — 30 мм, растачивание 130 мм. Наибольшая масса обрабатываемой детали 400 кг. Наибольшее осевое усилие на шпинделе 4 кН. Мощность привода главного движения 7,5 кВт. Масса станка 4,3 т.

Координатно-шлифовальный вертикальный одностоенный станок мод. "Аэрошлиф 400" особо высокой точности предназначен для финишной обработки плоских, цилиндрических, конических и сложных криволинейных поверхностей в изделиях из закаленной стали и твердых сплавов. Станок имеет 7 координат, управляемых от УЧПУ, 5 Т-образных пазов, на рабочей поверхности стола размером 400×800 мм. Наибольшая масса устанавливаемой заготовки 400 кг. Диапазон размеров шлифуемых отверстий 5...205 мм. Наибольшее перемещение рабочих органов станка по координатам: X (стол) — 630 мм, Y (салазки шлифовального круга) — 400 мм, C (планетарное вращение шпинделя) — 360°, A (накладной поворотный кантуемый стол) — 360°. Диапазоны частот вращения: планетарного шпинделя — 4...315 мин⁻¹, шлифовальных шпинделей — 6000...96 000 мин⁻¹. Габаритные размеры станка с приставным оборудованием 4100×3600×3000 мм, его масса 5,4 т.

Уральская машиностроительная корпорация "Пумори-СИЗ" (г. Екатеринбург) — крупнейший производитель металлорежущего и вспомогательного инструмента и оснастки — предложила оригинальные разработки.

Универсальные фрезерные патроны, сочетающие в себе высокую точность и жесткость с большим усилием зажима, что позволяет использовать их для выполнения как тяжелой черновой обработки, так и для чистовых операций металлообработки. Патроны могут использоваться в качестве гибкой инструментальной системы с возможностью установки в него различных аксессуаров и инструмента для выполнения широкого спектра работ: фрезерных, сверлильных и расточных. Удобство и быстрота смены инструмента

позволяют использовать патроны там, где требуется частая переналадка с одного вида работ на другой. Такие патроны имеют большее усилие зажима по сравнению с цанговым патроном и внутренний подвод смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

Модульная расточная система, позволяющая выполнять быструю переналадку на различные виды расточных работ, а также коррекцию размера с высокой точностью. Система состоит из набора базовых втулок, переходников, черновых и чистовых головок, которые могут быть собраны в нескольких вариантах и обеспечить широкий диапазон обрабатываемых размеров.

Центроискатель MT200 предназначен для выполнения наладки станка при обработке различных деталей. Данная модель центроискателя может использоваться на станках с ЧПУ и универсальных станках и позволяет точно позиционировать шпиндель относительно обрабатываемой детали или приспособления. Диаметр хвостовика центроискателя 12 мм, он может комплектоваться индикатором.

Прибор мод. BWT-compact (рис. 2) предназначен для настройки инструмента вне станка, он оснащен интегрированной оптикой для предварительной настройки инструмента. Двадцатикратное увеличение делает возможным измерение геометрии широкого спектра инструментов. Бесконтактная настройка прибора исключает повреждение режущих кромок измеряемого инструмента. Быстрая и точная предварительная настройка выполняется маховичками точной настройки по осям Z и X. Точность измерения 0,01 мм. Максимальная высота измеряемого инструмента 400 мм. Габаритные размеры прибора 500×300×780 мм, диаметр 300 мм, масса 40 кг.

Дмитровский завод фрезерных станков предложил потребителям свою продукцию.



Рис. 2. Прибор мод. BWT-compact

Широкоуниверсальный консольно-фрезерный станок мод. БДМ83Ш предназначен для выполнения всех видов фрезерных работ: сверления, зенкерования и растачивания отверстий на деталях из черных и цветных металлов, их сплавов и пластмассы в условиях единичного, мелкосерийного и серийного производств. Применение в приводе подач серводвигателя с частотным бесступенчатым регулированием позволило создать надежную конструкцию с раздачей в автоматическом режиме движения на управляемые оси. Конструктивные особенности станка и использование комплектующих изделий ведущих фирм позволили охватить широкий диапазон режимов обработки, повысить надежность и производительность станка и достичь наибольших показателей точности и качества обработки. Наличие наряду с горизонтальным вертикального поворотного шпинделя, имеющего возможность установки под различными углами в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, механизма зажима инструмента и ряда дополнительных приспособлений и принадлежностей позволяет существенно расширить технологические возможности станка. Размеры рабочей поверхности стола 400×1600 мм, его наибольшее перемещение: продольное – 1000 мм, поперечное – 400 мм, вертикальное – 400 мм. Наибольшее перемещение гильзы вертикального шпинделя 80 мм. Пределы частот вращения шпинделей: горизонтального – 16...1600 мин⁻¹, вертикального – 31,5...1400,0 мин⁻¹. Угол поворота оси вертикального шпинделя: к станине – 45°, от станины – 90°, в продольной плоскости – 90°. Мощность электродвигателей привода: подач – 2,1 кВт, вертикального шпинделя – 2,2 кВт, горизонтального – 7,5 кВт. Габаритные размеры станка 2590×2770×202 мм, масса 3,25 т.

