

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

11 2012
(148)

СОДЕРЖАНИЕ

Технологичность конструкции

Дмитриев А.М., Коробова Н.В., Аксененко А.Ю., Толмачев Н.С. Технологичность конструкций создаваемых малогабаритных специализированных прессов 3

Сборочное оборудование и его элементы

Гордеев А.Ф., Захаров П.А., Четвержук Т.И. Идентификация и моделирование деформационных свойств стыков металлорежущих станков 10

Современные технологии сборки

Медведев А.М., Мылов Г.В. Ультразвуковая очистка электронных сборок 17

Технологическая оснастка для сборки

Гоцеридзе Р.М., Румянцев С.В. Устройство для статической балансировки изделий 20

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Кесоян А.Г., Коцюба С.А. Влияние точности сортировки деталей на эффективность прецизионной сборки 26

В помощь конструктору, технологу

Хайруллин И.Х., Исмагилов Ф.Р., Вавилов В.Е. Математическая модель бесконтактного аэродинамического транспортного средства 28

Шевелев В.В. К вопросу поиска оптимальных условий при проектировании групповых болтовых соединений при действии внешней силы в плоскости стыка 32

Набатников Ю.Ф. Моделирование сборки соединений деталей машин на ЭВМ 35

Шестаков В.С., Савинова Н.В., Орочко А.В. Расчет напряжений в элементах оснований конусных инерционных дробилок 40

Зарубежный опыт

Гайдук М., Пахникова Л., Сукоп М., Варга Й. Стратегии производства в настоящее время 45

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

Редакционный совет

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

Региональные редсоветы

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

Ответственные за подготовку и выпуск номера:

Ю.А. ЧИЧОВ, И.М. ГЛИКМАН

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.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

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

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

11 2012
(148)

CONTENTS

Manufacturability of a construction

Dmitriev A.M., Korobova N.V., Aksenenko A.Yu., Tolmachev N.S. Manufacturability of designs of the produced small specialized presses 3

Production tools and machinery for assembly

Gordeev A.F., Zakharov P.A., Chetverzhuk T.I. Authentication and design of deformation properties of joints of metal-cutting machine-tools 10

Modern technologies in assembly

Medvedev A.M., Mylov G.V. Ultrasonic cleaning of electronic assemblies 17

Technological equipment for assembly

Gotseridse R.M., Rumiantsev S.V. Device for steady-state balancing product 20

Quality assurance. Testing. Monitoring

Kesoyan A.G., Kotsyuba S.A. Influence of accuracy of sorting of details on effectivity of precision assembly 26

Industrial and design engineer's aid

Khairullin I.H., Ismagilov F.R., Vavilov V.E. Mathematical model of vehicle aerodynamic noncontact 28

Shevelyov V.V. On the question of search for optimal conditions in the design of group bolted joints under external force action on the interface surface 32

Nabatnikov J.F. Computer generated simulation of machine parts assembly procedure 35

Shestakov V.S., Savinova N.V., Orochko A.V. Stress analysis in the elements of reason cone inertia crushers 40

Foreing experience

Gayduk M., Pakhnikova L., Sukop M., Varga Y., Dubovitska L. Production strategy now 45

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

IZNEVSK

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. BEZIAZYSHNY
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

KNABAROVSK

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

Executive editors of current issue:

Yu.A. CHICHOV, I.M. GLIKMAN

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.

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

УДК 621.7

А.М. Дмитриев, д-р техн. наук, член-кор. РАН, **Н.В. Коробова**, д-р техн. наук,
А.Ю. Аксененко, **Н.С. Толмачев**, инженеры (Московский государственный
технологический университет "СТАНКИН")
E-mail: N.Tolmachev@stankin.ru

Технологичность конструкций создаваемых малогабаритных специализированных прессов

Показан накопленный в работах авторов потенциал по созданию малогабаритных специализированных прессов для крупносерийного производства однотипных поковок. Обсуждены с позиций технологичности сборки разработанные конструкции отечественных специализированных гидрпрессов.

The potential of creation of the small specialized presses for mass production of similar forgings shown in the article. Discussed in terms of technological assemblies, developed the designs of Russian specialized hydraulic presses.

Ключевые слова: универсальный пресс, специализированный пресс, наладка оснастки, штамповый блок, формование высокоплотных порошковых заготовок.

Keywords: universal press, specialized press, setting up tooling, die block, creation of high-density blanks from powder.

Наука о сборочных процессах, являющаяся составной частью технологии машиностроения, развивалась вместе с индустриализацией нашей страны.

В годы реализации первых пятилетних планов развития народного хозяйства сформировалось справедливое в те годы представление, что нашу машиностроительную промышленность необходимо насытить универсальным технологическим оборудованием — таким, которое позволяло бы выпускать широкую номенклатуру изделий. В частности, для обработки металлов давлением создавались универсальные прессы и молоты. Для производства на них различных конкретных видов поковок технологи создавали соответствующие штампы.

Указанный подход привел к тому, что в 1950-е гг. в нашей стране был осуществлен выпуск двух крупнейших в мире универсальных гидравлических прессов силой 75 тыс. т (750 МН). Главным конструктором проекта был выпускник кафедры МВТУ им. Н.Э. Баумана, осуществляющей подготовку специалистов по машинам и технологии обработки металлов давле-

нием, проф. Б.В. Розанов. Позже, уже в 1970-х гг., под его руководством был разработан проект гидравлического прессы силой 65 тыс. т для французской авиационной промышленности. При этом Советский Союз выиграл конкурс на создание этого прессы у США, ФРГ, Японии, Италии. Пресс был построен на Новокраматорском машиностроительном заводе.

Отметим, что прессы такой силы в последующие годы не были созданы ни в одной из других стран мира.

Надо ли было создавать такие крупнейшие в мире прессы? Да, надо. Почему же такие огромные прессы не строили капиталистические страны? По мнению авторов, только пятилетнее планирование развития народного хозяйства в Советском Союзе (объединявшем в своем составе 15 республик) позволяло сосредоточить средства для реализации таких проектов. В капиталистических странах отдельным прессостроительным фирмам это было не по силам.

После спада машиностроительного производства в России создание такого тяжелого универсального кузнечно-прессового оборудования нашей стране стало не по силам. Однако у нас остался большой, нереализованный ранее в силу инерционности периода так называемого "застоя" инновационный потенциал. В настоящее время целесообразно воспользоваться накопленным ранее в нашей стране потенциалом в области создания нового кузнечно-прессового оборудования.

В частности, необходимо создать малогабаритные прессы, не требующие установки громоздких штампов.

Целесообразность создания небольших прессов подтвердил опыт Оренбургского завода гидрпрессов, выпустившего в конце 1980-х гг. партию прессов силой 50 кН. Эти прессы вызвали активный спрос потребителей, и обладатели этих прессов успешно эксплуатируют их и в настоящее время.

Особо выделим технологические процессы штамповки, в которых требуется создание операций комбинированного нагружения заготовки.

К реализации указанных операций имеют место два подхода. Первый — использование существующих

универсальных прессов и применение штампов специальных конструкций, создающих комбинированное нагружение заготовки. Второй – создание специализированных прессов, у которых в конструкцию заложены приводы механизмов, перемещающие с требуемыми силами и ходами рабочие инструменты для заданного нагружения заготовки.

Примером первого подхода является разработанный группой конструкторов под руководством Е.П. Добрякова [1] штамповый блок к универсальному прессу, предназначенный для формования порошковых заготовок.

Штамповый блок устроен следующим образом (рис. 1).

Верхний пуансон 24 закреплен на плите 15, а матрица 25 установлена в посадочном отверстии подвижной плиты 14, связанной через колонки блока (на схеме не показаны) с нижним приводом пресса. Нижняя плита 2 через призмы 1 закреплена на столе пресса болтами 23. С этой плитой связана неподвижная про-

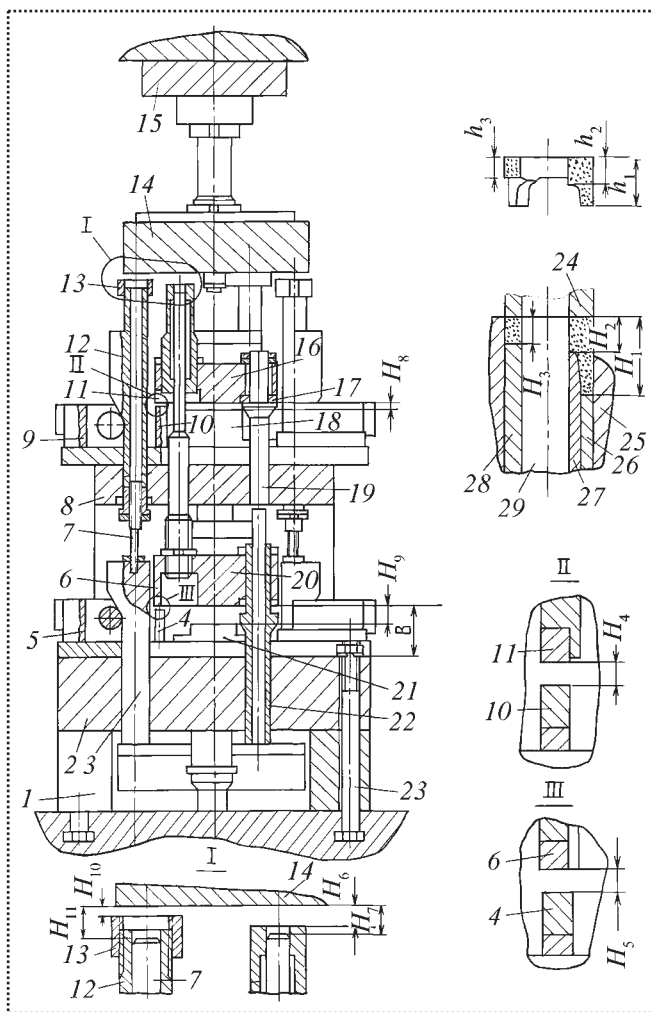


Рис. 1. Штамповый блок для формования порошковых деталей

межуточная плита 8, на которой установлен неподвижный пуансон 26. Выше и ниже плиты 8 расположены подвижные промежуточные плиты 16 и 20, на которых установлены пуансоны 28 и 27. На подвижных промежуточных плитах также закреплены упоры 6 и 11, взаимодействующие в процессе формования с подвижными упорами 4 и 10, смонтированными на ползушках 5, 9, которые перемещаются под действием клиновой системы 3, 7, 12, 13. Все плиты центрируются посредством направляющих втулок на колонках штампового блока.

Движение промежуточных плит осуществляется посредством упоров. Так, плита 16 перемещается вниз при взаимодействии указанного упора с плитой 14. Плита 20 перемещается вверх в результате взаимодействия упора 22 с подвижной плитой пресса, а плита 16 – с помощью упора 19, свободно перемещающегося в упоре 22 через демпфер 17.

Для изготовления равноплотной сложной заготовки, имеющей ступенчатую полость, необходимо провести наладку штампового блока.

В формованном виде деталь имеет высоты h_1 , h_2 и h_3 . Посредством регулирующих элементов пресса и штампа устанавливают объем насыпной камеры, при этом размеры H_1 , H_2 , H_3 выбирают из следующих соотношений:

$$\begin{aligned} H_1 &= h_1 k; \\ H_2 &= h_2 k; \\ H_3 &= h_3 k, \end{aligned}$$

где k – коэффициент засыпки, зависящий от насыпной массы используемого порошка.

Затем устанавливают расстояния H_4 и H_5 между опорными поверхностями упоров 11 и 6 и, соответственно, подвижных упоров 10 и 4. При этом $H_4 = H_3 - h_3$ и $H_5 = H_2 - h_2$.

Далее устанавливают размеры H_{10} и H_{11} , которые должны удовлетворять следующим условиям:

$$\begin{aligned} H_{10} &= H_1 - h_3; \\ H_{11} &= H_1 - h_2. \end{aligned}$$

Расстояния H_6 и H_7 определяют как

$$\begin{aligned} H_6 &= H_1 - H_4; \\ H_7 &= H_1 - H_5. \end{aligned}$$

Упоры 10, 4, 18 и 21 являются сменными, их изготавливают в зависимости от формы и размеров формируемой заготовки. Для рассматриваемого случая высоты H_8 и H_9 должны быть равны, соответственно, h_3 и h_2 .

Упоры 19 и 22 служат для возврата в крайнее верхнее положение пуансонов 27 и 28, образующих вместе



с матрицей 25 рабочую камеру, в которую засыпают металлический порошок.

Во избежание поломки подвижных упоров и клиновой системы наладку штампа следует проводить с засыпкой порошка в камеру, создавая силу на ползуне прессы не более 1 МН.

Штамповый блок работает следующим образом. Из питателя прессы порошок засыпается в рабочую камеру, питатель возвращается в исходное положение, а ползун вместе с плитой 15 и пуансоном 24 движется вниз и достигает зеркала матрицы 25, после чего начинается процесс формования порошковой заготовки. При последующем опускании пуансона в матрицу заполненный порошок рабочий объем засыпной камеры уменьшается и, следовательно, увеличиваются силы трения между частицами порошка и стенками матрицы, вследствие чего матрица плывет вниз. В том же направлении перемещаются подвижные промежуточные плиты 16 и 20, которые своими упорами 6 и 11 входят в контакт с подвижными упорами 10 и 4. В этот момент развивается заданная сила (максимум 4 МН), и процесс формования заканчивается.

Далее, в соответствии с циклограммой работы прессы, настроенного для получения определенной заготовки, ползун с верхним пуансоном возвращается в исходное положение или остается на месте, после чего начинается стягивание матрицы с заготовки, т.е. матричная плита с матрицей продолжает двигаться вниз. В этот момент нижняя поверхность подвижной плиты 14 касается опорной поверхности клиновой системы 12 и дальнейшее перемещение последней выводит подвижные упоры 10 и 4 из-под упоров 11 и 6. Далее подвижные плиты 16 и 20 с закрепленными на них инструментами 28 и 27 перемещаются вниз и ложатся на неподвижные упоры, соответственно, 18 и 21. По окончании стягивания матрицы верхние торцы пуансонов 26, 27 и 28, оправка 29 и зеркало матрицы 25 образуют единую плоскость, на которой располагается готовая заготовка. Удаляется она торцом питателя при его очередном движении для засыпки рабочей камеры.

Подчеркнем, что штамповые блоки, аналогичные приведенному на рис. 1, устанавливают в пространство между рабочим столом и ползуном универсального прессы, приводимого от гидроцилиндра, который создает суммарную технологическую силу. Стол и ползун прессы на рис. 1 не обозначены отдельными позициями, но они показаны. К столу болтами 23 через призмы 1 прикреплены нижняя плита 2 штампового блока, а к ползуну прикреплены верхняя плита 15 штампового блока.

Поскольку пресс универсальный, его используют для производства номенклатуры изделий различных

наименований. После изготовления партии изделий одного наименования штамповый блок на прессы заменяют на другой блок, предназначенный для производства партии изделий другого наименования.

Специалист в области сборки оценит, что сборка и наладка каждого сменного штампового блока, пример конструкции которого приведен на рис. 1, а последовательность срабатываний элементов описана ранее, являются весьма трудоемкими процедурами.

Продемонстрированный подход к созданию сложного нагружения заготовки используют японские фирмы Kotaki, Yoshizuka, немецкая фирма Mannesmann-Pulvermetall и др. В частности, фирма Yoshizuka установила на одном из сибирских заводов механо-гидравлические прессы, имеющие штамповые блоки, сложность которых значительно превосходит сложность блока, показанного на рис. 1.

Примером второго подхода являются специализированные прессы шведской фирмы ASEA [2], в которых имеются девять независимых друг от друга гидроцилиндров привода различных воздействующих на заготовку инструментов. Это главный верхний гидроцилиндр, верхние боковые гидроцилиндры, нижние боковые гидроцилиндры, цилиндры управления высотой камеры засыпки порошковой смеси, цилиндры подвижных упоров плиты стягивания матрицы, внутренний верхний цилиндр, цилиндр подвижных упоров пуансона, цилиндр стержня, подвижный верхний цилиндр.

Специалисты фирмы Boldwing Lima Hamilton считают [2], что максимальное число независимых движений прессы позволяет значительно расширить его технологические возможности и упростить конструкцию штамповых инструментов. Пресс этой фирмы силой 3000 кН имеет два независимых верхних пуансона, выталкиватель, подвижную матрицу, сердечник. Все эти инструменты приводят в действие независимые между собой гидроцилиндры прессы. Последовательность срабатывания гидроцилиндров устанавливает система программного управления прессом.

Прессы, которые создают согласно второму рассмотренному подходу, — специализированные, предназначенные для массового или крупносерийного производства одного изделия или нескольких однотипных изделий в течение всего срока своей службы. В этом случае появляется возможность отказаться в их конструкции от ряда элементов, присутствующих у универсальных прессов, в частности, рабочего стола и ползуна, а в конструкцию специализированных прессов добавить элементы, позволяющие реализовать на них наиболее рациональное с позиций сокращения энергозатрат, повышения качества изделий и

производительности труда нагужение штампуемой заготовки.

В данной статье речь идет о процессах деформирования заготовок за минимальное количество переходов и повышение предельно допустимого формоизменения за переход благодаря специальным способам деформирования заготовки.

Эти способы могут быть успешно реализованы только с применением специализированного оборудования. При создании такого оборудования можно значительно упростить его сборку по сравнению со сборкой универсальных прессов.

Это особенно важно в условиях, когда значительно сократилось число заводов, выпускающих кузнечное оборудование. Специализированные прессы должны обладать конструкцией, изготовление и сборку которой смогут осуществить для собственных нужд отечественные машиностроительные предприятия в их современном состоянии. Речь идет о предприятиях, специализирующихся не на производстве прессов, а на выпуске иной машиностроительной продукции.

В частности, на предприятиях, производящих корпусные цилиндрические детали, инновационная технология, связанная с использованием активных сил контактного трения, позволяет расширить область применения перспективного процесса холодной объемной штамповки.

Холодное выдавливание позволяет изготавливать поковки, размеры и качество поверхности которых удовлетворяют требованиям, предъявляемым к машиностроительным деталям, или близки к ним. Благодаря этому последующая обработка резанием и отходы металла сведены к минимуму. Однако для выполнения холодного выдавливания необходимо создавать действующие на заготовку напряжения, величина которых в ряде случаев составляет четыре и бо-

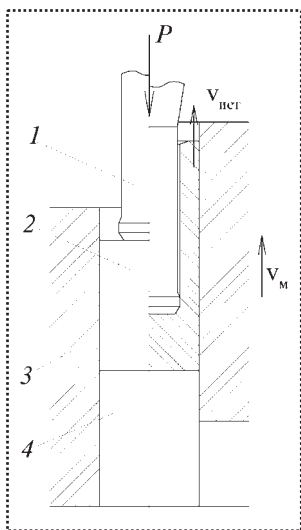


Рис. 2. Схема выдавливания с активными силами трения:
1 – пуансон; 2 – заготовка;
3 – матрица; 4 – выталкиватель

лее значений напряжения текучести материала деформируемой заготовки. Это обстоятельство является одной из причин, затрудняющих применение операции холодного выдавливания для среднеуглеродистых сталей, так как стойкость инструмента (в первую очередь пуансонов) является недостаточной, чтобы технологический процесс был конкурентоспособным по сравнению с другими.

Практикой установлено, что удельная сила, воспринимаемая пуансонами из сталей Р9М4, Р6М3, Р6М5, ЭП761, твердость которых 61...63 HRC, не должна превышать 2500 МПа.

Схема выдавливания с активными силами трения приведена на рис. 2. Если скорость перемещения матрицы v_M больше скорости истечения металла $v_{ист}$, то направление сил трения на контакте с матрицей способствует течению металла и позволяет снизить удельную силу выдавливания на 15...25 %. Снижение удельной силы на такую величину позволяет вдвое и более повысить стойкость выдавливающих пуансонов.

Конструкция специализированного прессы для выдавливания с активными силами контактного трения приведена на рис. 3. Если матрицу, установленную в траверсе 2, с помощью гидроцилиндров 3 перемещать в направлении течения материала со скоростью, превышающей скорость течения, то силы трения на гра-

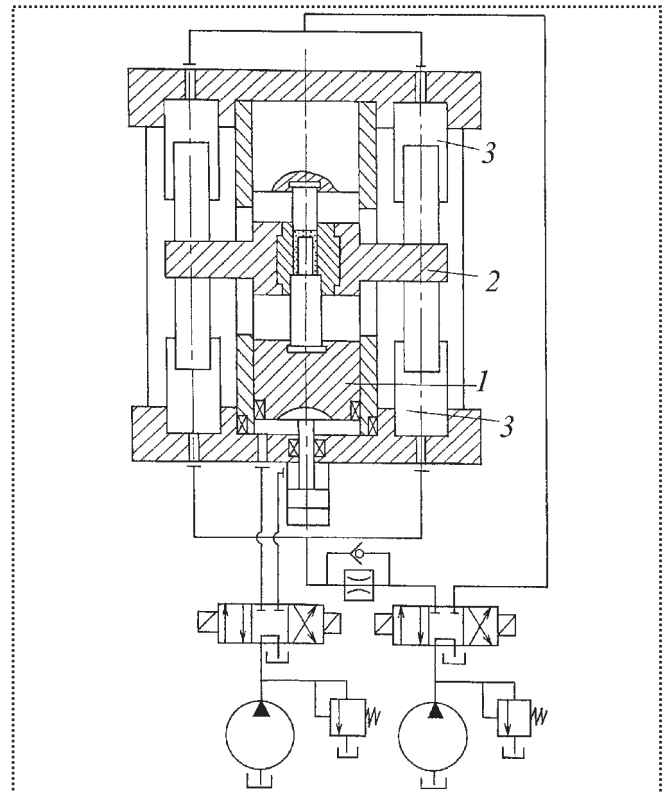


Рис. 3. Конструкция прессы для выдавливания с активными силами трения

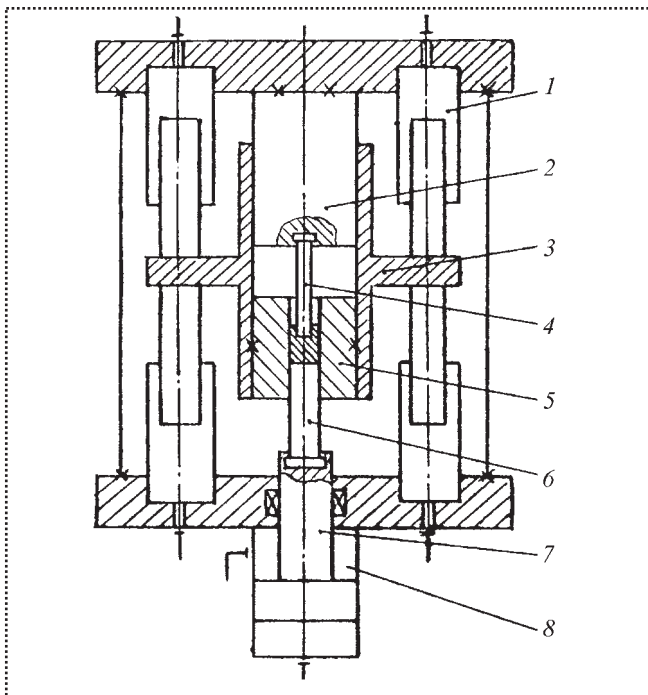


Рис. 4. Схема пресса с повышенной жесткостью траверсы для перемещения матрицы

нице заготовки с матрицей будут способствовать течению и разгрузят пуансоны. Функцию ползуна пресса выполняет плунжер 1 главного гидроцилиндра, непосредственно на котором без штамповой плиты размещен выдавливающий пуансон.

При эксплуатации данного пресса выявлено [3], что траверса 2 имеет недостаточные жесткость и высоту посадочной поверхности в гильзе. В результате в процессе выдавливания возможен перекос траверсы при несинхронной работе гидроцилиндров 3, что приводит к несоосности внутренней и наружной поверхностей выдавливаемого изделия. Для устранения этого недостатка целесообразно конструировать прессы для выдавливания с принудительным перемещением матрицы в соответствии со схемой, приведенной на рис. 4.

В этой конструкции главный гидроцилиндр 8 выполнен вне гильзы 3 и размещен под столом пресса. На его плунжере 7 установлен пуансон 6. Второй пуансон 4 установлен на опоре 2. Матрица 5 скреплена с гильзой 3, которая перемещается боковыми гидроцилиндрами 1 по опоре 2.

Описанная конструкция специализированного пресса для выдавливания с активными силами трения имеет тот недостаток, что для его изготовления требуется применение координатно-расточных станков. Более технологична в изготовлении конструкция пресса (рис. 5), в которой все гидроцилиндры размещены на одной общей оси. При ее изготовлении тре-

буются в основном токарные, круглошлифовальные и простые фрезерные работы.

В прессе главный гидроцилиндр 1 расположен под столом 2. Плунжер главного гидроцилиндра является ползуном пресса и штамповой плитой. На нем установлен пуансон 4. Второй пуансон 6 закреплен на опоре 8, которая служит штоком гидроцилиндра 7. К гильзе гидроцилиндра 7 крепят траверсу 5 пресса, служащего для перемещения матрицы 3 в процессе деформирования.

Рабочие части пресса приводятся в движение от двух насосов. При подаче рабочей жидкости в поршневую полость А главного гидроцилиндра поршень совершает рабочий ход, а при подаче рабочей жидкости в штоковую полость Б – обратный. Прямой и обратный ходы траверсы осуществляются при подаче

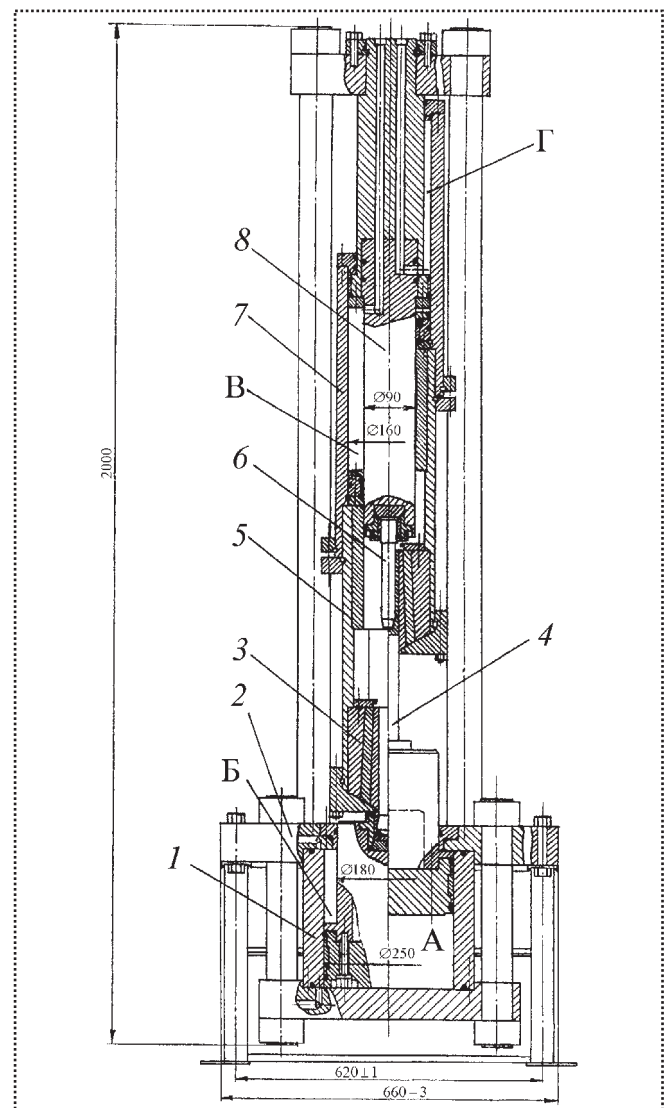


Рис. 5. Конструкция пресса для выдавливания с активными силами трения

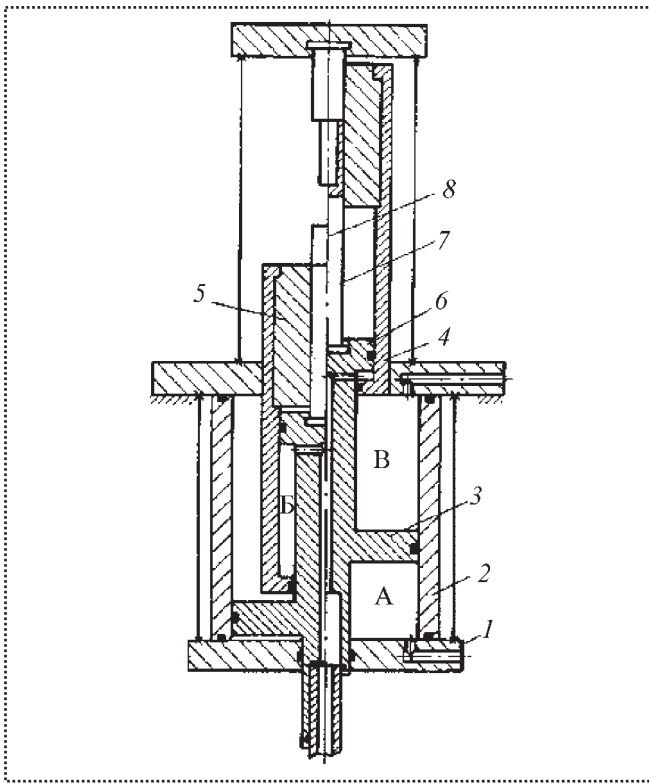


Рис. 6. Конструкция особо малогабаритного пресса для выдавливания с активными силами трения

рабочей жидкости, соответственно, в полости Г и В гидроцилиндра привода траверсы пресса, служащей для перемещения матрицы.

В конструкции пресса предусмотрено надежное направление гильзы 5 по опоре 8, что позволяет свести к минимуму несоосность верхнего пуансона и матрицы.

Пресс описанной конструкции технологичен в плане его сборки и монтажа, прост в наладке.

По этому же принципу, но с еще большим сокращением металлоемкости и упрощением наладки сконструирован другой пресс (рис. 6). Масса этого пресса, имеющего силу 1 МН, всего 350 кг. Пресс содержит станину 1 с установленным на ней главным гидроцилиндром 2, имеющим шток 3, являющийся одновременно штоком вспомогательного гидроцилиндра с гильзой 4. Последняя жестко соединена с контейнером 5 и поршнем 6 с установленным на нем пуансоном 7.

Пресс работает следующим образом. Заготовку 8 помещают в штамповое пространство, после чего подачи жидкости в рабочие полости А и В гидроцилиндра 2 при соединении со сливом полости Б гильзы 4 осуществляют ход сближения, при котором заготовка проталкивается в матрицу. Продолжая подачу жидкости в указанные полости, осуществляют рабочий ход

выдавливания с активным действием сил трения на поверхности контакта заготовки с матрицей. Для извлечения изделия из штампа подачей жидкости в полость В гильзы 4 при соединении со сливом у гидроцилиндра 2 полости А непосредственно и полости В — через подпорный клапан, возвращают инструмент в исходное положение.

Конструкция наиболее компактного, простого в наладке и многофункционального из прессов для рассмотренных технологий схематично изображена на рис. 7.

Этот пресс, кроме холодного выдавливания с активными силами трения, предназначен для формирования высокоплотных стаканов из железного порошка. В прессе главный гидроцилиндр 2 является одновременно станиной. Главный гидроцилиндр содержит два поршня: 4 и 7. Шток 1 поршня 4 является гильзой вспомогательного гидроцилиндра с поршнем 3 и штоком 6, на котором установлен пуансон 11, второй пуансон 5 установлен на штоке 1.

Поршень 7 неподвижно соединен с матрицедержателем 8, в котором находится матрица 9. Третий пуансон 10 (контрпуансон) установлен на станине 2.

Пресс работает следующим образом. В матрицу 9 засыпают металлический порошок, смешанный с пластификатором. Подачей жидкости в рабочие полости гидроцилиндров инструменты отводят в положение, при котором торец пуансона 5 находится выше торца пуансона 11 и является оправкой, формирующей полость в заготовке. Матрица находится в нижнем положении (правая половина рис. 7).

При рабочем ходе вначале подается жидкость в полость Б, при этом полость Г соединяется со сливом, а входы в полости А и В закрыты. Матрица 9 поднимается, и пуансон 10 закрывает ее горловину. Затем подают рабочую жидкость в полость В, при этом полость Б соединяют со сливом. Входы в полости А и Г закрыты. Пуансон 11 поднимается и уплотняет стенку формируемого стакана. После окончания уплотнения стенки подают рабочую жидкость в полость Г, при этом полость Б соединяют со сливом, а входы в полости А и В закрыты. При этом матрица перемещается вниз и активными силами контактного трения дополнительно уплотняет стенку формируемого стакана. Затем подают рабочую жидкость в полость А при соединенной со сливом полости Б и закрытых входах в полости В и Д. При этом пуансоны 6 и 7 калибруют дно стакана.

После окончания формирования последовательной подачей жидкости в одну из полостей каждого гидроцилиндра при соединении другой со сливом и одновременном перекрытии входов в оставшиеся две полости производят раскрытие штампа и извлечение изделия.

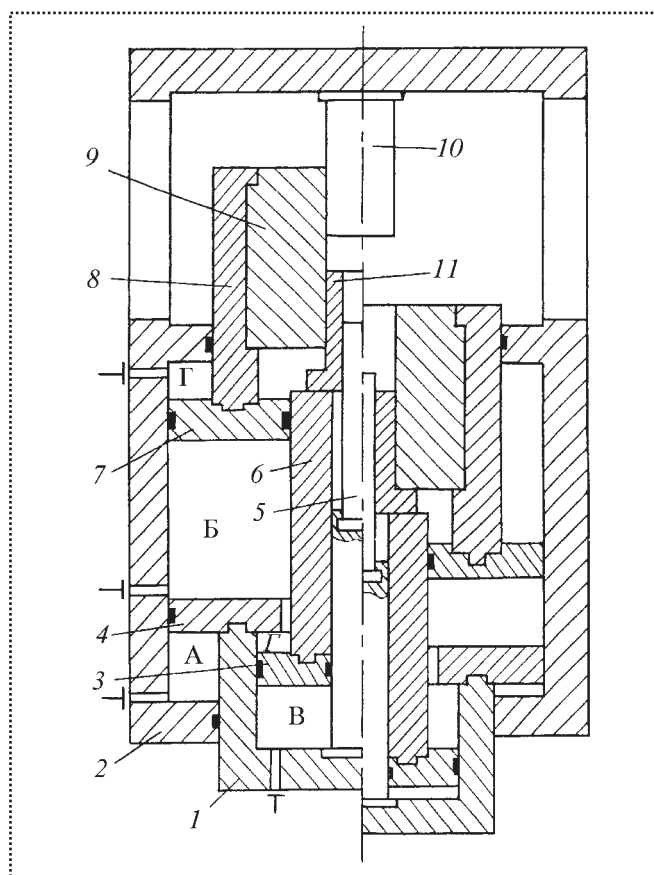


Рис. 7. Компактный multifunctionальный гидропресс

Преимуществом этого пресса является его работа от одного насоса. В конструкциях, показанных на рис. 3–6, малые габариты прессов недостаточно ощущаются из-за массивных гидроприводов.

Таким образом, современные технологические процессы производства высококачественных деталей из металлических порошков обеспечены разработанным отечественным прессовым оборудованием. При этом простота сборки производимых специализированных прессов позволяет изготавливать их для собственных нужд машиностроительным предприятиям, не специализированным на выпуске гидравлических прессов, а заинтересованным в наличии описанных прессов для производства продукции, соответствующей профилю этих предприятий.

Библиографический список

1. **Прогрессивные** технологические процессы штамповки деталей из порошков и оборудование / Г.М. Волкогон, А.М. Дмитриев, Е.П. Добряков и др. Под общ. ред. А.М. Дмитриева, А.Г. Овчинникова. М.: Машиностроение, 1991. 320 с.
2. **Ковка** и штамповка: справочник. В 4 т. Т. 3. Холодная объемная штамповка. Штамповка металлических порошков / Под ред. А.М. Дмитриева. 2-е изд., перераб. и доп. / Под общ. ред. Е.И. Семенова. М.: Машиностроение, 2010. 352 с.
3. **Машиностроение**. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. Т. IV-4. Машины и оборудование кузнечно-штамповочного и литейного производства / Ю.А. Бочаров, И.В. Матвеевко и др. Под общ. ред. Ю.А. Бочарова, И.В. Матвеевко. М.: Машиностроение, 2005. 926 с.

УДК 621.9.06: 62-19

А.Ф. Гордеев, П.А. Захаров, канд-ты техн. наук, Т.И. Четвержук, аспирант
(Луцкий национальный технический университет)
E-mail: zakharov_p@rambler.ru

Идентификация и моделирование деформационных свойств стыков металлорежущих станков

Рассмотрена методика моделирования и автоматизации процессов идентификации деформационных характеристик стыков металлорежущего станка по его характеристикам в технологическом рабочем пространстве. Проведено компьютерное моделирование стыка "направляющие каретки – горизонтальные направляющие станины" токарно-револьверного автомата модели 1Б118. Реализованный принцип позволяет уменьшить общие расходы и время на обеспечение технологической надежности станка в процессе его эксплуатации. Предлагаемая методика определения баланса смещений элементов упругой системы обеспечивает удобную и надежную идентификацию деформационных свойств стыков узлов станка. Для идентификации деформационных характеристик и процессов, которые происходят во времени, достаточно провести испытание станка производственным методом (например, точением ступенчатого вала) с последующей компьютерной обработкой полученных данных.

In the article a design method and automation of processes of authentication of deformation descriptions of joints is considered metal-cutting machine-tool on his descriptions in technological working space. The computer design of joint is conducted "sending carriages are horizontal sending beds" of lathe-revolver automat 1B118. The realized principle allows to decrease general charges and time on providing of technological reliability of machine-tool in the process of his exploitation. The offered method of determination of balance of displacements of elements of the resilient system provides comfortable and reliable authentication of deformation properties of joints of knots of machine-tool. For authentication of deformation descriptions and processes which take a place in time, it is enough to conduct the test of machine-tool a production method (for example, sharpening of step to the roller) with subsequent computer treatment of received results.

Ключевые слова: стык, моделирование, идентификация, деформация.

Keywords: contact, design, authentication, deformation.

Сущность проблемы. Жесткость металлорежущих станков (МРС) оказывает большое влияние на правильное использование режущего инструмента, внедрение прогрессивных методов резания металлов, повышения точности и производительности обработки. Жесткость также неразрывно связана с вибростойко-

стью технологической системы станок–деталь–инструмент, которая, в свою очередь, влияет на срок службы деталей и узлов станка.

Жесткость любой машины определяется жесткостью ее деталей и контактной жесткостью в стыках. Первая жесткость может быть вычислена с достаточной степенью точности по соответствующим формулам сопротивления материалов или теории упругости для разных деталей, которые рассматриваются как балки, пластинки, плиты, оболочки. В процессе эксплуатации деформации этих деталей всегда упругие, иначе при остаточных деформациях машины фактически вышли бы из строя.

Вторая жесткость – контактная – зависит от целого ряда факторов. Эта жесткость оказывается очень важной при решении ряда задач современной техники. Деформации поверхностных слоев в местах контакта определяют фактическую площадь касания, необходимую для расчета сил трения, оценки влияния предыдущей обработки поверхностей на износ, для подбора износостойких пар трения, расчетов прочности посадок, расчетов теплового и электрического сопротивления контактов и т.д. С учетом этих обстоятельств актуальность вопросов жесткости в станкостроении значительно возрастает.