Шпоночно-фрезерный станок мод. 692Д предназначен для обработки шпоночных пазов мерными и немерными фрезами шириной 4...25 мм и глубиной до 26 мм. Наличие на станке автоматических циклов обработки пазов, оснащение самоцентрирующимися тисками и механизмом зажима инструмента позволяет существенно расширить его технологические возможности. Размеры поверхности его рабочего стола 250×1000 мм. Наибольший диаметр устанавливаемой заготовки 75 мм. Ширина обрабатываемого паза 4...25 мм, глубина 26 мм. Продольное перемещение: фрезерной головки – 5...400 мм, гильзы шпинделя – 100 мм. Пределы частот вращения шпинделя 400...4000 мин⁻¹. Мощность электродвигателей: привода шпинделя – 2,2 кВт, гидропривода – 1,1 кВт. Габаритные размеры станка 1510×1900×2210 мм, масса 2,25 т.

ЗАО ТД "ИТО Туламаш" предложило потребителям широкий ассортимент промышленного инструмента. Приведем краткое описание лишь некоторых образцов.



Штангенциркуль электронный мод. ШЦЦ-III-500 предназначен для измерения наружных и внутренних размеров. Детали штангенциркуля имеют антикоррозионное покрытие. Шкалы штанги и конуса имеют матовое хромовое покрытие, исключающее блики. Штангенциркуль обладает следующими особенностями:

- контрастная 7,5 мм жидкокристаллическая индикация облегчает считывание показаний;
- функция установки на ноль в любом положении незаменима для относительных измерений;
- измерения производятся в миллиметрах и дюймах.

Штангенциркуль изготовлен из коррозионно-стойкой стали. Диапазон измерений 0...500 мм, погрешность $\pm 0,1$ мм.

Электронный штангенглубиномер мод. ШГЦ-500 (рис. 3) предназначен для измерения глубин, состоящий из рамки с закаленной измерительной поверхностью и штанги с измерительной поверхностью. Штангенглубиномер имеет контрастный 7,5 мм жидкокристаллический дисплей, облегчающий считывание показаний; функции установки на ноль в любом положении, что очень важно для относительных измерений. Имеется возможность производить измерения в миллиметрах и дюймах. Диапазон измерений штангенглубиномера 0...500 мм, погрешность измерений $\pm 0,05$ мм.

Штангенрейсмас мод. ШРК-300 предназначен для выполнения измерений и разметки различных деталей в машиностроении. Вдоль его штанги перемещается рамка, к которой прикреплена разметочная или измерительная ножка. Разметочная ножка изготовлена из твердого сплава. Для облегчения установки на требуемый размер рамка оснащена устройством тонкой настройки с микрометрическим винтом. Штангенрейсмас имеет круговую шкалу, контрастный циферблат, ударостойкий измерительный механизм. Установка нулевой точки осуществляется поворотным циферблатом. Диапазон измерений прибора 0...300 мм, погрешность $\pm 0,04$ мм.

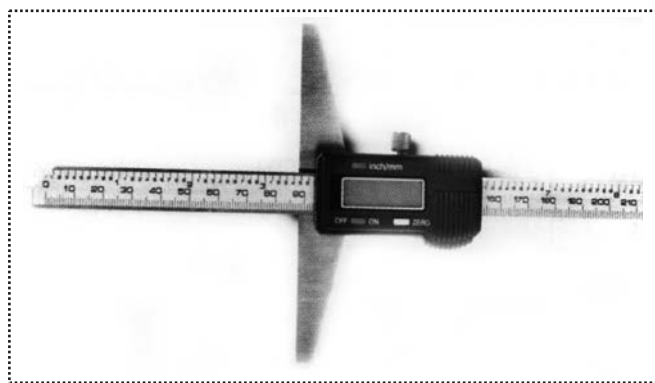


Рис. 3. Электронный штангенглубиномер мод. ШГЦ-500



Рис. 4. Рычажный микрометр мод. МР-25

Рычажный микрометр мод. МР-25 с вынесенным индикатором для измерения линейных наружных размеров изделий методом сравнения с концевой мерой длины позволяет осуществлять абсолютные и относительные измерения. Диапазон измерений микрометра 2500...3000 мм, погрешность $\pm 0,058$ мм.