За последние годы было проведено много работ по изучению деформационных свойств стыков станков (работы Института машиноведения под руководством проф. И.У. Крагельского, проф. П.Е. Дьяченко и др.) и жесткости МРС (работы ЭНИМС под руководством проф. Д.Н. Решетова, исследование проф. А.П. Соколовского и др.).

Деформации стыков играют значительную роль в общем балансе жесткости металлорежущих станков и их узлов, что впервые было отмечено еще К.В. Вотинным [1]. Подробные экспериментальные данные по влиянию режимов и методов обработки на деформационные свойства стыков получены Э.В. Рыжовым [4]. Анализ процессов, которые происходят при стыковых деформациях, позволил дать ряд аналитических формул по их расчету [8]. Ряд формул аналогичного назначения были получены Н.Б. Демкиным [3], Э.В. Рыжовым [4], Л.П. Медвежьим, И.Т. Гусевым [5]. Однако следует отметить скорее оценочный ха-



рактически невозможно учесть все факторы, влияющие на деформационные свойства стыков.

В силу различной компоновки и конструкции станков, качества их изготовления и сборки, условий работы им присуща анизотропия характеристик в технологическом рабочем пространстве (ТРП). При этом характеристики, связанные с производительностью и точностью, изменяются по мере физического износа станка или разрегулирования его элементов.

Проведенный в работе [6] анализ привел к разработке методологии, позволяющей быстрее и точнее оценивать характеристики в ТРП, и заключающейся в разумном сочетании экспериментального и расчетного подходов к оценке характеристик и диагностированию состояния упругой системы станка.

Немаловажную роль имеет своевременное диагностирование состояния упругой системы и отдельных элементов станка, в том числе стыков, при эксплуатации станка. Технологическая система "станок—приспособления—инструмент—заготовка" содержит множество деталей и стыков, в том числе параллельно соединенных. В этом случае для устранения возможных дефектов разрабатывают эффективную методику технического диагностирования "слабого" звена.

Анализ разных подходов к изучению деформаций упругой системы (УС) станка в ТРП позволяет отметить следующее:

1) поэтапное рассмотрение (декомпозиция) УС станка [7] с последующим объединением элементов в систему (синтез) является одним из производительных подходов системного анализа, но такой прием вносит погрешности на обоих этапах;

2) система технологических ограничений производительности в сущности является системой технологических ограничений и никак не регламентирует точность определения деформаций УС;

3) эмпирические модели можно применять для наиболее типичных условий эксплуатации, к тому же они имеют ограниченную ценность лишь для конкретного технологического объекта;

4) все рассмотренные подходы не отвечают на один главный вопрос — какой взнос дает каждый элемент технологической системы в баланс жесткости УС?

Поэтому в данном исследовании предложена методика определения баланса смещений отдельных элементов УС в ТРП станка по информации о характеристиках стыков. Автоматизация определения технологической надежности соединений узлов МРС, их достижимых и перспективных технико-экономических характеристик являются актуальной задачей.

Целями исследований являются разработка методики моделирования и автоматизация процессов

идентификации деформационных характеристик стыков МРС по его характеристикам в ТРП.

Основное содержание и результаты работы. Рассмотрим проблему на примере определения погрешности размера детали при обработке резцом из револьверного суппорта на токарно-револьверном автомате. Для анализа используем результаты исследования технологической надежности токарно-револьверных автоматов модели 1Б118 Мелитопольского станкостроительного завода, которые приведены в работе А.С. Проникова [8].

Жесткость автоматов в работе определяли в ходе точения ступенчатого вала (производственный метод), при этом обрабатываемую деталь использовали для определения жесткости технологической системы. Этот метод обеспечивает достаточно точное определение силы резания и динамической жесткости j_d системы в радиальном направлении.

Анализ схемы обработки показал следующее:

1) погрешность обработки определяется цепью из четырех последовательных соединений: а) горизонтальные направляющие станины — каретка корпуса револьверного суппорта; б) револьверный суппорт — опоры револьверной головки; в) втулка фиксатора револьверной головки — фиксатор; г) шпиндельный узел (ШУ);

2) погрешность обработки в статике определяется для трех параметров: диаметрального размера, погрешностей формы в продольном и поперечном сечениях, но в зависимости от цели испытаний их набор может быть иным;

3) погрешность обработки изменяется со временем из-за износа контактных поверхностей стыков и в зависимости от условий резания (силы, вибрации и тому подобное);

4) погрешности стыков и их деформации по-разному влияют на все виды погрешностей обработки, причем как по величине, так и по характеру этого влияния.

Анализ результатов исследования [8] позволяет констатировать следующее:

1) регламентированная простая стандартная проверка суммарной жесткости узлов станка позволяет получить значение суммарных погрешностей и жесткости для нескольких узлов одновременно, но она затрудняет определение доли каждого отдельного узла в общем балансе, т.е. "слабых мест" ТРП;

2) упругие деформации элементов ТРП и износ соединений могут быть достаточно удовлетворительно определены с помощью существующих методик их аналитического расчета;

3) прогнозирование точностной надежности в процессе эксплуатации станков требует регулярного



проведения трудоемких и дорогих экспериментальных испытаний.

Проведенные анализы определяют направления совершенствования общей методики исследований:

- 1) повышение удобства и снижение трудоемкости исследований;
- 2) обеспечение возможности определения доли каждого отдельного узла в общем балансе погрешностей;
- 3) минимизация расходов на проведение экспериментальных испытаний;
- 4) повышение эффективности и гарантирование необходимого уровня достоверности и точности прогнозирования технологической надежности станка в процессе его эксплуатации.

Предлагаемая методика основана на использовании понятия фрактальности (Б. Мандельброт [9]). Рассмотрим такой пример. Пусть имеем L стыков S_l , $l = \overline{1, L}$, которые находятся в размерной цепи влияния на конечную обобщенную суммарную погрешность Y (размер, погрешность формы, шероховатость поверхности и т.п.) и которые характеризуются диаграммами отжатый $y_l(p_i)$, $l = \overline{1, L}$; $i = \overline{1, I}$, где p_i – дискретные уровни нагрузок с постоянным шагом ($\Delta p_i = \text{const}$) приращения нагрузки, таким, что $p_{i+1} = p_i + \Delta p$. Здесь имеется в виду, что нагрузки являются обобщенными и могут иметь разнообразную природу (сила резания, температурное давление, амплитуда вибраций и т.п.). К тому же они приведены к точке ТРП, в которой определяют конечную погрешность от нагрузок, прилагаемых к l -му стыку, и их пересчитывают в соответствии с передаточным числом размерной цепи.

Начальная диаграмма отжатый после макроприработки поверхностей стыка может быть достаточно точно аппроксимирована полиномом степени k :

$$\hat{y}_l(p) = b_{l0} + b_{l1} p + b_{l2} p^2 + \dots + b_{lk} p^k + \delta(p), \quad (1)$$

где b_{lk} – коэффициент при члене k -го порядка в регрессии оценки отжатый $y_l(p)$ в l -м стыке;

$\delta(p)$ – аддитивная ошибка оценки.

Поведение каждого l -го стыка склонно к определенным изменениям, которые происходят или во времени (износ, приработка и т.п.), или по положению (изменение схемы нагрузки в процессе обработки, положения силы резания и т.п.) с дискретным шагом наблюдений Δt_r , $r = \overline{1, R}$. Величина этих изменений присуща для поверхностей каждого l -го стыка и может описываться теоретической или регрессионной зависимостью вида:

$$\hat{z}_l(r) = c_l^{(0)} + c_l^{(1)} r + c_l^{(2)} r^2 + \omega(r), \quad (2)$$

где c_{rj} – коэффициент регрессии (или аппроксимации) тренда $\hat{z}_l(r)$ порядка 0, 1, 2 (индекс в знаменателе) по номеру текущего шага r в рядах динамики, $r = \overline{1, R}$;

$\omega(r)$ – аддитивная ошибка регрессии $z_l(r)$.

Таким образом, оценка $\Delta \hat{Y}_l$ вноса стыка S_l в обобщенную погрешность Y с учетом выражений (1) и (2) составляет:

$$\Delta \hat{Y}_l = \eta_l z_l(r) y_l(p), \quad (3)$$

где η_l – коэффициент передачи погрешности l -го стыка, определяемого из размерной цепи.

При аддитивном добавлении погрешностей от L стыков оценка общей погрешности $\Delta \hat{Y}$ определится из формулы

$$\hat{Y}(p, r) = \sum_{l=1}^L \Delta \hat{Y}_l(p, r) = \sum_{l=1}^L \eta_l z_l(r) \hat{y}_l(p). \quad (4)$$

При обработке на станке партии деталей можно получить усредненное замеченное значение погрешности $Y(p)$ при нагрузке p и конкретном значении r или, если вести наблюдение во времени r , получить часовой ряд $Y(p, r)$.

Встает вопрос, каким образом из выражения (4) получить значение $\Delta \hat{Y}_l(p, r)$, т.е. определить внос каждого l -го стыка в общий баланс Y погрешностей обработки? В такой постановке проблема приобретает вид задачи идентификации $\Delta \hat{Y}_l(p, r)$. На основе ее решения можно ставить задачу как прогнозирования технологической надежности станка, так и диагностики состояния элементов его УС.

С этой точки зрения процесс деформации УС МРС представляется как классический "черный ящик", а главная задача исследования – выявление функциональных связей между входными и исходными сигналами этого объекта (рис. 1).

В общем случае нагрузки p_l могут действовать по разным координатам, влияя на тот же параметр точности Y . Так, при обработке резцом с револьверного суппорта на стык горизонтальных направляющих станины и каретки действуют шесть общих силовых факторов: три составляющих силы резания и три момента от сил резания по координатам.

Обозначим координату влияния силового фактора индексом "i". Тогда суммарную погрешность от действия силового фактора P_i по всем координатам на все

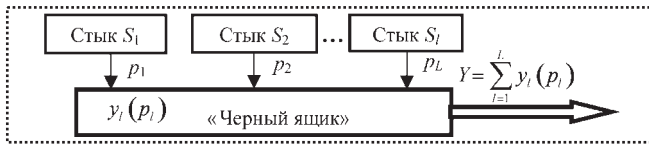


Рис. 1. Исходная структурная схема решения задачи выявления влияния нагрузок p_l в стыках станка на суммарную погрешность Y

S_l стыки в размерной цепи можно определить из формулы:

$$Y = \sum_{i=1}^l Y_i = \sum_{i=1}^l W_i (p_{1i} + p_{2i} + \dots + p_{Li}) = \sum_{i=1}^l w_{1i} (p_{1i}) + w_{2i} (p_{2i}) + \dots + w_{Li} (p_{Li}) = \sum_{i=1}^l \sum_{l=1}^l w_{li} (p_{li}), \quad (5)$$

где Y_i – составляющая результирующей погрешности от влияния p_i по i -координате;

W_i – оператор преобразования суммарного действия силовых факторов p_{li} в стыке S_l в погрешность Y_i ;

$w_{li} (p_{li})$ – оператор преобразования силового фактора p_{li} в стыке S_l в составляющую y_{li} погрешности Y_i ;

p_{li} – силовые факторы в стыках S_l от влияния фактора p_i по i -й координате.

Для уменьшения информационной энтропии "черного ящика" проводят декомпозицию общей задачи как по параметрам, так и по структуре. В отличие от исходной структуры (см. рис. 1), в которой исходный сигнал y_i содержит смешанное влияние входных сигналов p_1, p_2, \dots, p_L , на следующем этапе сигналы y разделяются, но каждый из сигналов $y_l, l = \overline{1, L}$ также содержит смешанное влияние входных сигналов p_1, p_2, \dots, p_L . То есть Y_i формируется как сумма составных погрешностей y_{li} всех стыков S_l от влияния P по каждой i -й координате.

После декомпозиции исходной задачи с учетом многокоординатности влияния P структурная схема на рис. 1 примет вид рис. 2. Для идентификации "черного ящика" в таком виде была разработана специальная методика, основанная на трех основных предположениях:

1) составляющие погрешности y_{li} , возникающие в стыке S_l от влияния P_i по каждой i -й координате, независимы;

2) отсутствуют смешанные влияния отдельных факторов p_{li} на y_{li} , т.е. $y_{li} (p_{li}, p_{lj}) = 0, i \neq j$;

3) действителен принцип суперпозиции, т.е. суммарная погрешность от действия силового фактора P по всем координатам на все стыки S_l размерной цепи

можно определить как простую сумму из формулы (5).

Вместе с допущениями введено также дополнительное условие: процесс является динамическим, т.е.

$$p_{li} \equiv p_{li}(t); y_{li} \equiv y_{li}[x(t)], l = \overline{1, L}, i = \overline{1, I},$$

где t – время, или параметр, который связан с дискретным параметром r .

Эти предположения и дополнительные условия являются реально наблюдаемыми и позволяют построить математическую модель идентификации в виде системы линейных ортогональных уравнений.

Основная идея методики состоит в том, что $p_{li}(t)$ имеет свои особенности, т.е. кривая изменения $p_{li}(t)$ имеет присущую ей фрактальность. Естественно считать, что эта фрактальность отобразится с собственным, присущим только ей, искажением на составляющую погрешности $y_{li}[p_{li}(t)]$ в стыке S_l с преобразованием $w_{li}[p_{li}(t)]$. Остается только подобрать согласно принятым предположениям и дополнительным условиям наиболее "удачный" вид преобразования $w_{li}[p_{li}(t)]$ для формулы (5).

Идентификацию деформаций (смещений) в стыках выполняют согласно структурной схеме (рис. 3) в такой последовательности.

1. Выбирают обобщенный силовой фактор P (сила резания, амплитуда вибраций и т.п.) процесса резания для конкретного вида обработки на станке и параметр качества Y (точность размера, точность формы, шероховатость и т.п.).

2. Определяют составляющие P_i по координатам.

3. Кинематическим расчетом или из базы данных определяют коэффициенты η_{li} передачи (влияния) P_i на l -й стык S_l .

4. Определяют нагрузки $p_{li} = \eta_{li} P_i$.

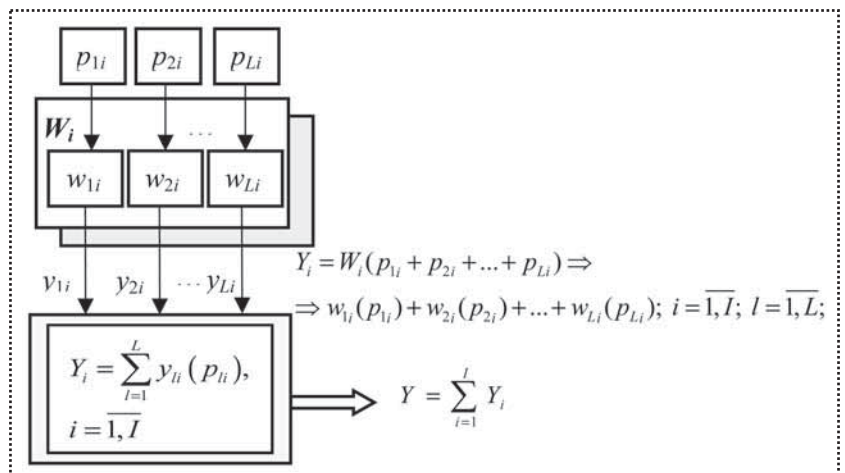


Рис. 2. Декомпозиция структурной схемы решения задачи определения влияния нагрузок p_{li} в стыках на суммарную погрешность Y

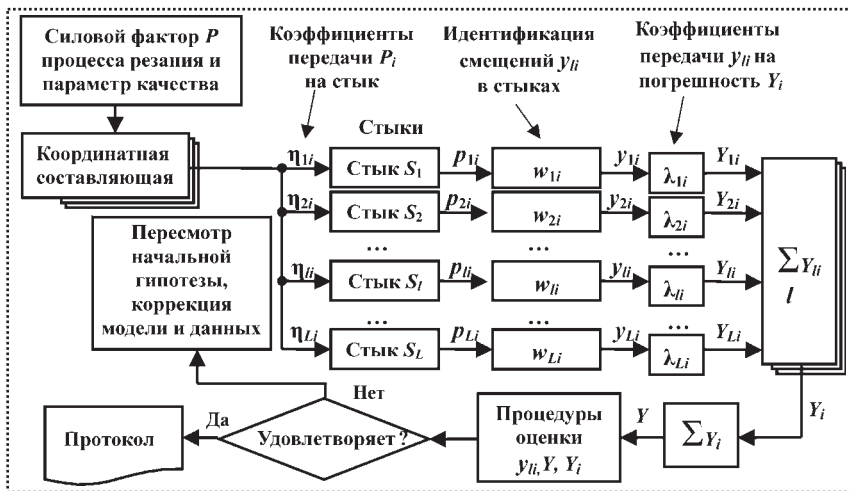


Рис. 3. Структурная схема процедуры определения баланса смещений

5. Определяют оценки локальных смещений y_{ii} в стыках с помощью компьютерной программы СТЫК.

6. Геометрическим расчетом размерной цепи или из базы данных определяют коэффициенты λ_{li} передачи смещения y_{li} l -го стыка S_l на координатную погрешность $\hat{Y}_{li} = y_{li} \lambda_{li}$.

7. Добавляют оценки погрешностей по всем l стыкам $\hat{Y}_i = \sum_{l=1}^L y_{li} \lambda_{li} (p_{li})$, $i = \overline{1, I}$.

8. Повторяют пп. 2–7 для всех $i = \overline{1, I}$ координат действия силового фактора P .

9. Определяют расчетную оценку погрешности \hat{Y} суммированием погрешностей \hat{Y}_i по координатам действия силового фактора $\hat{Y} = \sum_{i=1}^I \hat{Y}_i$.

10. Выполняют статистические процедуры оценки y_{ii} , \hat{Y}_i , \hat{Y} их сравнением с наблюдаемыми данными.

11. Если статистические оценки y_{ii} , \hat{Y}_i , \hat{Y} удовлетворяют на принятом уровне достоверности, то результаты протоколируют. Иначе рассматривают вопрос о пересмотре начальных гипотез, коррекции модели входных данных.

Рассмотрим определение баланса смещений элементов УС станка в погрешности размера детали при обточке ступенчатого вала, т.е. параметр Y качества. Обозначим через Δd отклонение диаметра от установочного по ступеням вала. Примем число ступеней вала $R = 9$. Рассмотрим случай исследования влияния на погрешность обработки таких сопряжений:

1) шпиндельный узел (ШУ) со станиной по стыку "ШУ–станина";

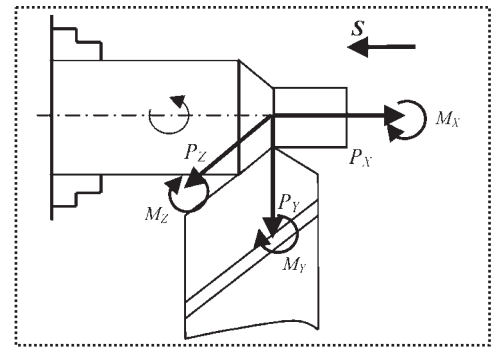
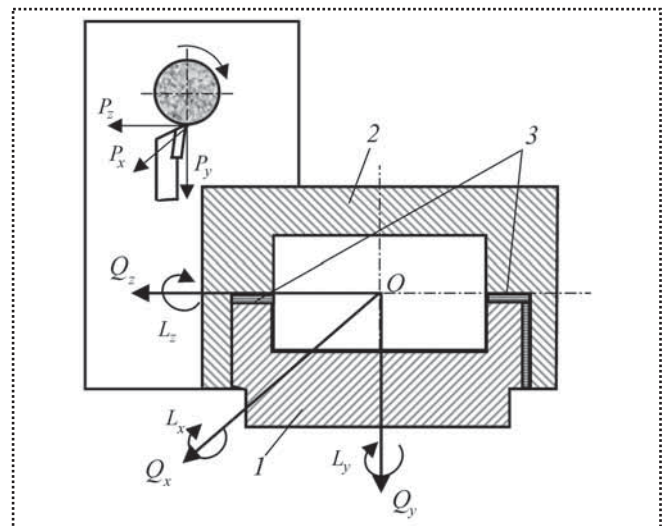


Рис. 4. Система координат и силовые факторы

2) револьверная головка с револьверным суппортом по стыку "револьверная головка (по посадочным шейкам) – револьверный суппорт";

3) револьверный суппорт с горизонтальными направляющими станины по стыку "направляющие каретки – горизонтальные направляющие станины".

Заметим, что ШУ и револьверная головка имеют внутренние стыки. Так, ШУ имеет стыки в подшипниковых узлах, револьверная головка включает стык "фиксатор–корпус". Поэтому оценка деформаций будет для них смешанной. Для выявления доли отдельных внутренних стыков в общем балансе погрешностей нужно увеличивать число стыков в модели (параметр) или рассматривать эти узлы отдельно по принципу декомпозиции. Для каждого узла введем локаль-


 Рис. 5. Приведение сил Q_x , Q_y , Q_z и моментов L_x , L_y , L_z в плоскости стыка "направляющие каретки–горизонтальные направляющие станины" [8]:

1 – станина станка; 2 – каретка револьверного суппорта; 3 – стык



ную систему координат, совпадающую с системой координат станка: три линейных координаты x, y, z по направлению составляющих сил резания P_x, P_y, P_z и три угловых координаты $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$ в направлении действия моментов сил резания M_x, M_y, M_z (рис. 4).

В сторону суппортной группы имеем два стыка: 2-й и 3-й из перечисленных ранее. Из силовых факторов на них действуют только составные силы резания по координатам: P_x, P_y, P_z . Согласно рис. 5 в плоскости стыка, "направляющие каретки – горизонтальные направляющие станины" будут действовать приведенные силы Q_x, Q_y, Q_z и приведенные моменты L_x, L_y, L_z . Коэффициенты влияния y_{li} на Y_i можно получить размерным расчетом, как это выполнено в работе [8].

Для определения суммарной погрешности Δd от всех видов деформаций, например для 3-го стыка "направляющие каретки – горизонтальные направляющие станины", необходимо иметь формулу (1) в виде $y_{3i}(p_{3i}, r)$. Такую формулу можно получить экспериментально после периода приработки стыков станка. Параметр r при этом может быть или временным, или позиционным. За базу измерений следует выбирать узел, сопрягаемый с данным узлом. Так за базу данного узла (каретка револьверной головки) нужно выбрать станину станка.

Выходные данные для моделирования влияния нагрузки стыка "направляющие каретки – горизонтальные направляющие станины" на погрешность диаметра обработанной детали при обработке с револьверного суппорта представлены на вкладке "Главная" (рис. 6 на стр. 2 обложки). Результаты наблюдения и моделирования показали (рис. 7 и 8 на стр. 2 обложки):

1) хорошее совпадение теоретической и наблюдаемой кривых погрешности размера при действии силового фактора в стыке по координате X ; 95 %-ный двухсторонний доверительный интервал погрешности по остаткам составил 0,318 мкм;

2) характер изменения каждой составляющей (моды) деформации при действии силового фактора в стыке по координате X показал, что наибольший взнос в погрешность дает мода 2, которой отвечает сила резания P_y .

Компьютерное моделирование выполнялось сериями (до трех серий) для статистического оценивания результатов. На рис. 7 показаны результаты моделирования для наиболее удачной второй серии, поскольку для нее среднее квадратичное отклонение по общей погрешности составляет 0,070 мкм. Это отображено в таблице "Результаты расчета Y по r ".

В той же таблице рис. 8 представлена оценка воспроизводимости машинного эксперимента по критерию Кохрена, при этом расчетная оценка из двух се-

рий $G_p = 0,5766$ меньше табличной $G_{кр} = 0,6385$ – гипотеза о воспроизводимости подтверждается. Средний остаток составляет 0,087 мкм – точность воспроизведения машинного эксперимента достаточно высокая.

График остатков можно интерпретировать как величину износа стыка при новых данных об общей погрешности размера, которую можно измерить через некоторое время работы станка. Это иллюстрируется графиком на рис. 9, на стр. 3 обложки, на котором показаны результаты из протокола моделирования при суммарной погрешности, равной $Y = Y + \Delta Y$, где ΔY – износ в стыке, который задавался нормальным распределением с параметрами $N(3; 0,5)$. При этом средний износ в стыке составил 2,63 мкм. Данный результат имеет большое значение, поскольку это дает возможность диагностировать износ узла и другие процессы малой скорости без его разборки.

В таблице показаны результаты моделирования в стыке от приведенных силовых факторов для анализа влияния на общую погрешность составляющих сил резания P_x, P_y, P_z (соответственно силовые факторы P1, P2, P3) по координатам стыка $Y, X, \varphi_x, \varphi_z$ и совместно по всем тем же координатам. Действующие силы P_x, P_y, P_z приведены в таблице "Ряды $Pl(r)$ " вкладки "Главная" (см. рис. 6) в девяти точках ступенчатого изменения нагрузки от 70 Н с приращением по 100 Н.

Так сила P_x (силовой фактор P1) при ее значении 0,430 кН в 9-й точке дает общую погрешность размера обработки $\Delta d_1 = 11,5$ мкм, а наибольшая координатная составляющая $\Delta d_{2-3} \approx 4,0$ мкм от силы P_z по координате стыка Z (см. рис. 8).

Сила P_y (силовой фактор P2) при ее значении 0,450 кН в 9-й точке дает общую погрешность размера обработки $\Delta d_2 = 20,5$ мкм, а наибольшая координатная составляющая $\Delta d_{2-5} \approx 6,7$ мкм от силы Q_y по координате стыка Y , (рис. 10 на стр. 3 обложки).

Сила P_z (силовой фактор P3) при ее значении 0,770 кН в 9-й точке дает общую погрешность размеру обработки $\Delta d_3 = 9,6$ мкм, а наибольшая координатная составляющая $\Delta d_{3-4} \approx 3,5$ мкм от силы Q_z по координате стыка Z_x (рис. 11 на стр. 3 обложки).

Суммарная погрешность от силовых факторов P1, P2 и P3 (рис. 12 на стр. 3 обложки) в той же точке нагрузки $\Delta d_\Sigma = 40$ мкм, а влияние отдельных координатных составляющих практически одинаково – около 10 мкм. Это говорит прежде всего о равной жесткости конструкции стыков револьверного суппорта, что достигнуто, вероятно, эволюционным путем совершенствования суппортов автоматов.

Полученные моделированием результаты достаточно точно совпадают с результатами, которые имеются в работе [8], где отжим каретки у вертикальной



Результаты моделирования износа в стыке от приведенных силовых факторов, мкм

Нагрузка $P, Н$	Координаты								
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	$Y_{\text{экс}}$	$Y_{\text{расч}}$	$Y_{\text{экс}} - Y_{\text{расч}}$
70	0	-0,098	-0,059	-0,079	0	-0,62	2,85	-0,856	3,706
170	0	2,846	0,735	0,455	0	2,818	7,45	6,854	0,596
270	0	5,615	1,648	0,92	0	5,031	15,33	13,214	2,116
370	0	8,094	2,708	1,329	0	6,372	20,51	18,503	2,007
470	0	10,306	3,96	1,72	0	7,232	25,26	23,218	2,042
570	0	12,199	5,393	2,118	0	7,883	29,96	27,593	2,367
670	0	13,751	6,994	2,554	0	8,541	34,89	31,84	3,05
770	0	14,887	8,662	3,044	0	9,319	40,02	35,912	4,108
870	0	15,605	10,338	3,628	0	10,297	43,59	39,868	3,722
Средний износ в стыке, мкм									2,63
Примечание. В таблице и на рис. 6–8, 10–12 смещениям в стыке по координатам $X, Y, Z, \varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$ соответствуют обозначения $Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6$ соответственно.									

плоскости по вертикальной оси составлял при тех же условиях $\Delta d_{\Sigma} = 47$ мкм, но, как видно из таблицы, составляющие силы резания действуют неоднозначно на величины деформаций в стыке. Поэтому совпадение можно считать удовлетворительным, но этот вопрос требует дополнительных исследований.

Можно констатировать, что регрессоры смещений от силовых факторов в стыке по координатам станка могут служить своеобразным деформационным паспортом узла станка, на основе которого можно рассчитывать и прогнозировать его влияние на точность обработки.

Выводы. Реализованный принцип машинного моделирования позволяет уменьшить общие расходы и время на обеспечение технологической надежности станка в процессе его эксплуатации. Предлагаемая методика определения баланса смещений элементов упругой системы обеспечивает удобную и надежную идентификацию деформационных свойств стыков узлов станка. Для идентификации деформационных характеристик и процессов, происходящих во времени, достаточно провести испытание станка производственным методом (например, точением ступенчатого валика) с последующей компьютерной обработкой.

Библиографический список

1. **Вотинов К.В.** Жесткость станков. Л.: ЛОНИТОМАШ, 1940.
2. **Рыжов Э.В.** Контактная жесткость деталей машин. М.: Машиностроение, 1966. 163 с.
3. **Демкин Н.Б.** Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей. М.: Наука, 1962.
4. **Рыжов Э.В.** Основы расчета стыковых поверхностей деталей машин на контактную жесткость. М.: Машгиз, 1962. 143 с.
5. **Гусев И.Т.** Экспериментальное определение частот собственных колебаний системы станок – упругое звено – вибратор. М.: МИФИ. 1967.
6. **Сабиров Ф.С.** Повышение эффективности станков на основе их диагностирования и определения виброустойчивости в рабочем пространстве: дис. ... д-ра техн. наук: 05.01.05, М. 2009. 215 с.
7. **Хомяков В.С., Тарасов И.В.** Оценка влияния стыков на точность станков // Станки и инструмент. 1991. № 7. С. 13–17.
8. **Технологическая надежность станков** / Под общ. ред. А.С. Проникова. М.: Машиностроение, 1971. 344 с.
9. **Мандельброт Б.** Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.

УДК 621.3.049.75

А.М. Медведев, д-р техн. наук, профессор (Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)),

Г.В. Мылов, инженер (Рязанский государственный приборный завод (ГРПЗ), директор производственного комплекса)

E-mail: medvedevam@bk.ru

Ультразвуковая очистка электронных сборок

Чистота в настоящее время, как никогда в прошлом, определяет качество продукции во многих отраслях промышленности. В электронной индустрии, где чистота была всегда важна, она стала еще более критическим фактором в обеспечении состоятельности высоких технологий. Каждое усовершенствование в технологии требует повышенного внимания к чистоте для его реализации. В результате в течение последних нескольких лет были критически пересмотрены практически все технологии очистки. Многие из них были усовершенствованы за счет использования ультразвуковой технологии.

Технология ультразвуковой очистки в водных средах технических моющих средств позволяет полностью избавиться от взрывоопасных и легко воспламеняющихся жидкостей. Приведены конкретные рекомендации по использованию процесса очистки поверхностей электронных сборок от технологических загрязнений.

Purity now, more than ever in the past, determines the quality of products in many industries. In an industry where purity of the same was always important, it has become even more critical factor in ensuring the viability of the high technologies. Each improvement in technology requires increased attention to cleanliness for its realization. As a result, over the past few years have been critically reviewed virtually all cleaning technology. Many of them have been improved through the use of ultrasound technology.

Ultrasonic cleaning technology in aquatic environments technical detergent allows you to completely get rid of explosive and flammable liquids. Specific guidance on how to use the cleaning process surfaces of electronic assemblies from technological pollutions provides.

Ключевые слова: электронная сборка, очистка, ультразвук.

Keywords: electronic assembly, cleaning, ultrasound.

Типичные для электронных сборок загрязнения после монтажа — жировые отпечатки с поверхности кожи рук и остатки флюсов — являются причиной отказов электронной аппаратуры. Традиционно используемые жидкости для очистки поверхностей: спирт, бензин, нефрас и их смеси — взрывоопасны, легко воспламеняемы и недостаточно эффективны для удале-

ния всего разнообразия технологических загрязнений. Приходится считаться с тем, что бензин растворяет только жировые загрязнения, масла, а спирт — канифоль и другие полярные загрязнения. Но солевые (водорастворимые) компоненты (в частности, отпечатки пальцев) эти очистители растворяют слабо, а некоторые совсем не растворяют (соли Са и Mg).

Остатки загрязнений на поверхности электронных сборок опасны при эксплуатации аппаратуры в среде с повышенной влажностью, в которой на растворенных в поверхностной пленке загрязнениях образуются электролиты, и вслед за этим — отказы изоляции цепей электрохимического происхождения (рис. 1).

Ультразвуковая очистка в водных средах является самым эффективным способом удаления технологических загрязнений с поверхности электронных сборок после монтажа. Под действием ультразвука эти загрязнения отрываются от очищаемых поверхностей, эмульгируются и уносятся вместе с водной средой (рис. 2).

Частота ультразвуковых колебаний составляет 40 кГц. Интенсификация очистки ультразвуком достигается за счет акустических течений, радиации и кавитации (рис. 3). Для очистки электронных модулей, как правило, используют предкавитационный режим, когда кавитационные явления сосредоточиваются в первую очередь на загрязненных жировых поверхностях, на которых нет смачиваемости. Предкавитационный режим в воде наступает при удельной мощности 0,2 Вт/см³. Наступление кавитационного режима можно регистрировать по помутнению воды из-за обильного газовыделения. Эффект очистки увеличивается при подогреве моющей жидкости. В этом случае прочность загрязняющих компонентов, жировых пленок ослабляется, более интенсивно происходит дегазация жидкости [1].

Ультразвуковая очистка позволяет полностью избавиться от традиционно используемых отмывочных жидкостей типа спирта, бензина, нефрасов путем замены их на водные растворы технических моющих средств (ТМС), представляющих собой поверхностно активные вещества (ПАВ). Поскольку при ультразвуковой очистке происходит интенсивное перемешивание жидкости, необходимо добавление пеногасящих

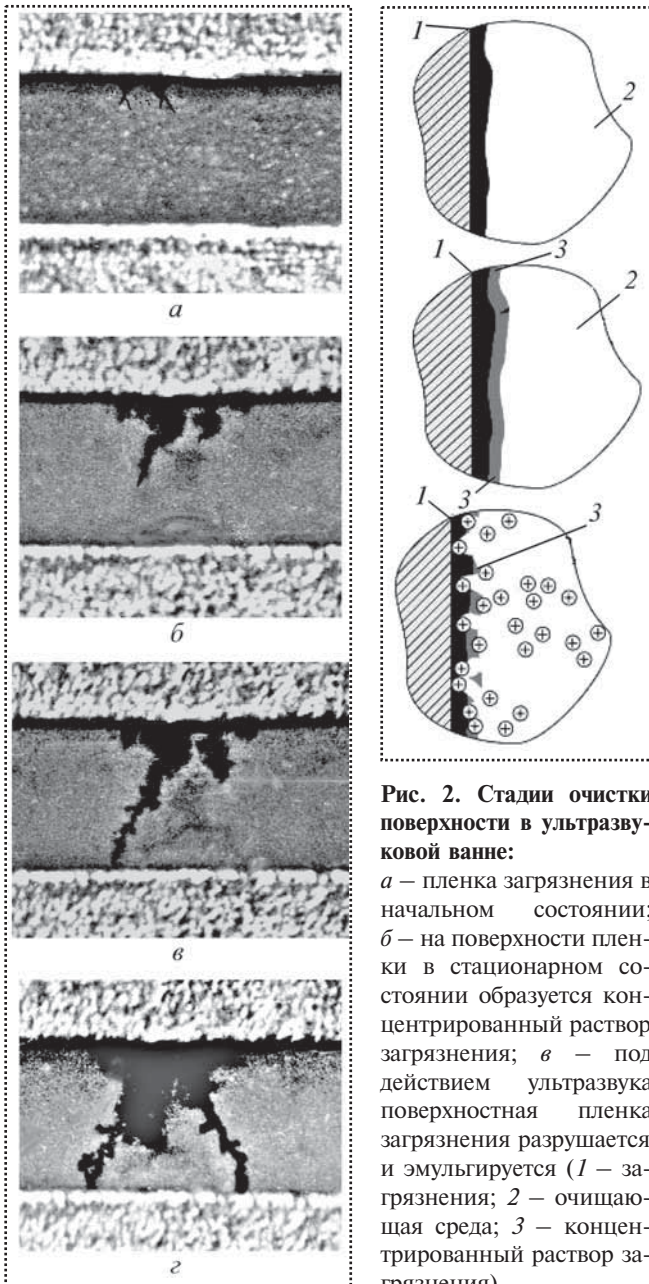


Рис. 1. Стадии образования токопроводящей перемычки в конденсате воды при постоянном напряжении 4 В после включения напряжения через:
a – 2 мин; *б* – 2,5 мин; *в* – 3 мин; *г* – 4 мин

Последовательность очистки:

Для ультразвуковой очистки используют следующие расходные материалы:

- ТМС – 70 г/л;
- деионизированная (дистиллированная) вода – по объему ванны.

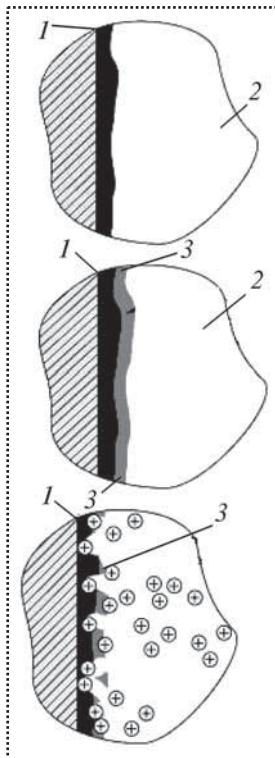


Рис. 2. Стадии очистки поверхности в ультразвуковой ванне:

a – пленка загрязнения в начальном состоянии; *б* – на поверхности пленки в стационарном состоянии образуется концентрированный раствор загрязнения; *в* – под действием ультразвука поверхностная пленка загрязнения разрушается и эмульгируется (1 – загрязнения; 2 – очищающая среда; 3 – концентрированный раствор загрязнения)

компонентов. Такое сочетание компонентов присуще специальным моющим средствам с индексом "AUTO" [2].

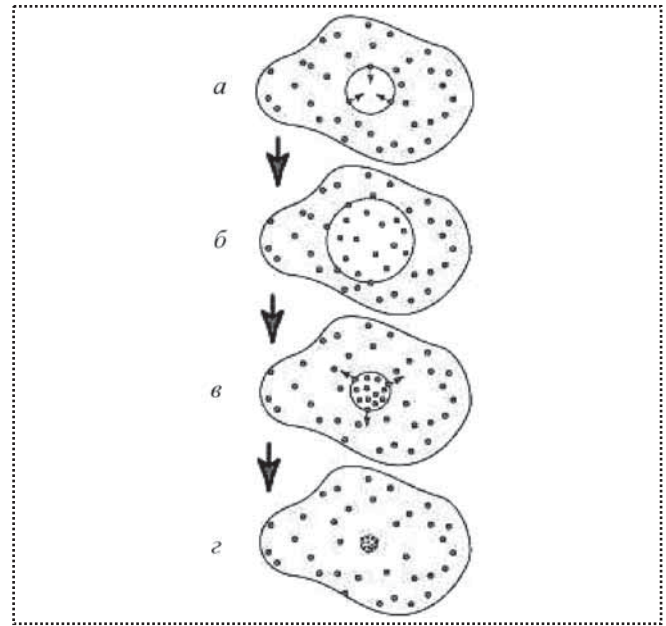


Рис. 3. Эффект кавитации:

a – давление отрицательное: растворенный в жидкости газ заполняет растущий пузырек; *б* – давление атмосферное: поступающий в пузырек газ выравнивает давление; *в* – давление растет: газ из пузырька растворяется в объеме жидкости; *г* – амплитуда положительного давления: пузырек не взрывается – газ уходит в объем жидкости. Кавитации нет

Для обеспечения процесса используют следующее оборудование [3]:

a) ультразвуковые очистители объемом:

- 1 л (155×120×60 мм);
- 4 л (285×185×100 мм);
- 8 л (300×233×150 мм);
- 12 л (324×296×150 мм);
- 25 л (500×300×200 мм);
- 42 л (480×350×245 мм);

б) корзинки;

в) дистиллятор ДЭ4 производительностью 4 л/ч.