Рычажный микрометр мод. МР-25 (рис. 4) имеет встроенный индикатор для измерения линейных наружных размеров прецизионных изделий методом как непосредственной оценки, так и методом сравнения с концевой мерой длины. Микрометр состоит из подвижного измерительного наконечника и встроенной индикаторной головки. Отклонения размера считывают по индикаторной головке после установки номинального размера на микрометрической головке. Измерительный наконечник выдвигается с помощью кнопки. Измерительные поверхности плоские, изготовленные из твердого сплава. Отсчет осуществляется по шкалам стебля и барабана и стрелочному индикатору, встроенному в скобу. Диапазон измерений микрометра 0...25 мм, цена делений круговой шкалы 0,001 мм, цена делений микрометрической головки 0,01 мм, погрешность $\pm 0,003$ мм.

Микрометр трубный мод. МТ-100 предназначен для измерения толщины стенок труб. Измерительные поверхности микрометра оснащены твердым сплавом, скоба крашенная. Диапазон измерений 75...100 мм. Цена деления по нониусу 0,01 мм, погрешность $\pm 0,005$ мм.

Зубомерный микрометр мод. МЗ-300 предназначен для измерения длины общей нормали зубчатых колес с модулем от 1 мм. Измерительные поверхности микрометра изготовлены из твердого сплава. Диапазон измерений прибора 275...300 мм. Цена деления по нониусу 0,01 мм, погрешность $\pm 0,09$ мм.

Микрокатор мод. 05ИГПМ (рис. 5) — измерительный прибор с преобразовательным механизмом в виде скрученной в средней части ленточной пружины, при растягивании поворачивающейся на определенный угол. Микрокатор применяется для линейных измерений относительным контактным методом. Измеряемая длина, которую показывает на шкале стрелка, укрепленная в средней части пружины, пропор-



Рис. 5. Микрокатор мод. 05ИГПМ

циональна углу поворота пружины. Диапазон измерений прибора $\pm 0,25$ мм, цена деления шкалы 0,0005 мм.

Угломеры с нониусом типа УН с нониусом предназначены для измерения наружных и внутренних плоских углов изделий. Отсчет показаний осуществляется по шкале нониуса. Предел измерения углов: наружных $0...320^\circ$, внутренних $40...150^\circ$. Цена деления основной шкалы 1° . Предел допустимой погрешности $\pm 2'$. Допуск плоскостности и прямолинейности 4 мкм. Для измерения углов в указанных диапазонах угломер укомплектован линейкой и угольником, комбинация которых позволяет измерять углы в различных случаях.

ОАО "НИИИзмерения" (Москва) показало на выставке устройства контроля, применяемые при металлообработке.

Аппаратно-программный комплекс мод. БВ-4320 предназначен для активного контроля при обработке отверстий. Схема измерения диаметра детали двухточечная. Основная погрешность измерения припуска и отклонений формы 0,2 мкм; скорость съема припуска 0,5 мкм/с. Число команд – не менее четырех. Вид индикации срабатывания – световая.

Ультрапрецизионный прибор мод. БВ-2047 предназначен для измерения отклонений от круглости, цилиндричности, плоскостности шероховатости поверхностей особо точных деталей. Предел измерения по координатам: X (радиальное направление) – 200 мм; Z (осевое направление) – 350 мм, C (вращение) – 360° . Шаг дискретности отсчета координатных перемещений по осям X и Z – 0,1 мкм, C – 10° . Диаметр рабочего стола 320 мм. Масса измеряемых деталей до 25 кг.

Прибор мод. БВ-7718 предназначен для контроля радиального зазора подшипников малых размеров. Диапазон измерений: радиальных зазоров – $0...500$ мкм, перемещений наконечников – до 1000 мкм. Предел допустимой основной погрешности прибора 3 мкм. Интервал измерительной нагрузки 0,4...5,0 кг.