Ультразвуковой очиститель состоит из трех частей: ультразвукового генератора, излучателя (рис. 4) и ванны (рис. 5), расположенных в одном корпусе. Установка имеет таймер, при помощи которого можно устанавливать время очистки.

Для нагрева жидкости имеется отдельный выключатель, настроенный на поддержание температуры 50 °С.

Частота генерации ультразвуковых колебаний должна иметь девиацию, чтобы в ванне не образовывалось мертвых зон из-за образования стоячих волн. Для этого генератор должен выдавать или импульсный характер излучения (рис. 6), или излучение с качающейся частотой (рис. 7).

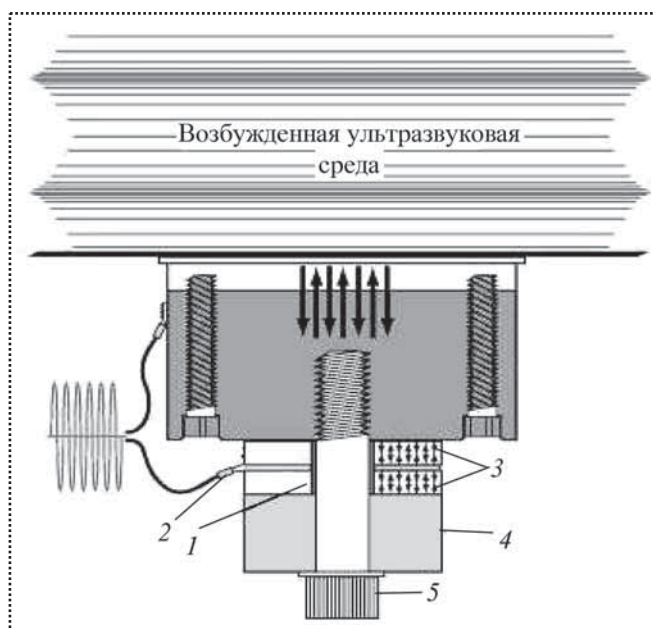


Рис. 4. Ультразвуковой пьезоэлектрический излучатель:
1 – электроизолятор; 2 – электрод; 3 – пьезоэлемент;
4 – массивная опора; 5 – прижимающий болт

Процесс очистки состоит из следующих операций (все операции проводят в хирургических перчатках):

- ванну заполняют чистой водой до отметки;
- включают нагрев ванны;
- включают ультразвук для дегазации жидкости;
- насыпают в ванну необходимое количество ТМС (70 г/л);
- выжидают 12 мин и выключают генератор;
- укладывают электронную сборку в корзину;
- помещают корзину со сборкой в ванну;
- включают ультразвуковой генератор установкой таймера на нужное время;
- по завершении процесса переносят корзину со сборкой под проточную воду (горячую, потом холодную);

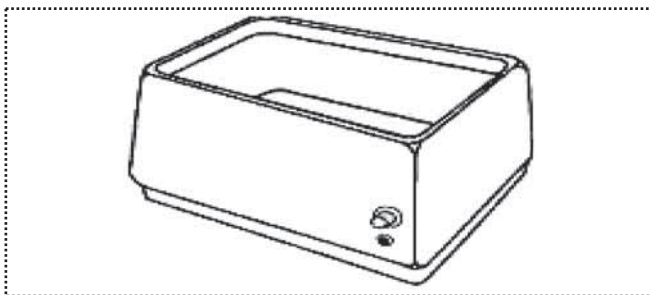


Рис. 5. Ультразвуковая ванна

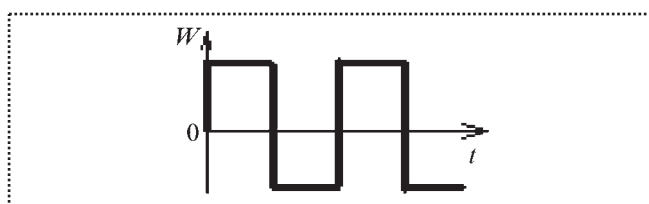


Рис. 6. Импульсное излучение ультразвукового генератора
(W – мощность; t – время)

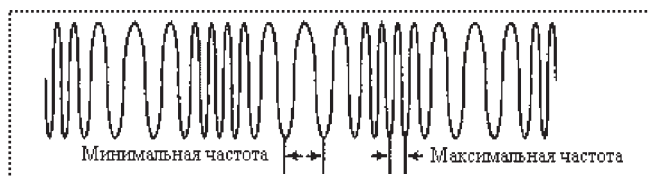


Рис. 7. Излучение от генератора с качающейся частотой

- вынимают сборку из корзины и укладывают в кювету с дистиллированной водой;
- покачиванием кюветы промывают сборку в течение 12 мин;
- поднимают сборку из кюветы и ставят ее вертикально в "козлы";
- сушат сборку в обеспыленной атмосфере.

Многолетний успешный опыт ГРПЗ в использовании ультразвуковой очистки в производстве электронных изделий ответственного назначения демонстрирует ее хорошую эффективность. Удивляет ограниченность ее распространения. Единственным препятствием для использования ультразвуковой очистки может стать недостаточная герметичность корпусов электронных компонентов. Тогда в сертификатах (паспортах) на такие компоненты должно быть соответствующее указание о запрете их отмывки в ультразвуковых ваннах. Но таких компонентов с каждым годом становится все меньше, и в скором времени все они будут иметь разрешение на ультразвуковую очистку.

Библиографический список

1. Медведев А.М. Сборка и монтаж электронных устройств. М.: Техносфера, 2007. 256 с.
2. Бурмакин А., Мылов Г.В., Кузнецов С. Проектирование и производство печатных плат – проблемы и решения // Промышленная электроника и электротехника. 2000. № 2.
3. Кузнецова Т., Кайдалова К. Краткий обзор производства компании РВТ (Чехия) для очистки печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2009. № 8.

УДК 62.755, 681.2

Р.М. Гоцеридзе, канд. техн. наук, **С.В. Румянцев**, инженер (МГТУ им. Н.Э. Баумана)
E-mail: Ruslan.Gotseridze@gmail.com

Устройство для статической балансировки изделий

Описано устройство для определения величины статического дисбаланса изделий путем возбуждения гармонических колебаний и измерения отклонений оси колебаний от среднего положения времяимпульсным методом. Приведен программный алгоритм компьютерной обработки данных измерения, получаемых этим методом.

The article describes the device of the measurement steady-state imbalance of product by ways excitement of the harmonic fluctuations and measurements of the deflections to axis of the fluctuations from average position by mark-space method. Is described programme algorithm computer data processing the measurement, got this method.

Ключевые слова: устройство, механизм, балансировка, измерение, уравнивание, времяимпульсный, колебания, отклонение, равновесие, масса, коррекция, сигнал, импульс, датчик, алгоритм, вычисление.

Keywords: device, mechanism, balancing, measurement, mark-space, fluctuations, deflection, balance, mass, correction, signal, pulse, sensor, algorithm, calculation.

Часто в производственном процессе бывает необходимо произвести статическую балансировку каких-либо изделий. В приборостроении такими изделиями могут быть различные части измерительных приборов, например, чувствительные элементы гироскопов и акселерометров.

Существующие балансировочные устройства, использующие механические методы измерения и уравнивания, зачастую не обладают достаточными точностью и производительностью. Поэтому при разработке описываемого устройства стояла задача увеличения точности и удобства измерений, что в свою очередь облегчало бы и ускоряло весь технологический процесс.

Также желательно было обеспечить применение в системе измерения и управления современных стандартных измерительно-вычислительных средств с использованием персонального компьютера, что дало бы значительное снижение стоимости и упростило бы изготовление и наладку балансировочного устройства.

Исходя из этих требований было разработано высокоточное балансировочное устройство, служащее для измерения и коррекции статического дисбаланса элементов и изделий точной механики и измерительной техники.

В данном устройстве повышение точности обеспечивается за счет следующих факторов:

- измерение производится в динамическом режиме качания оправки с изделием относительно центра равновесия, что исключает трение покоя и повышает чувствительность устройства;
- измерение производится за несколько периодов качания изделия (например, за 10 качаний), с последующим осреднением результата, что позволяет уменьшить влияние внешних случайных возмущающих воздействий;
- измеряются как величины, так и знаки временных отклонений балансировочной оправки от эталонного положения, что снижает вероятность ошибки при коррекции масс;
- информация о дисбалансе представляется в цифровом виде и обрабатывается с помощью персонального компьютера. Это повышает автоматизацию, уменьшает ошибки, ускоряет процесс балансировки.

Электрокинематическая схема предлагаемого устройства представлена на рис. 1; на рис. 2 – механическая часть устройства.

Изделие 1 (см. рис. 1), закрепленное в балансировочной оправке 2, приводится в движение механизмом 9 для возбуждения гармонических колебаний. Флажок 3, связанный с балансировочной оправкой 2, взаимодействует с двумя фотодиодами 4 и 5, связанными с устройством формирования импульсов 6, обеспечивая тем самым получение времяимпульсных сигналов, несущих информацию о параметрах дисбаланса. Величина и знак временных отклонений балансировочной оправки 2 от эталонного положения равновесия пересчитываются и индицируются компьютером 7. Корректирование массы в данном устройстве, в зависимости от конструкции балансируемого изделия, может осуществляться как вручную, так и посредством корректирующего механизма 11, на который от компьютера подается управляющий сигнал.

Механизм возбуждения колебаний выполнен в виде электродвигателя 15 (рис. 2), связанного с синус-

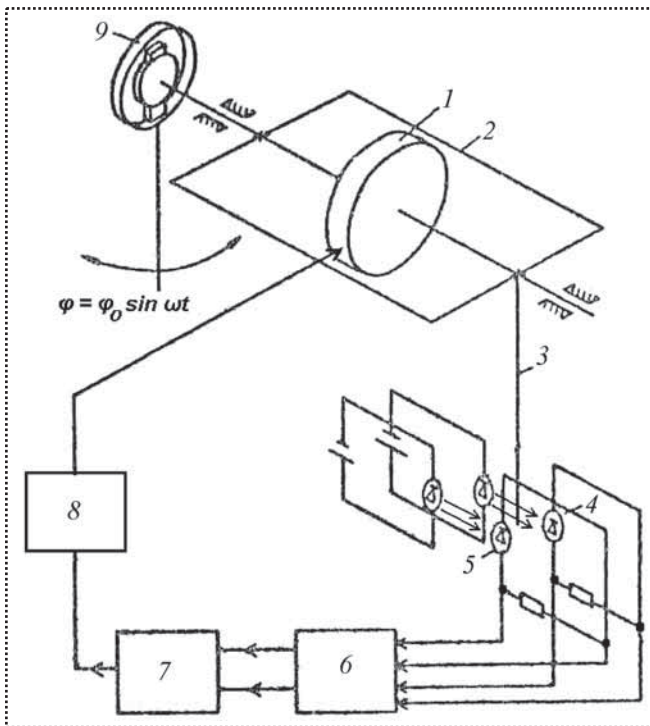


Рис. 1. Электрокинематическая схема устройства

ным приводом 14 ползуном 16 с кривошипом 13 и кулисой 12.

Упругий элемент выполнен в виде магнитного демпфера с постоянными магнитами 8 и корпусом 11, связанным с кулисой 12. Корпус 11 магнитного демпфера расположен на подшипниках, связанных со стойкой 7 через втулку 6. Стойка 7 жестко связана с плитой 17 балансирующего устройства.

Балансировочная оправка выполнена в виде установленных на оси 10 стакана 9 (взаимодействующего с магнитным демпфером) и втулки 5, на которой крепится балансируемое изделие 1 и связанная с втулкой 5 инерционная масса 2. С втулкой 5, в свою очередь, связаны флажок 23 и три шпильки 4 с регулировочными гайками 3, расположенные под углом 90° взаимно друг к другу.

Блок 20 фотодатчиков, выполненный в виде двух оптоэлектронных пар, образованных светодиодами 21, 22 и фотодиодами 18, 19, жестко установлен на плите 17 балансирующего устройства и имеет механическую регулировку вдоль горизонтальной оси в плоскости качания флажка.

Оптоэлектронные фотодатчики (фотодиоды) 4 и 5 (см. рис. 1) электрически связаны с устройством формирования импульсов измерения 6, которое служит

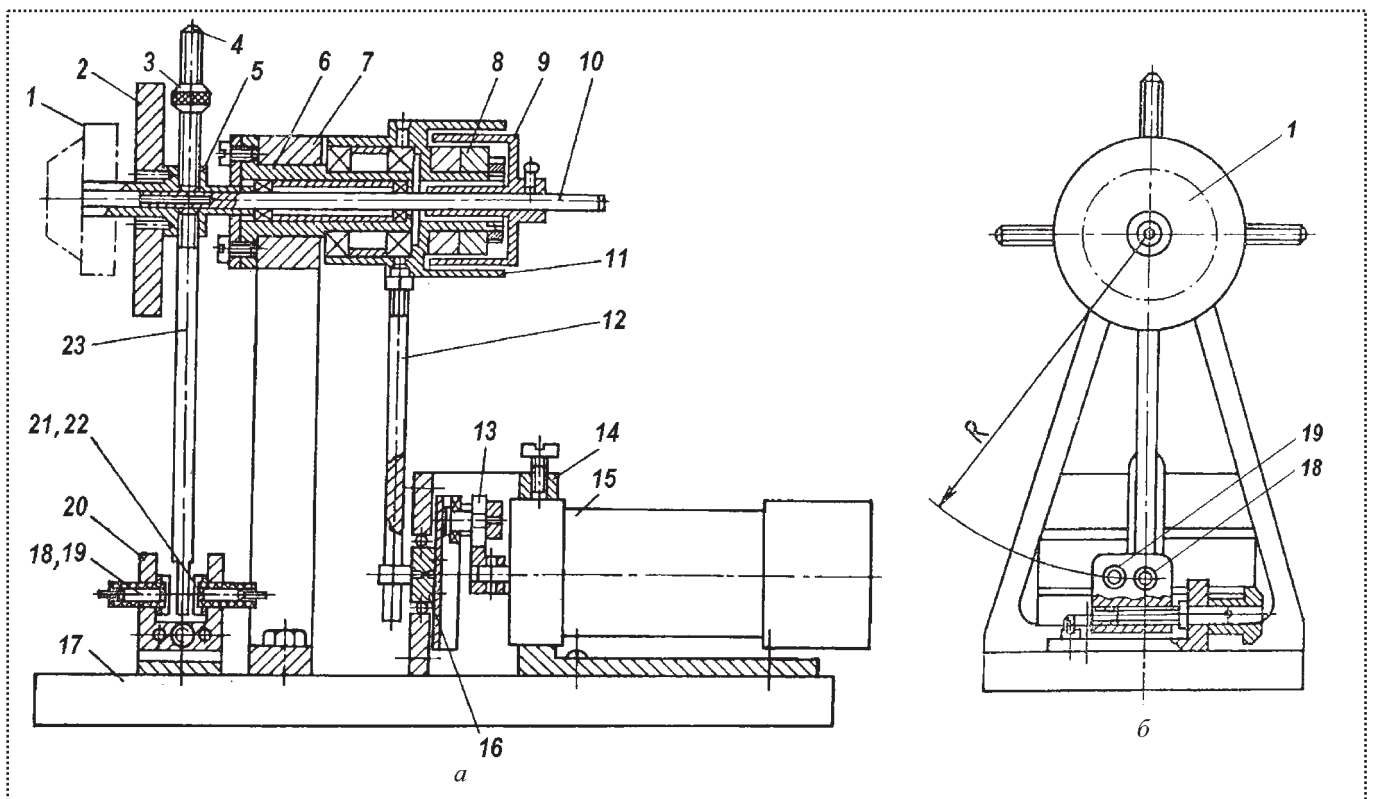


Рис. 2. Механическая часть устройства:

a – фронтальная проекция; *б* – боковая проекция

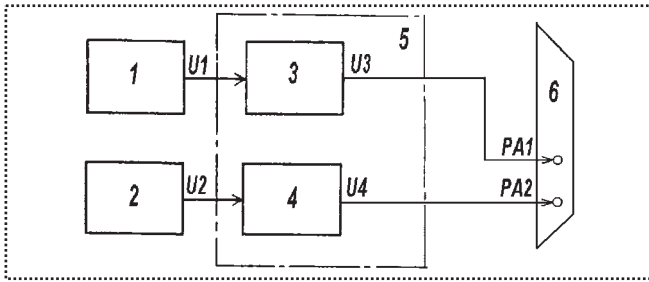


Рис. 3. Блок-схема усилителя-формирователя

для усиления электрических сигналов, снимаемых с фотодатчиков, а также для согласования уровней сигналов с входными уровнями порта персонального компьютера 7, на который подаются сигналы с выхода формирователя импульсов 6. С помощью компьютера возможно управление корректирующим механизмом 8, который может быть установлен при необходимости.

Блок-схема усилителя-формирователя представлена на рис. 3, она состоит из двух одинаковых каналов усиления (усилителей-преобразователей) 3 и 4, связанных с фотодатчиками 1 и 2. Выходы усилителей 3 и 4 блока формирования 5 соединены через электрический разъем 6 с портом ввода персонального компьютера. В качестве порта ввода используется стандартный LPT-порт принтера персонального компьютера, предусмотренный для параллельного ввода–вывода информации.

Устройство работает следующим образом. В синусном приводе 14 (см. рис. 2, а) вращательное движение выходного вала электродвигателя 15 преобразуется в возвратно-поступательное движение ползуна 16 с помощью кривошипа 13. Ползун 16 увлекает кулису 12, которая приводит корпус 11 в колебательное движение вокруг оси его вращения. Корпус 11 магнитного демпфера приводит в колебательное движение ось 10 с закрепленными на ней втулкой 5 с флажком 23 и балансируемым изделием 1.

При колебании балансируемого изделия 1 флажок 23 прерывает потоки света от светодиодов 21 и 22 к соответствующим фотодиодам 18 и 19. Фотодиоды 18 и 19 будут формировать электрические импульсы, период следования которых несет информацию о статическом дисбалансе. Разность интервалов времени при колебании флажка в одну и другую стороны от положения равновесия, т.е. от оси фотодиода 18, дает величину, пропорциональную дисбалансу, а фотодиод 19 дает информацию о направлении вектора дисбаланса изделия (при данном положении изделия) относительно эталонного положения равновесия, т.е. относительно вертикальной оси, проходящей через центр вращения балансируемого изделия 1 и центр фотодиода 18.

С блока 20 фотодатчиков 18 и 19 сигналы через формирователь импульсов поступают на порт ввода персонального компьютера, где затем считываются и обрабатываются программой измерения.

Устройство формирования измерительных импульсов (см. рис. 3) производит усиление и нормализацию сигналов импульсов измерения. Сигнал с фотодатчика 1, расположенного в плоскости эталонного положения равновесия (см. также поз. 18 на рис. 2, а), и сигнал с фотодатчика 2 (см. также поз. 19 на рис. 2, а), расположенного рядом, асимметрично к фотодатчику 1, поступают на соответствующие усилители-преобразователи 3 и 4, усилители формируют амплитуду и крутизну сигналов, необходимые для сопряжения с цифровыми уровнями портов ввода компьютера.

Сигналы с выходов усилителей-преобразователей 3 и 4 (см. рис. 3) далее подаются на электрический разъем 6 и через него на двоичные разряды PA1 и PA2 8-битовой секции PA параллельного порта компьютера.

Сигналограмма импульсов, снимаемых с выходов фотодатчиков и усилителей-преобразователей, представлена на рис. 4.

Измерение временных интервалов колебаний системы производится программным способом путем подсчета числа циклов сканирования состояния двоичного разряда PA1 порта PA. Разряд PA2 при этом дает информацию о направлении колебания и служит для определения знака вектора дисбаланса. Блок-схема алгоритма программы измерения статического дисбаланса времяимпульсным способом представлена на рис. 5.

Весь программный алгоритм логически можно разделить на три части (три группы блоков алгоритма), каждая из которых выполняет свое определенное назначение, а именно: подготовку к измерению, собственно измерение и обработку результата измерения.

Первая группа, образованная блоками 2–6 программного алгоритма, предназначена для предварительной подготовки к процедуре измерения дисбаланса. Здесь производится поиск первого фронта

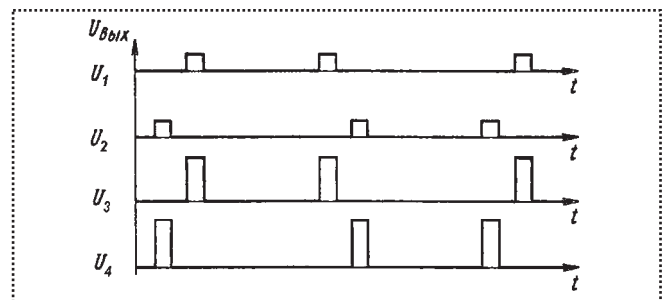


Рис. 4. Сигналограмма импульсов измерения

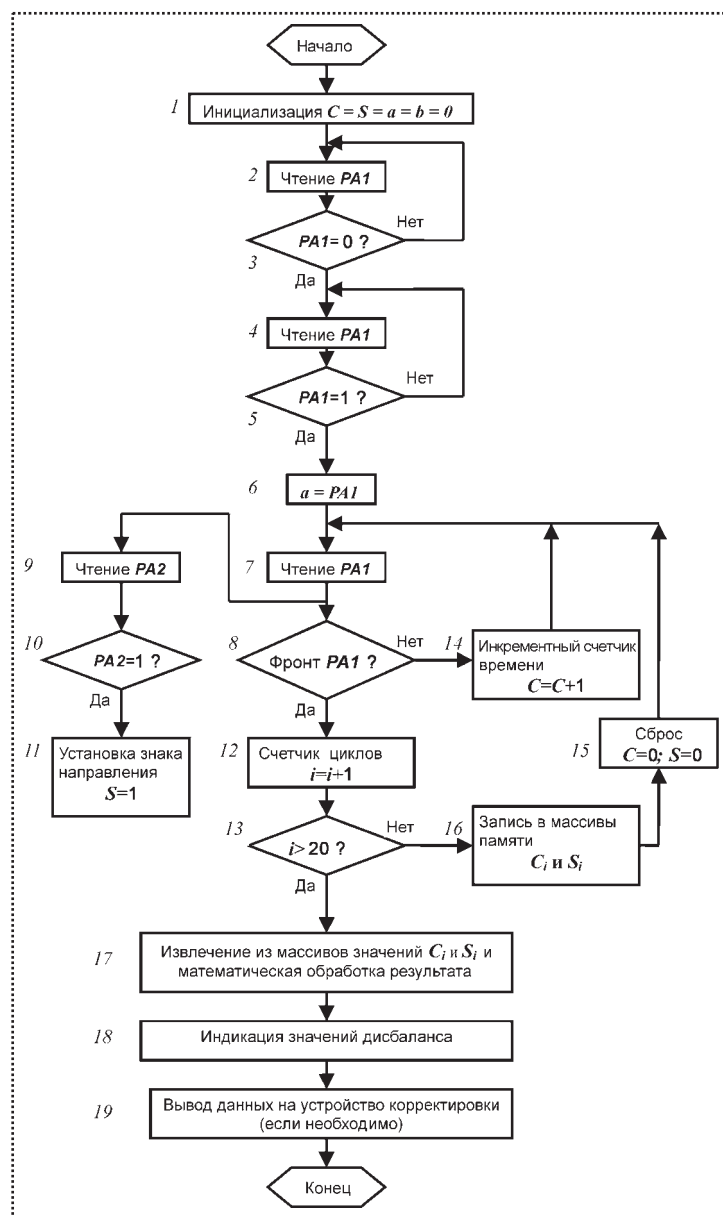


Рис. 5. Блок-схема программы измерения

цифрового импульса, принимаемого от фотодатчика измерения периодов колебаний (см. поз. 18 на рис. 2, а). По фронту этого импульса, т.е. по моменту перехода значения от логического нуля к логической единице, будет запущен цикл измерения периодов колебаний, или вторая часть алгоритма.

Вторая часть алгоритма образована блоками 7–16 (см. рис. 5), осуществляющими цикл отсчета периодов следования цифровых импульсов и фиксирование в памяти значений отсчетов.

Посредством инкрементного счетчика времени 14 измеряется полупериод колебаний изделия, т.е. интервал между двумя прохождениями флажка оправки через фотодатчик отсчета (см. поз. 18 на рис. 2, б).

Блоки 9–11 (см. рис. 5) служат для считывания состояния второго фотодатчика (см. поз. 19 на рис. 2, б), отражающего направление отсчетов колебаний. При наличии этого сигнала устанавливается признак направления ($S = 1$). Второй программный счетчик 12 (см. рис. 5) с блоком сравнения 13 производит отсчет 20 измерительных циклов счетчика 14, что соответствует десяти периодам колебаний изделия. Кроме того, блоки 12 и 13 управляют записью данных в память компьютера и сбросом/запуском измерительного счетчика 14.

Третья группа блоков алгоритма (17–19) производит математическую обработку результатов измерений, сохраненных в памяти компьютера, индикацию результатов вычислений, расчета значений масс для корректировки и, наконец, вывод управляющего сигнала на механизм коррекции массы (если он имеется).

В данном алгоритме важными программными переменными являются:

C – сумма циклов инкрементного счетчика времени, отражающая в числовом виде значение полупериода колебания изделия;

S – флаг (показатель) направления дисбаланса, соответствующий определенной переменной C и показывающий, что данный счет полупериода относится к определенному (левому) отклонению колебательной системы;

a и b – переменные, отражающие состояние двоичного разряда $PA1$ параллельного порта ввода. Эти две переменные служат для определения фронта импульса, т.е. момента перехода импульса с логического нуля к логической единице за счет того, что переменная b содержит состояние порта текущего цикла сканирования, а переменная a – состояние порта, которое было при предыдущем цикле. Если выполняется условие $b = 1$ и $a = 0$, то это означает присутствие фронта импульса, и с этого момента начинается отсчет периода колебаний системы.

Блок-схема алгоритма программы измерения балансировочного устройства работает следующим образом.

В начале измерительного цикла производится инициализация переменных путем установки их в нулевое состояние, что отражено в блоке 1 алгоритма.

Далее запускается программный цикл непрерывного опроса состояния разряда $PA1$ параллельного порта с целью определения момента перехода цифрового сигнала от нуля к единице. Данные циклы отражены в алгоритме как обратная связь, идущая от схем сравнения 3 и 5 к программным блокам считывания 2 и 4. Блоки 2 и 3 фиксируют нулевое состояние сигнала.

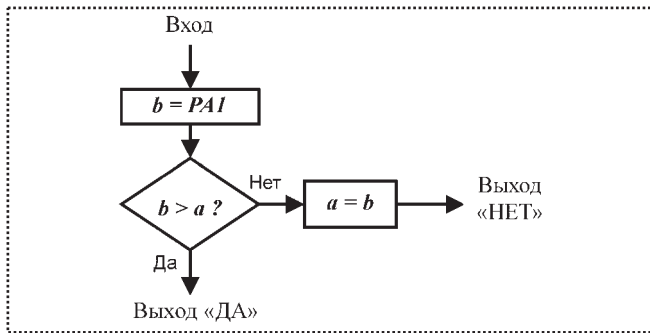


Рис. 6. Блок сравнения

ла, блоки 4 и 5 фиксируют момент появления логической единицы.

Таким образом, посредством программных блоков 2–5 (первая группа блоков) осуществляется поиск импульса интервалов времени и определяется момент начала отсчета первого и последующих периодов колебаний системы. Момент начала отсчета соответствует фронту импульса, принятого от двоичного разряда *PA1* порта ввода.

По этому фронту запускается цикл измерения времени для полупериода колебаний, образованный элементами 7, 8 и 14 блок-схемы. Этот цикл производит непрерывный опрос разряда *PA1* порта ввода с одновременной инкрементацией (возрастанием значения) инкрементного счетчика времени 14.

Кроме того, при каждом отсчете полупериода через блоки 9–11 считывается состояние второго фотодатчика, отражающего направление отсчетов колебаний, и при наличии сигнала *PA2* устанавливается признак направления ($S = 1$).

Блок сравнения 8 осуществляет поиск фронта входного импульса, т.е. определяет переход уровня входного сигнала *PA1* с нуля в единицу, что означает начало нового цикла отсчета полупериода колебаний.

Особенностью блока сравнения 8 является то, что он сравнивает текущее значение сигнала измерения *PA1* (переменная *b*) с предшествующим (переменная *a*), т.е. тем значением, которое было в предыдущем цикле измерения. По этому принципу находится момент положительного перехода значения сигнала, или фронт импульса.

Более развернутая схема блока сравнения 8 дана на рис. 6. Переменная *a* содержит состояние разряда порта *PA1* при предыдущем цикле его опроса. Переменная *b* содержит текущее значение *PA1*. Если неравенство $b > a$ не выполняется (т.е. фронт импульса не обнаружен), то значение *b* переписывается в переменную *a* и цикл счета повторяется.

При наличии признака фронта сигнала *PA1* (условие $b > a$ выполняется) включаются в работу блоки 12, 13, 15 и 16 (см. рис. 5).

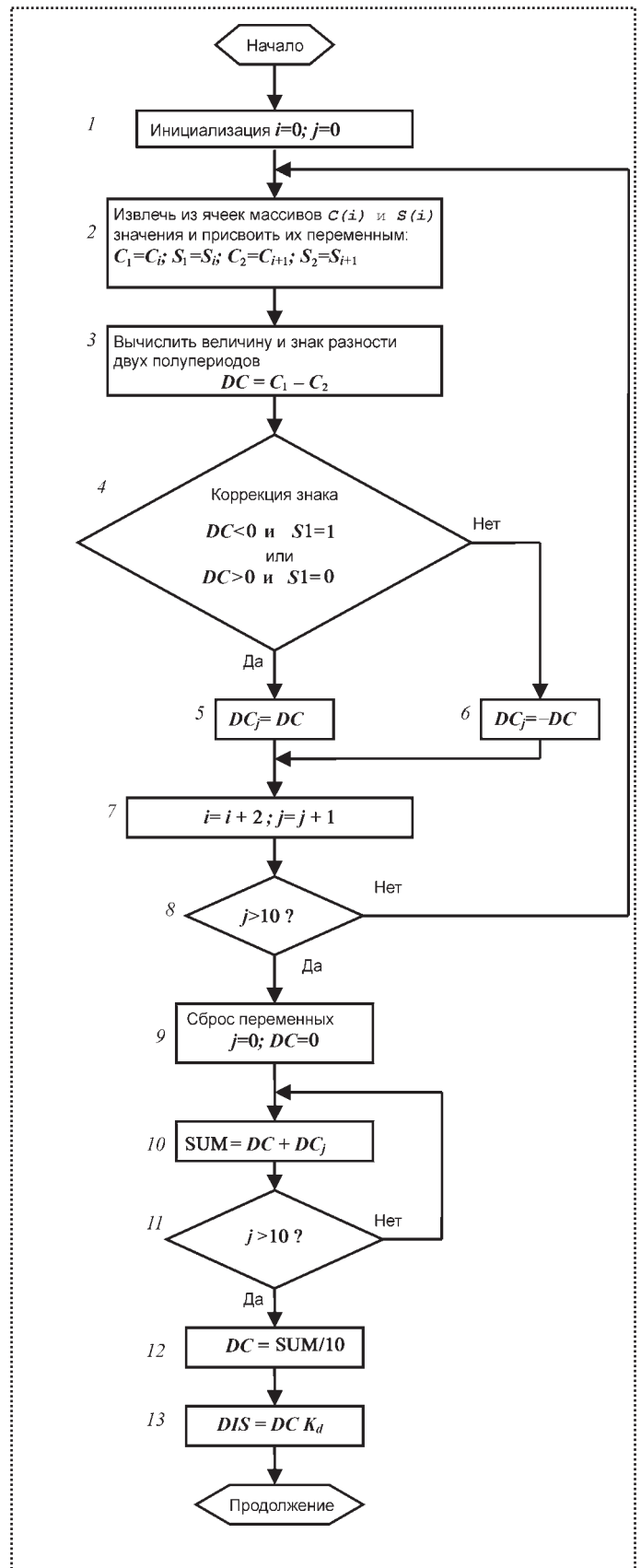


Рис. 7. Блок математической обработки



Второй программный счетчик циклов 12 и блок сравнения 13 производят суммирование и контроль числа пройденных циклов инкрементного счетчика времени 14, при этом в блоке 16 записывается результат счета полупериода колебаний в ячейки массивов данных C_i и S_i и обнуление (блок 15) счетчика C и знака направления S , что приводит к перезапуску счетчика 14 и отсчету нового цикла времени.

Когда значение счетчика числа измерений 12 превысит число 20, произойдет останов всех измерительных циклов и программа перейдет к выполнению последовательно расположенных блоков 17–19, в которых будет происходить математическая обработка измерений, индикация значений и формирование информации или сигналов для корректирующих средств.

Развернутая схема блока математической обработки 17 (см. рис. 5) представлена на рис. 7.

Принцип работы этой части программного алгоритма следующий.

В процессе измерения в массивах $C(i)$ и $S(i)$ была сохранена информация о величине и направлении колебаний балансируемого изделия. Программный цикл, состоящий из десяти проходов, извлекает из массивов значения $C(i)$ и $S(i)$, вычисляет разность отсчетов полупериодов колебаний и осуществляет коррекцию знака дисбаланса в соответствии со значением направления отсчета S и арифметическим знаком, полученным в результате вычитания.

На блок-схеме алгоритма указанный цикл обозначен блоками 2–8. Сначала в блоке 1 инициализируются значения индексов и счетчиков, затем в блоке 2 извлекаются из ячеек массивов значения и присваиваются соответствующим переменным. Далее в блоке 3 производится вычитание полупериодов измерения, результатом чего является величина DC , пропорциональная дисбалансу. В блоке сравнения 4 делается коррекция знака дисбаланса из условий положительного или отрицательного значения разности DC и направления отсчета S , после чего получается окончательное значение счета DC с учетом знака дисбаланса

(блоки 5 и 6). В блоке 7 соответственно увеличиваются значения счетчика цикла i и индекса j массива переменной $DC(j)$, после чего данный цикл повторяется (блок 8) до тех пор, пока все десять значений $DC(j)$ не будут обработаны.

Далее, на основе десяти вычисленных значений разности временных интервалов, пропорциональных десяти дисбалансам, определяется среднее значение разностного интервала. При помощи блоков 9–11 производится циклическое суммирование значений разностей $DC(j)$ и результат помещается в переменную SUM , после чего делением на 10 (блок 12) получается осредненное значение разностного отсчета DC .

Наконец, умножением значения средней разности счета DC на коэффициент пропорциональности K_d между числом отсчета и значением дисбаланса (блок 13) получаем истинное значение дисбаланса DIS , измеренного вдоль начальной оси закрепления изделия.

При балансировке необходимо устранять дисбаланс путем корректировки масс изделия в горизонтальной плоскости (нормальной к плоскости эталонного положения равновесия). После балансировки (корректировки масс) изделие поворачивается на 90° и цикл измерение – балансировка повторяется.

Вывод

Технико-экономическим преимуществом предлагаемого устройства является повышение точности определения дисбаланса изделия за счет измерения как величины, так и знака дисбаланса. Кроме того, применение компьютерных технологий измерения и вычисления дисбаланса позволяет упростить и автоматизировать процесс балансировки за счет возможности подключения корректирующих механизмов, в результате чего возрастает производительность технологического процесса статической балансировки изделий.

Библиографический список

1. А. С. СССР № 1528104, Кл.01 М1/10. Устройство для статической балансировки изделий. 1988.

УДК 621.757:519.87

А.Г. Кесоян, инженер, С.А. Коцюба, студент
(Волгоградский государственный технический университет)
E-mail: app@vstu.ru

Влияние точности сортировки деталей на эффективность прецизионной сборки

Рассмотрено влияние погрешности измерения прецизионных деталей на точностные и количественные показатели сборки. Проведен анализ причин неверной рассортировки деталей и произведена ее количественная оценка. Представлены зависимости, определяющие долю брака сортировки и собираемость прецизионных соединений. Предложено использование результатов исследований для прогнозирования достижимых результатов.

Considered influence of measurement error of precision details on accuracy and quantity parameters of assembly. Analyzed cause of incorrect sorting of details and made its quantity evaluation. Presented the dependencies determining part of defect of sorting and assemblability of precision compound. Suggested using results of researches for predicting reachable results.

Ключевые слова: прецизионная сборка, сортировка, деталь, селективная группа, собираемость, качество, распределение, погрешность.

Keywords: precision assembly, sorting, detail, selective group, assemblability, quality, distribution error.

При использовании метода групповой взаимозаменяемости для сборки прецизионных изделий детали сортируют на размерные группы, величина которых составляет мироны, и комплектуют в соединения. Погрешность измерения деталей при сортировке, достигающая 40 % группового допуска согласно ГОСТ 8.051–81 для малых квалитетов, приводит к неверной оценке достижимых результатов сборки. Такое явление возникает при измерении деталей, размеры которых находятся на границе групповых допусков. Для определения влияния данного негативного фактора рассмотрим вероятность погрешности аттестации размера детали и, соответственно, неверного определения номера селективной группы, в которую попадает деталь.

Для оценки погрешности δ измерения на собираемость P_c и на вероятность $P_{бр}$ образования соединений с недопустимым размером замыкающего звена

проведены исследования при нормальных законах распределения размеров сопрягаемых деталей в партиях и погрешностей измерения. Это соответствует стабильным и устойчивым условиям процессов изготовления деталей.

Введем допущение, что распределение размеров в селективных группах является равномерным. Тогда в результате сортировки деталей рассеивание размеров в группах можно представить композицией нормального и равновероятного законов. Композиция плотностей вероятности $f_b(x)$ и $f_o(x)$ размеров x соответственно валов и отверстий во втулках в соседних группах (№ 3 и № 4) с учетом погрешности δ измерения, равной погрешности сортировки, представлена на рис. 1.

Под влиянием погрешности сортировки измеренные размеры некоторых деталей, располагающихся у границ групповых допусков, выходят за их пределы и составляют некоторую долю $P_{бр}$ брака сортировки. Ее величину определяет площадь под композиционными кривыми за пределами групповых допусков. Например, часть композиционно распределенных в 3-й группе валов $f_{в3}(x)$ и отверстий $f_{о3}(x)$ попадает в соседние группы № 2 и 4, а из группы № 4 детали, имеющие распределение $f_{в4}(x)$ и $f_{о4}(x)$ – в соседнюю группу № 3.