ЗАО "Микрос" (Москва) демонстрировало на выставке свою продукцию.

Устройство числового программного управления УЧПУ "Микрос-14" предназначено для управления станками всех технологических групп: токарными, фрезерными (в том числе обрабатывающими центрами), кругло- и

плоскошлифовальными, электроэрозионными копирующе-прошивочными и ультрапрецизионными. Построено УЧПУ "Микрос-14" на базе шины РС/104, использование которой обеспечивает высокую надежность УЧПУ, низкую потребляемую мощность и малые габаритные размеры блока модулей.

Аппаратная часть УЧПУ состоит из: IBM-совместимого процессора с тактовой частотой 1,1 ГГц, жесткого диска емкостью не менее 160 Гб; пятнадцатидюймового цветного жидкокристаллического дисплея; герметизированной, мембранной сенсорной клавиатуры со светодиодной индикацией; 26 программируемых кнопок.

Кроме того, ЗАО "Макрос" показало на выставке принадлежности для подключения УЧПУ к станкам:

- модуль индикации на 32 входа для подвода входных дискретных сигналов от станка к модулю ввода УЧПУ со светодиодной индикацией состояния сигналов;
- модуль реле на 16 выходов для коммутаций дискретных сигналов управления от модуля ввода/вывода УЧПУ со светодиодной индикацией состояния сигналов, коммутируемым током до 8 А;
- выносной пульт для управления перемещением станка по осям в ручном режиме.

Савёловский машиностроительный завод (г. Кимры, Тверская обл.) предложил для предприятий машиностроения различные металлорежущее оборудование.

Токарный станок с ЧПУ мод. АТ-600НК предназначен для обработки в патроне или специальном приспособлении деталей типа фланцев, барабанов, колец, дисков, корпусных деталей и тому подобных из любых сталей и сплавов. На станке может осуществляться обточка по наружному фасонному и цилиндрическому профилям, расточка отверстий, подрезка торцов, нарезание резьбы. В конструкции станка применены:

- базовые детали повышенной жесткости;
- высокоточные комбинированные направляющие;
- высокоточные шариковые винтовые пары;
- централизованная смазка;
- устройство автоматической смены инструмента;
- частотный управляемый привод для регулирования скорости шпинделя;
- синхронные серводвигатели в качестве приводов подач.

Наибольший диаметр устанавливаемого изделия: над станиной – 1000 мм, над суппортом – 800 мм. Наибольшая длина устанавливаемого изделия 800 мм. Пределы рабочих продольных и поперечных подач – до 10 000 мм/мин. Мощность движения 37 кВт. Наибольшее усилие резания 25 кН. Усилие зажима инструмента 50 кН. Число инструментов, устанавливаемых на станке, – 17 шт. Точность обработки: по диаметру – 0,02 мм, по длине – 0,03 мм. Достижимый па-



раметр шероховатости обрабатываемых поверхностей $Ra = 1,25 \dots 1,60$ мкм. Габаритные размеры станка $4635 \times 2452 \times 3000$ мм, его масса 15,7 т.

Вертикально-фрезерный станок с ЧПУ мод. MA-655HK предназначен для обработки по заданной программе деталей сложной криволинейной формы типа дисков, плит, рычагов, корпусных деталей и т.п. На станке можно производить фрезерование плоскостей, пазов, наружных фасонных контуров и выемок с высокой точностью. В конструкции станка применены базовые литые детали повышенной жесткости, высокоточные шариковые винтовые пары в сочетании с высокодинамичными сервоприводами подачи, централизованная смазка, система подачи СОЖ, местное ограждение зоны обработки. Размеры обрабатываемой поверхности: длина – 1070 мм, ширина – 500 мм. Наибольшая масса устанавливаемой заготовки 500 кг. Мощность привода главного движения 20,1 кВт. Максимальный крутящий момент на шпинделе станка 822 Н·м. Габаритные размеры станка $3950 \times 3490 \times 2650$ мм, его масса 10 т.

Минский завод им. Октябрьской революции предложил на российский и международный рынок свою продукцию.