Для оценки влияния погрешности δ измерения на число неверно рассортированных деталей произведен расчет доли $P_{бр}$ брака сортировки в зависимости от относительной погрешности измерения $\delta_{отн} = \delta / T_{гр}$, где $T_{гр}$ – величина группового допуска. Результаты расчета представлены в таблице.

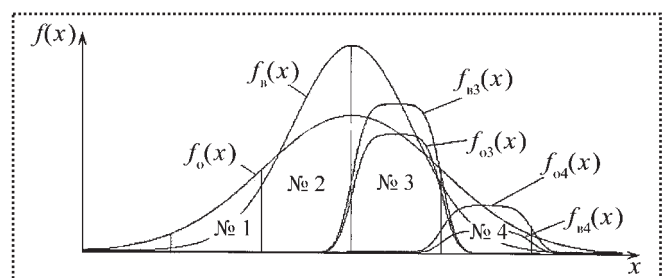


Рис. 1. Распределение размеров в селективных группах сопрягаемых деталей

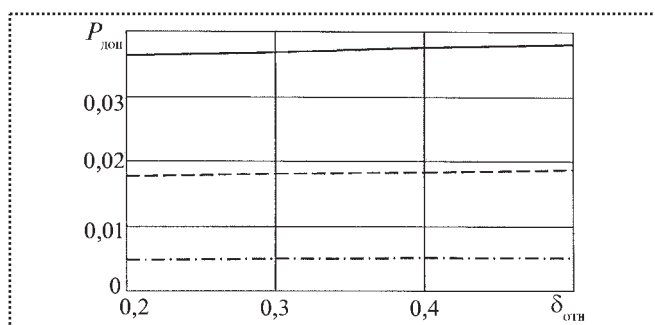


Рис. 2. Зависимость дополнительной собираемости $P_{\text{доп}}$ прецизионных соединений от относительной погрешности $\delta_{\text{отн}}$ измерения при различной относительной точности k_T изготовления сопрягаемых деталей:

..... — $k_T = 1,1$; ---- — $k_T = 1,5$; — — — — $k_T = 2,4$

Так как наблюдается хорошая сходимость результатов (отличие не превышает 7 %), то предложенный метод можно использовать для определения доли брака при сборке прецизионных соединений.

Погрешность измерения, как видно из рис. 1, приводит к перераспределению числа деталей в соседних группах, которая может как увеличиваться, так и уменьшаться. Соответственно, такое перераспределение отражается на собираемости $P_{\text{доп}}$ соединений.

Расчеты показывают, что число соединений под влиянием брака сортировки увеличивается незначительно, поэтому для наглядности на рис. 2 представлены зависимости дополнительной собираемости $P_{\text{доп}}$ от относительной погрешности $\delta_{\text{отн}}$ измерения.

Изменение дополнительной собираемости рассмотрено:

- при почти одинаковой точности изготовления сопрягаемых деталей ($k_T = 1,1$, посадка 6H7/j₅7);
- при разности допусков в один квалитет ($k_T = 1,5$, посадка 6H7/j₅6) и в два квалитета ($k_T = 2,4$, посадка 6H7/j₅5). Коэффициент k_T является отношением допусков на размеры отверстия и вала.

Так как при одинаковых допусках в соседние группы переходит равное число деталей и изменения собираемости не происходит, то для анализа поведения собираемости принято $k_T = 1,1$ вместо $k_T = 1,0$, рекомендуемого ГОСТ 25347–82. Как видно из рис. 2, с увеличением погрешности измерения при любом значении k_T наблюдается рост числа дополнительно

Зависимость доли $P_{\text{бр}}$ брака при сортировке деталей от относительной погрешности измерения $\delta_{\text{отн}}$ при расчете различными методами

Расчет неверной рассортировки деталей	Относительная погрешность $\delta_{\text{отн}}$ измерения, %			
	0,2	0,3	0,4	0,5
При композиции	5,46	7,52	11,040	13,30
По формуле $P_{\text{бр}} = 0,8 \sigma_n / T_{\text{гр}}$	5,33	8,00	10,667	13,33
По ГОСТ 8.051–81	5,15	7,90	10,775	13,88

собираемых соединений, причем их число повышается с увеличением k_T .

Выводы

Проведенные исследования позволили установить, что погрешности измерения деталей оказывают некоторое влияние на количественные показатели прецизионной сборки. Так, с ростом относительной погрешности $\delta_{\text{отн}}$ измерений, как правило, увеличивается собираемость прецизионных соединений из партий деталей, поступающих на комплектование. Полученные результаты позволяют оценивать влияние погрешности сортировки на эффективность прецизионной сборки и их можно использовать для прогнозирования достижимых результатов при комплектовании прецизионных деталей, что позволит обеспечить эффективную организацию сборки высокоточных соединений.

Библиографический список

1. Кесоян А.Г., Рабинович Л.А., Матюхин Д.В. Исследование точности прецизионной сборки методом статистических исследований // Автоматизация технологических процессов в машиностроении: межвуз. сб. науч. тр. Волгоград: ВолгГТУ, 2003. С. 46–51.
2. Кесоян А.Г., Рабинович Л.А., Кобзев Н.В. Исследование влияния погрешности измерения деталей на собираемость прецизионных соединений // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 8 (56). Волгоград: ВолгГТУ, 2009. С. 92–98.

УДК 656.33

И.Х. Хайруллин, Ф.Р. Исмагилов, д-ра техн. наук, В.Е. Вавилов, аспирант
(Уфимский государственный авиационный технический университет)
E-mail: s2_88@mail.ru

Математическая модель бесконтактного аэродинамического транспортного средства

Показано решение задачи разработки математической модели и определения динамических характеристик бесконтактного транспортного средства. Разработана имитационная компьютерная модель, позволяющая исследовать динамические характеристики бесконтактных транспортных средств.

Solve the problem of the mathematical model and determination of dynamic characteristics of the proximity of the vehicle is shown. A simulation model, which allows to explore the dynamic characteristics of the contactless vehicles is developed.

Ключевые слова: бесконтактное транспортное средство, аэродинамическое транспортное средство, Matlab Simulink.

Keywords: non-contact vehicle, aerodynamic vehicle, Matlab Simulink.

Развитие высокоскоростных перевозок обеспечит улучшение транспортных связей, создаст более привлекательные условия для пассажиров, повысит комфортность и безопасность перевозок, сократит время в пути. Все это позволит привлечь, к примеру, на железнодорожный транспорт дополнительный пассажиропоток, сократить убыточность пассажирских перевозок и негативное воздействие транспорта на экологию.

Основным препятствием повышения скорости передвижения транспортных средств (ТС) является проблема трения между динамически подвижными узлами ТС и магистралью [1].

Решением данной проблемы является применение бесконтактных ТС (БТС): на магнитном подвесе или на газовой подушке. Перспективным направлением развития является применение аэродинамических БТС, в которых в качестве энергии для подвеса и перемещения используется энергия воздуха.

Для анализа необходимых мощностей потока и динамических характеристик системы управления аэродинамических БТС важно разработать многодисциплинарную математическую модель механических,

электромеханических и аэродинамических процессов БТС.

Для решения поставленной задачи аналитически-методами рассмотрим аэродинамическое БТС (АБТС), расчетная схема которого представлена на рис. 1.

В работе ввиду сложности расчетов используются обычные при решении такого класса задач допущения:

1) толщина стенки сопла много меньше его отверстия, $D_c \approx d_c$, где D_c – наружный диаметр сопла; d_c – диаметр отверстия сопла;

2) перемещение объекта осуществляется по двум координатам x и y , угловые перемещения и перемещения по оси z отсутствуют;

3) радиусы кривизны дна АБТС значительно больше зазора между полотном и платформой.

Движение АБТС в декартовой системе координат принимается в виде [2]:

$$\sum F_x = \frac{d^2 x}{dt^2} m_{ТС}; \quad (1)$$

$$\sum F_y = \frac{d^2 y}{dt^2} m_{ТС}, \quad (2)$$

где $\sum F_x$, $\sum F_y$ – сумма сил в направлении осей X и Y соответственно;

x , y – перемещение по осям Y и X соответственно;

t – время;

$m_{ТС}$ – масса платформы ТС.

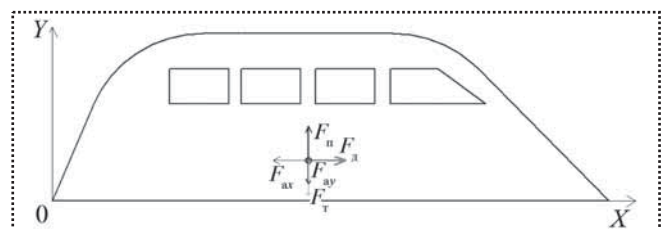


Рис. 1. Силы, действующие на АБТС:

F_{ax} – сила сопротивления воздуха в направлении оси x ; F_d – сила, под действием которой АБТС приводится в движение; F_n – подъемная сила; F_{ay} – сила сопротивления воздуха в направлении оси y ; F_T – сила тяжести

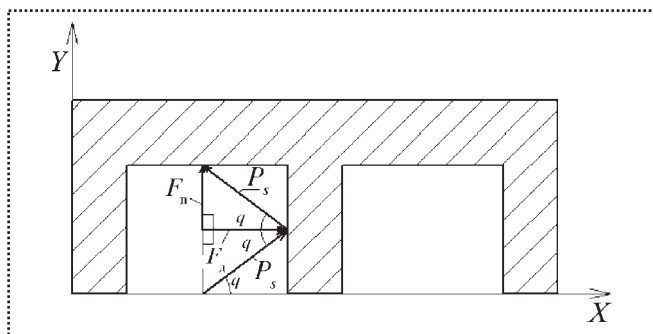


Рис. 2. Ш-образные направляющие

Баланс сил по осям X и Y определяется из формул:

$$\sum F_x = F_d - F_{ax}; \quad (3)$$

$$\sum F_y = F_n - F_{ay} - F_T, \quad (4)$$

где F_{ax} – сила сопротивления воздуха в направлении оси X ;

F_d – сила, под действием которой АБТС приводится в движение;

F_n – подъемная сила;

F_{ay} – сила сопротивления воздуха в направлении оси Y ;

F_T – сила тяжести.

На дне АБТС установлены Ш-образные направляющие, основной задачей которых является разделение сил, вызванных действием потока воздуха, на подъемную и движущую составляющие (рис. 2).

С учетом рис. 2, подъемную силу F_n и силу F_d , под действием которой АБТС приводится в движение, определяют выражениями:

$$F_d = P_s \sin q; \quad (5)$$

$$F_n = P_s \cos q, \quad (6)$$

где P_s – сила напора воздуха из сопла;

q – угол поворота сопла.

Сила напора из сопла принимается в виде [3]:

$$dP_s = S_{эф} (p_2 - p_1) (1 + k\mu^2 \varepsilon^2) \cos q dq, \quad (7)$$

где $S_{эф}$ – эффективная площадь дна платформы, на которую оказывает воздействие струя потока из сопла, принимается равной площади отверстия сопла, с

учетом допущения 1, $S_{эф} = \frac{\pi d_c^2}{4}$;

p_2 – давление на выходе из сопла;

p_1 – давление на входе в пневмотрубу;

k, μ, ε – коэффициенты, зависящие от геометрии проточности сопла;

q – угол наклона сопла [3].

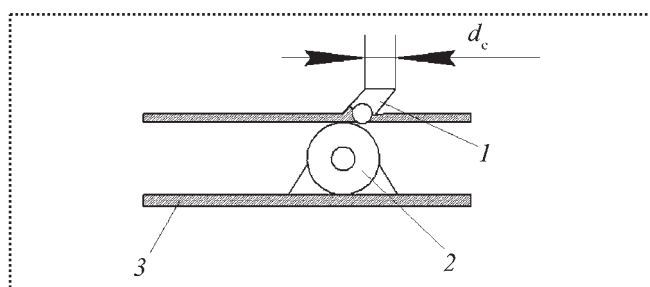


Рис. 3. Система управления АБТС:

1 – сопло; 2 – управляющий элемент; 3 – пневмотруба

С учетом допущения 3 выражение (7) примет вид:

$$P_s = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\pi d_c^2}{4} (p_2 - p_1) (1 + k\mu^2 \varepsilon^2) \cos q dq \quad (8)$$

или, учитывая пределы интегрирования,

$$P_s = \frac{\pi d_c^2}{2} (p_2 - p_1) (1 + k\mu^2 \varepsilon^2) \cos q. \quad (9)$$

Система управления АБТС представляет собой сопла 1 (рис. 3), механически соединенные с управляющими элементами 2, в качестве которых могут выступать электродвигатели или электромагниты.

Математическая модель, определяющая угол поворота сопла в зависимости от исполнения на управляющем элементе, имеет вид [4]:

$$J \frac{d^2 q}{dt^2} + C \frac{dq}{dt} + k_u q = k_i i; \quad (10)$$

$$L \frac{di}{dt} + k_e \frac{dq}{dt} + Ri = u, \quad (11)$$

где J – момент инерции сопла;

k_u – коэффициент упругости;

C – коэффициент вязкого трения в подшипниках;

k_i – коэффициент, зависящий от момента управляющего элемента;

i – сила тока в управляющем элементе;

L – индуктивность катушки управляющего элемента;

k_e – скоростной коэффициент управляющего элемента;

R – сопротивление катушки;

u – напряжение на катушке управляющего элемента.

Сопло принимается в виде стержня диаметром, равным d_c , тогда момент инерции [5]

$$J = \frac{ml^2}{3}, \quad (12)$$

где m – масса сопла;

l – длина сопла.

С учетом допущения 1

$$m = \rho \frac{\pi d^2}{4} l, \quad (13)$$

где ρ – плотность материала сопла.

Тогда выражение (12) примет вид

$$J = \rho \frac{\pi d^2}{12} l^3. \quad (14)$$

С учетом формулы (9)

$$J = \frac{\rho P_s^3}{3(p_2 - p_1)(1 + k\mu^2 \varepsilon^2)}. \quad (15)$$

С учетом выражений (3), (4), (10), (11) и (15) определяют систему нелинейных дифференциальных уравнений, взаимосвязано описывающих механические, электромеханические и аэродинамические процессы в АБТС:

$$P_3 \gamma \frac{d^2 q}{dt^2} + C \frac{dq}{dt} + k_u q = k_i i; \quad (16)$$

$$L \frac{di}{dt} + k_e \frac{dq}{dt} + Ri = u; \quad (17)$$

$$m_{тс} \frac{d^2 x}{dt^2} = F_d - F_{ax}; \quad (18)$$

$$m_{тс} \frac{d^2 y}{dt^2} = F_n - F_{ay} - F_{\tau}, \quad (19)$$

$$\text{где } \gamma = \frac{\rho l^3}{3(p_2 - p_1)(1 + k\mu^2 \varepsilon^2)}.$$

Выражения (16)–(19) являются многодисциплинарной математической моделью, описывающей механические, электромеханические и аэродинамические процессы АБТС.

Ввиду сложности анализа, по представленным выражениям (16)–(19) целесообразно разработать компьютерную модель, позволяющую исследовать динамические и статические процессы АБТС [5]. Для этого необходимо представить выражения (16)–(19) в операторном виде.

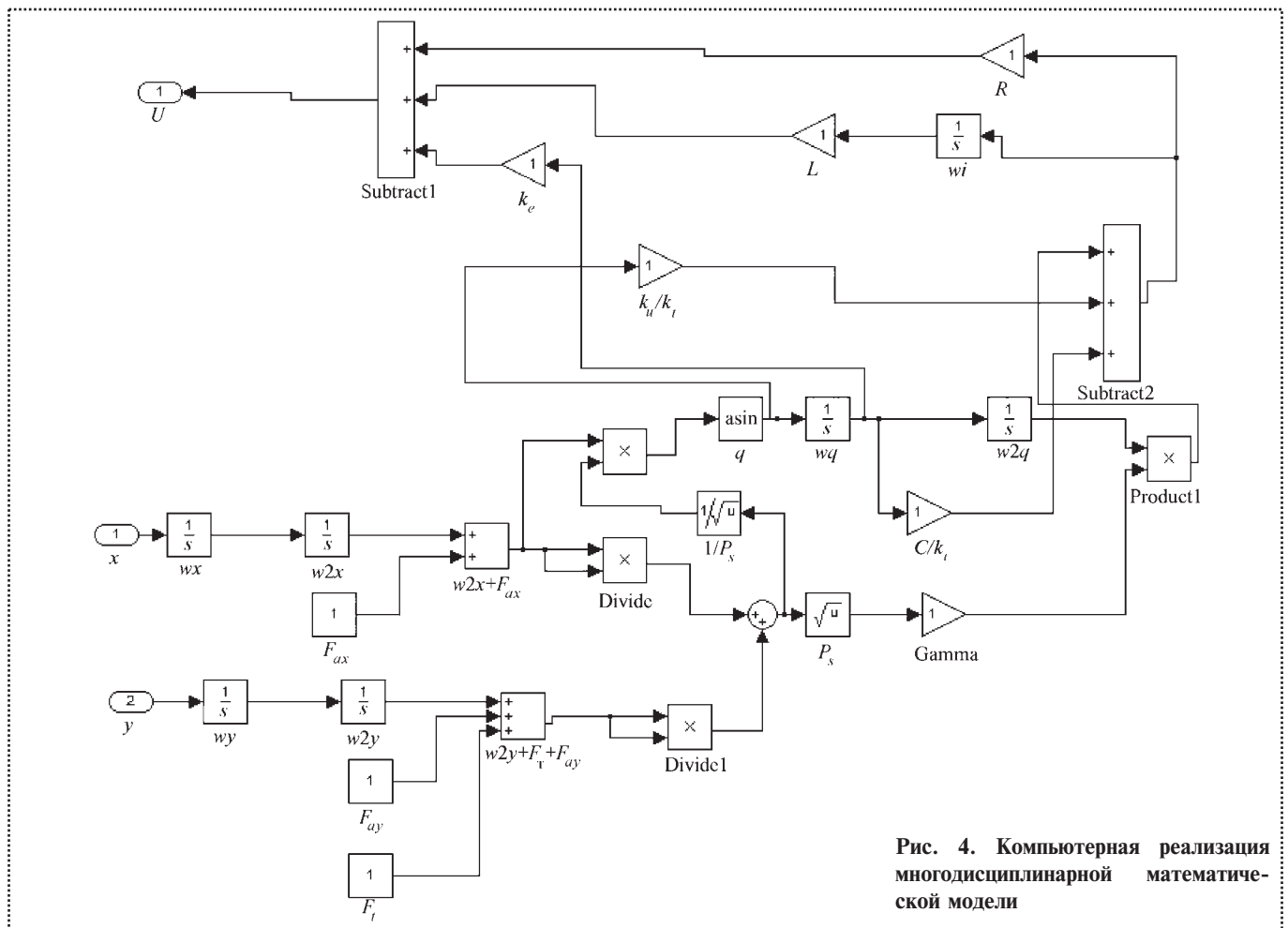


Рис. 4. Компьютерная реализация многодисциплинарной математической модели

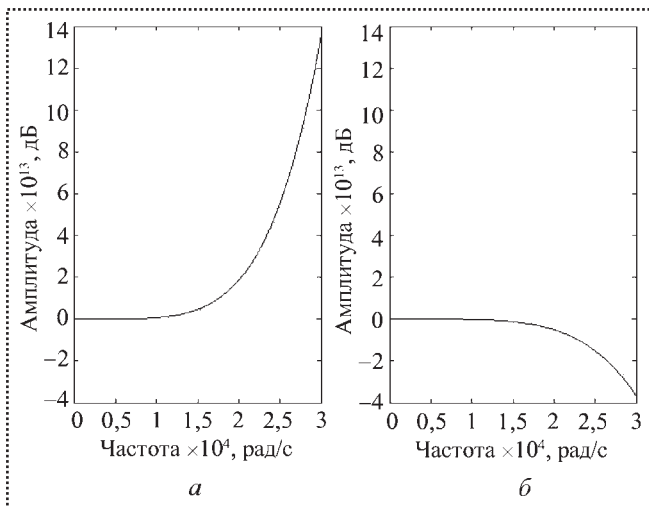


Рис. 5. Реакция системы управления АБТС на единичное ступенчатое воздействие:

a – канал *x*; *б* – канал *y*

Операторное представление (16)–(19) запишется в виде:

$$i = \frac{P_s \gamma}{k_t} w^2 q + \frac{C}{k_t} w q + \frac{k_u}{k_t} q; \quad (20)$$

$$u = L w i + k_e w q + R i; \quad (21)$$

$$\frac{P_s \sin q}{m_{тс}} = w^2 x + \frac{F_{ax}}{m_{тс}}; \quad (22)$$

$$\frac{P_s \cos q}{m_{тс}} = w^2 y + \frac{F_{ax} + F_T}{m_{тс}}, \quad (23)$$

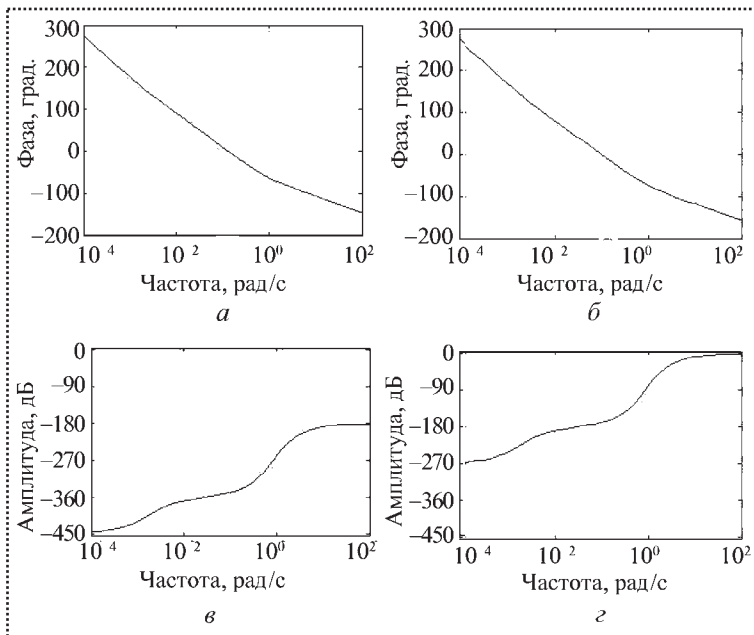


Рис. 6. Реакция системы управления АБТС на единичное импульсное воздействие:

a и *в* – канал *x*; *б* и *г* – канал *y*

где $w = \frac{d}{dt}$ – оператор дифференцирования.