Продольный фрезерно-расточный станок мод. MS625MФ4 предназначен для комплексной обработки корпусных деталей методом фрезерования, сверления и растачивания, в том числе деталей с криволинейными поверхностями из черных и цветных металлов и некоторых видов пластмасс. Продольно-подвижный стол с гидростатическими направляющими замкнутого типа и неподвижный портал обеспечивают высокую жесткость станка, что позволяет вести черновую и чистовую обработку деталей, а также обеспечивает сохранение точности станка в период длительной эксплуатации. Станок оснащен одной вертикальной фрезерно-расточной ползунковой бабкой и накладной универсальной торцевой поворотной (через 90°) головкой, что позволяет обработать деталь с пяти сторон за одну установку. Мощность электродвигателя вращения шпинделя 45 кВт, пределы подач $3 \dots 10\,000$ мм/мин, ход ползуна 1000 мм. Габаритные размеры станка $22500 \times 8200 \times 5800$ мм, его масса 120 т.

Компания DMTG (КНР) предложила на выставке свою продукцию.

Горизонтальный обрабатывающий центр MDH-100S предназначен для производства корпусных деталей для аэрокосмической, автомобильной отраслей промышленности, судостроения и общего машиностроения. Использование высокопроизводительного двухскоростного электрошпинделя позволяет осуществлять высокоскоростное резание в тяжелых условиях и выполнять резание на низкой скорости с высоким крутящим моментом. Цельнолитая станина создает исключительную жесткость и минимальное влияние термиче-

ских деформаций. Система смены инструмента снабжена высокоскоростным манипулятором, который производит смену инструмента за $2,0 \dots 2,5$ с, а использование конструкции кассеты позволяет использовать инструменты массой до 25 кг. Размеры рабочего стола 1000×1000 мм, частота вращения шпинделя до 800 мин^{-1} , мощность главного привода 30 кВт.

Пятиосевой вертикальный обрабатывающий центр мод. VDW500 с наклонным столом, устройством автоматической смены инструмента и системой ЧПУ 500 V/S предназначен для обработки заготовок из различных материалов. На станке можно выполнять сверление, зенкерование, получистовую и чистовую расточку отверстий, нарезание резьбы, фрезерование. Такой обрабатывающий центр рекомендован к применению при обработке пресс-форм, штампов, турбин, дисков, лопастей, винтов и других деталей сложной формы. Диаметр его рабочего стола 500 мм, грузоподъемность 500 кг. Вместимость инструментального магазина 20 шт., время смены инструмента $2,5$ с. Мощность главного электродвигателя 7 кВт.

Токарный обрабатывающий центр мод. TNA300 оснащен прецизионным шпинделем, сервоприводом главного движения с высоким крутящим моментом. Конструкция станка предусматривает наличие отдельных направляющих для задней бабки, ускоренный возврат пиноли при помощи гидравлики. Подача прутка осуществляется прутковым подающим устройством. Диаметр обрабатываемого прутка 42 мм. Мощность привода станка 11 кВт.

Компания Sodic (Япония) показала на выставке и предложила потребителям линейные электроискровые проволочно-вырезные и другие станки.

Линейный вырезной электроискровой станок мод. V2500L компактной конструкции оснащен скоростным механизмом заправки проволоки в автоматическом режиме. В механизме использован термообрыв проволоки с вытяжкой концов, что повысило надежность станка. Высокопроизводительная система фильтрации, оснащенная дополнительным циркуляционным насосом, значительно повышает эффективность очистки охлаждающей жидкости и повышает производительность станка. Имеется возможность установки поворотного рабочего стола, что облегчает резание сложных деталей, требующих углового позиционирования заготовки синхронно с другими осями или независимо. Внутренние размеры технологической ванны станка 990×750 мм. Максимальные размеры заготовки: работа с погружением – $960 \times 670 \times 230$ мм, работа с прокачкой – $960 \times 670 \times 245$ мм. Максимальная масса заготовки: работа с погружением – 350 кг, работа с прокачкой – 500 кг. Ход конусного механизма 80 мм. Диаметр обрабатываемой проволоки $0,15 \dots 0,30$ мм, ее угол наклона $\pm 15^\circ$. Потребляемая мощность станка 11 кВт, габаритные размеры $2300 \times 2590 \times 2040$ мм, масса 3 т. Станок оснащен гидро-

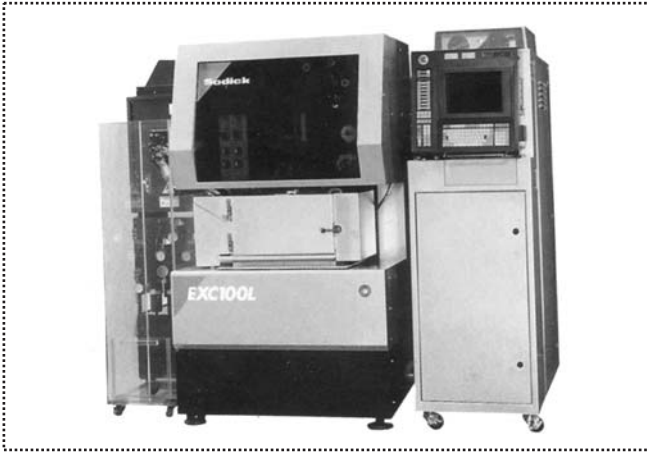


Рис. 6. Линейный электроискровой проволочно-вырезной станок мод. EXC100L

станцией вместимостью 840 л и деионизационной колонной на 18 л. Ее габаритные размеры 860×2400××1810 мм, масса 400 кг.

Ультрапрецизионный высокоскоростной вертикальный обрабатывающий центр мод. AZ150 предназначен для шлифования, точения, микрофрезерования и доводки форм и деталей малых размеров с нанометровой точностью. Наностанок оборудован уникальной системой компенсации реактивных сил. Любое перемещение рабочего стола по осям X и Y сопровождается компенсирующим перемещением балансиров в противоположном направлении. Привод шпинделя станка – пневмотурбина. Приводы компенсаторов по осям XYZ сдвоенные. Пределы хода по осям XYZ 150, 150 и 100 мм соответственно. Дискретность измерительных линейных шкал 0,000003 мм. Максимальная масса обрабатываемой заготовки 5 кг. Крепление инструмента – термозажимный патрон, число инструментов в магазине 15 шт. Измерение длины и диаметра инструмента осуществляется лазерной системой.

Линейный электроискровой проволочно-вырезной станок мод. EXC100L (рис. 6) предназначен для контурного электроискрового резания деталей микростампов или сверхмалых элементов в специальных деталях. Приводы станка – сдвоенные линейные бессердечниковые сервоприводы. Рабочий стол станка перемещается по закрытым аэроэстатическим направ-

ляющим с практически нулевым сопротивлением. Дискретность измерительных линейных циклов 0,000001 мм. Максимальная масса обрабатываемой заготовки 10 кг. Достижимый параметр шероховатости $Ra = 0,35$ мкм.

Компания Bsai BAZZANI (Италия) предложила потребителям пробивные станки.

Ручной гидравлический пробивной станок мод. P80M предназначен для бездеформационной пробивки сквозных или глухих отверстий в трубах или профилях с различными сечениями. Подача пробиваемой заготовки происходит за счет вращения маховика управления, ее зажим осуществляется механическими клещами. Имеется шаблонная пластина (ограничитель хода) со стопорным устройством. Шаг между отверстиями регулируется шаблонной пластиной. Штамп для пробивки четырех отверстий за один удар на двух трубах производит по два отверстия на каждой трубе.

Автоматический пробивной станок мод. P80-2T предназначен для пробивки в автоматическом режиме двух труб, профилей и полосового металла. Во избежание деформации отверстий используется внутренняя матрица. Станок оснащен четырьмя перфорационными гидроцилиндрами, что позволяет пробивать отверстия в трубе со всех сторон одновременно. Пробивные штампы имеют направляющие колонны для центровки оснастки, а также пуансоны и матрицы из закаленной стали. Станок укомплектован автоматической двухосевой декартовой системой загрузки/разгрузки заготовок и дисплеем с цветным сенсорным экраном и оперативной системой Windows. В ПК загружена программа для управления станком.

Выставка "Металлообработка" прошла с большим успехом и способствовала внедрению во все отрасли промышленности высокоэффективного металлообрабатывающего оборудования, станков и инструментов, что является решающим фактором технологической модернизации отечественной промышленности, усиления ее инновационной составляющей.

Важными событиями деловой программы были: конференция "Инновационные разработки российских станкостроителей в области обработки металлов"; II Международный форум инновационных металлообрабатывающих технологий и др.

Чл.-кор. Академии проблем качества А.Н. Иванов

ООО "Издательство **Машиностроение**", 107076, Москва, Стромьинский пер., 4
Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**". Адрес электронной почты издательства: mashpubl@mashin.ru;
редакции журнала: sborka@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 12.08.13 г. Подписано в печать 26.09.13 г. Формат 60×88 1/8.

Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Свободная цена.

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Издательство Машиностроение".

Отпечатано в ООО "Белый ветер", 115407, г. Москва, Нагатинская наб., д. 54, пом. 4.