На рис. 4 представлена разработанная по выражениям (20)–(23) симуляционная компьютерная модель в программном комплексе Matlab Simulink.

На представленной компьютерной модели входными сигналами являются перемещение (*x*, *y*), поступающие с датчика положения платформы, выходным сигналом – напряжение на управляющем элементе (*u*).

Для теоретической проверки и анализа разработанной симуляционной модели были проведены численные исследования динамических характеристик путем линеаризации с использованием следующих данных: $F_{ax} = 300$ Н; $F_{ay} = 100$ Н; $F_T = 1000$ Н; $k_u = 35$ Н·м; $C = 0,3$ Н·м·с; $k_e = k_l = 0,4$ (Н·м)/А; $L = 0,01$ Гн; $R = 0,56$ Ом. Результаты численных расчетов для каналов *x* и *y* представлены на рис. 5 и 6.

Анализ динамических характеристик разработанной симуляционной модели показал работоспособность модели. Из представленных зависимостей видно, что как при импульсном, так и при ступенчатом изменениях *x* и *y* изменяется напряжение на управляющем элементе и, как следствие, угол поворота сопла.

Многодисциплинарная математическая модель бесконтактного аэродинамического транспортного средства позволяет исследовать и разрабатывать системы управления аэродинамическим транспортным средством. На основе данной математической модели реализована компьютерная симуляционная модель. К достоинствам разработанной симуляционной модели можно отнести то, что возможна ее практическая реализации посредством пакета Real Time.

Полученные результаты могут быть использованы на практике при проектировании и разработке аэродинамического транспортного средства.

Библиографический список

1. Распоряжение № 1701 от 2.08.2011 ОАО "РЖД" "О создании рабочей группы по формированию технологической платформы "Высокоскоростной интеллектуальный железнодорожный транспорт". URL: www.rzd-expo.ru.
2. Маркеев А.П. Теоретическая механика: учеб. пособие. М.: Наука, 1990. 414 с.
3. Макарьянц Г.М., Свербилов В.Я., Макарьянц М.В., Батракова О.В. Расчет подъемной силы газового потока в плоском предохранительном клапане с использованием численных методов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 4.
4. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. СПб.: КОРОНА-Век, 2008. 368 с.
5. Веретенников В.Г. Теоретическая механика. Вывод и анализ уравнений движения на ЭВМ: учеб. пособие / Под ред. В.Г. Веретенникова. М.: Высшая школа, 1990. 175 с.



УДК 621.88:658.589

В.В. Шевелев, канд. техн. наук (Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьёва)
E-mail: v.shewelev2011@yandex.ru

К вопросу поиска оптимальных условий при проектировании групповых болтовых соединений при действии внешней силы в плоскости стыка

Критерием оптимизации групповых болтовых соединений при действии внешней силы в плоскости стыка является обеспечение равных суммарных нагрузок на каждый болт, что обуславливает повышение эффективности сборки и технологичности соединений.

На примере проектирования группового болтового соединения с тремя болтами показан алгоритм поиска оптимальных условий работы при одновременном действии внешней сдвигающей силы и вращающего момента на соединение.

The criterion for optimization of group bolted joints under external force action on the interface surface is provision for regular loads on each bolt, which conditions increase of assembly efficiency and joint manufacturability.

By example of group bolt joint design with three bolts the algorithm to search for optimal conditions of work under simultaneous external force and torque action on the joint has been shown.

Ключевые слова: групповое болтовое соединение, площадь стыка, внешняя сила, внешний вращающий момент, сила сдвига, сила реакции на сдвиг, сила реакции на вращающий момент, суммарная реакция, алгоритм поиска условий оптимизации, метод хорд, трансцендентное уравнение, критерий оптимизации, управляемая переменная величина, зависимая переменная величина.

Keywords: group bolted joint, joint area, external force, external torque, displacement force, reaction to displacement, reaction to torque, total reaction, algorithm to search for optimization conditions, chord method, transcendent equation, optimization criterion, controlled variable, dependent variable.

В механических системах разного назначения применяют групповые болтовые соединения (ГБС), находящиеся при работе под нагрузкой, когда внешняя сила сдвигает детали в стыке. На болты одновременно могут действовать сила сдвига и вращающий момент [1]. При этих условиях суммарная нагрузка каждого болта равна геометрической сумме соответствующих

сил реакций, возникающих при сдвигающем усилии и вращающем моменте. Например, суммарная нагрузка первого болта $\vec{F}_{\Sigma 1}$ показана на рис. 1, а. При сборке таких соединений затяжку всех болтов выполняют ключом предельного момента, определяемого по наибольшей суммарной силе реакций. На практике меньшие суммарные нагрузки не учитывают. В зависимости от числа болтов в соединении соотношения размеров между рядами болтов, их расположения относительно линии действия внешней силы и ее направления суммарные реакции в болтах могут отличаться существенно. Например, в соединениях при действии равных внешних силовых факторов, но при разном числе и расположении болтов разность суммарных нагрузок относительно максимальной составляет: 20 % (рис. 1, б); 50 % (рис. 1, в) и 60 % (рис. 1, г). Учет этой разницы при сборке будет обуславливать применение разных крепежных деталей и переналадке ключа предельного момента. Очевидно, это нерациональный вариант.

В данной статье предложен другой вариант. На стадии проектирования ГБС следует проводить поиск оптимальных геометрических параметров расположения болтов, при которых суммарные нагрузки на них во время работы были бы равными. За критерий оптимальности принимают разность значений суммарных реакций на максимально и минимально нагруженных болтах. Достаточно близкое к нулю значение критерия будет решением поставленной задачи.

Поиск оптимальных условий при решении этой проектной задачи представляет научный и практический интерес. Такая же проблема актуальна и для заклепочных соединений, работающих при аналогичных условиях.

На примере ГБС с тремя болтами рассмотрим алгоритм поиска геометрических параметров, при которых все болты будут нагружены равномерно. Постоянными исходными параметрами принимают:

- фигуру площади стыка – треугольник 123 (рис. 1, д);
- внешнюю силу \vec{Q} , вектор которой направлен вертикально вниз справа от площади стыка;

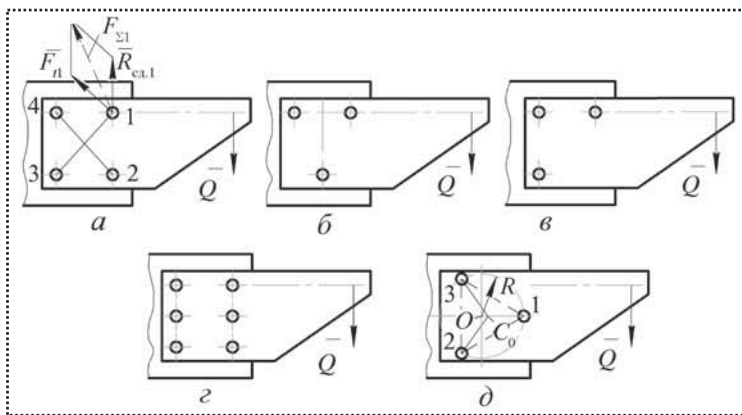


Рис. 1. Примеры расположения отверстий под болты на плоскости стыка в групповых болтовых соединениях

- вращающий момент $M_{(C_0)}(\bar{Q})$ относительно центра тяжести (точка C_0) площади стыка;

- радиус R описанной окружности треугольника.

Применив метод проб с расчетом соединений при заданных условиях с разными вписанными и по-разному расположенными треугольниками, находят вариант, при котором разность между наиболее и менее нагруженными болтами минимальная. Этому условию соответствует равносторонний треугольник при параллельном расположении его стороны 23 линии действия внешней силы \bar{Q} и равных между собой суммарных реакций болтов 2 и 3. Учитывая наилучшее положение соединения, дальнейшие шаги поиска оптимальных условий продолжают при трансформировании фигуры площади стыка в равнобедренные треугольники. Для этого единственным управляемым переменным параметром становится угол φ_n (рис. 2). Все другие необходимые для выполнения расчета соединения геометрические и силовые параметры будут функционально зависимыми от этого угла. Выполнив необходимые преобразования, получают следующие трансцендентные уравнения:

$$\alpha_n = \arctg \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{\sin \varphi_n} + \text{ctg} \varphi_n \right) \right];$$

$$\gamma_n = \arctg \left(\frac{3 \sin \varphi_n}{1 + \cos \varphi_n} \right);$$

$$\beta_{2n} = \beta_{3n} = 180^\circ - \gamma_n = 180^\circ - \arctg \left(\frac{3 \sin \varphi_n}{1 + \cos \varphi_n} \right);$$

$$r_{1n} = \frac{2}{3} R (1 + \cos \varphi_n); \quad r_{2n} = r_{3n} = \frac{R (1 + \cos \varphi_n)}{3 \sin \alpha_n};$$

$$F_{t1n} = \frac{\frac{2}{3} M_{(C_0)}(\bar{Q}) R (1 + \cos \varphi_n)}{\left[\frac{2}{3} R (1 + \cos \varphi_n) \right]^2 + 2 \left[\frac{R (1 + \cos \varphi_n)}{3 \sin \alpha_n} \right]^2};$$

$$F_{t2n} = F_{t3n} = F_{t1n} \frac{1}{2 \sin \alpha_n}.$$

Реакции во всех болтах на сдвиг одинаковые и равны $R_{сд} = |\bar{Q}|/z$, где z – число болтов. Значения суммарных реакций в болтах определяют по формулам:

$$F_{\Sigma 1n} = F_{t1n} + R_{сд};$$

$$F_{\Sigma 2n} = F_{\Sigma 3n} = \sqrt{R_{сд}^2 + F_{t2n}^2} + 2 R_{сд} F_{t2n} \cos \beta_{2n}.$$

После этого определяют разность суммарных реакций, принимаемой за критерий оптимальности геометрических параметров расположения болтов и являющейся зависимой переменной величиной от угла φ_n :

$$f(\varphi_n) = \Delta F_{\Sigma n} = F_{\Sigma 1n} - F_{\Sigma 3n}.$$

Изменяя значение аргумента (φ_n) и получая значения функции $f(\varphi_n)$, проводят поиск оптимальных условий работы ГБС по методу хорд [2]. Итерации продолжают до тех пор, пока не будет найдена пара по-

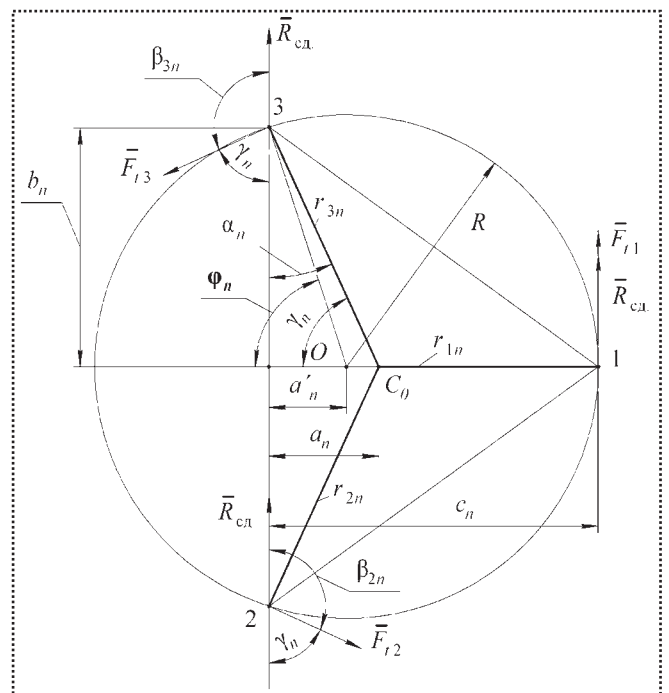


Рис. 2. Геометрические параметры расположения центров отверстий под болты 1, 2 и 3 на площади стыка и направления векторов сил реакций в болтах



следовательных значений функции $f(\varphi_n)$ и $f(\varphi_{n+1})$, имеющих противоположные знаки. В интервале между этими значениями и будет находиться функция, равная нулю при значении аргумента φ^* , которое определяют по формуле:

$$\varphi^* = \varphi_n - f(\varphi_n) \frac{\varphi_{n+1} - \varphi_n}{f(\varphi_{n+1}) - f(\varphi_n)}.$$

Это значение аргумента используют для определения значения функции $f(\varphi^*)$, которое сравнивают со значениями функций $f(\varphi_n)$ и $f(\varphi_{n+1})$. В дальнейшем значение $f(\varphi^*)$ используют вместо того из них, с которым оно совпадает по знаку. Если значение $f(\varphi^*)$ недостаточно близко к нулю, то вся процедура повторяется до тех пор, пока не будет достигнута необходимая степень сходимости $|f(\varphi^*)| \leq \varepsilon$, где ε – заранее установленная величина допустимого отклонения от критерия оптимальности.

Расчет ГБС с тремя болтами и поиск оптимальных условий на стадии проектирования показан на примере, когда исходными данными по схеме соединения (см. рис. 1, д) были:

- модуль внешней силы $|\vec{Q}| = 450$ Н;
- плечо силы относительно центра тяжести (точка C_0) площади стыка $h = 300$ мм;
- радиус описанной окружности площади стыка $R = 70$ мм;
- материал болтов – Ст3;
- коэффициент запаса прочности при растяжении болтов $[k_\sigma] = 2,0$;
- коэффициент надежности соединения при сдвиге $[s_\tau] = 1,5$;
- коэффициент трения $f_{тр} = 0,15$.

Заданные постоянные значения внешней силы, плеча и радиуса описанной окружности обуславли-

ют постоянство значений вращающего момента и силы сдвига, действующих на соединение при разных положениях центров осей второго и третьего болтов на описанной окружности:

$$M_{(C_0)}(\vec{Q}) = |\vec{Q}| h = 450 \cdot 300 = 135 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$R_{сд} = |\vec{Q}| / z = 450 / 3 = 150,0 \text{ Н}.$$

Расчеты выполняют, изменяя управляемый переменный параметр в геометрии расположения центров осей указанных болтов угол φ_n (см. рис. 2). Начальное значение этого угла выбирают после выполнения предварительных расчетов, добиваясь значения выбранного критерия оптимальности в несколько десятков ньютонов. В рассматриваемом примере начальное значение угла $\varphi_0 = 78^\circ$.

Далее проводят поиск условий оптимальности по критерию $\Delta F_{\Sigma n}$, варьируя угол φ_n через один градус. Полученные при поиске условий оптимальности основные геометрические и силовые параметры соединения приведены в таблице. Из геометрических параметров показаны расстояния от центра тяжести площади стыка до центров отверстий под первый r_{1n} и третий r_{3n} болты. Расстояние до центра второго болта равно расстоянию до третьего болта для рассматриваемой геометрии площади стыка. Показаны также предварительно определенные значения внутренних диаметров крепежной резьбы по критерию прочности материала болтов. Для первого болта этот диаметр должен быть не менее d'_{11} , для третьего – не менее d'_{13} (для второго так же, как и для третьего). По приведенным значениям диаметров резьбы по таблицам ГОСТ 8724–81 выбирают резьбу со стандартными параметрами.

Основные геометрические и силовые параметры соединения

Исходная величина φ_n , град.	Определяемые величины						
	r_{1n} , мм	r_{3n} , мм	$F_{\Sigma 1n}$, Н	$F_{\Sigma 3n}$, Н	$\Delta F_{\Sigma n}$, Н	d'_{11} , мм	d'_{13} , мм
78,0000	56,3692	74,0443	688,0794	664,3441	23,7353	10,6720	10,4863
79,0000	55,5711	74,1191	682,9928	669,2650	13,7277	10,6325	10,5251
80,0000	54,7702	74,1768	677,9846	674,2535	3,7312	10,5934	10,5642
81,0000	53,9669	74,2172	673,0548	679,3141	-6,2593	10,5548	10,6038
80,3735	54,4705	74,1939	676,1343	676,1348	-0,0004	10,5790	10,5790
80,3734	54,4705	74,1939	676,1345	676,1345	0,0000	10,5790	10,5790



Исходя из приведенных в таблице результатов при нулевом значении критерия оптимизации следует выбирать болты для сборки рассмотренного соединения с резьбой М14 с крупным шагом 2 мм, у которой внутренний диаметр резьбы по дну впадины резьбы $d_3 = 11,546$ мм. Для сравнения проведен расчет соединения без оптимизации, собранного по схеме прямоугольного равнобедренного треугольника (см. рис. 1, в) с такими же исходными данными, но при параллельном положении к линии действия силы вертикального катета. По полученным результатам расчета такого соединения по наиболее нагруженному болту ($F_{\Sigma \max} = 898,928$ Н) для его сборки следует выбирать болты с минимальным диаметром резьбы не

менее $d'_{11} = 12,2011$ мм. По таблице ГОСТ 8724–81 этому условию удовлетворяет резьба М16 с шагом 2 мм.

Вывод

Проведение на стадии проектирования поиска условий оптимизации расположения болтов в групповом соединении при действии силы в плоскости стыка повышает эффективность сборки и технологичность соединений.

Библиографический список

1. Иванов М.Н., Финогенов В.А. Детали машин. М.: Высшая школа, 2008. 408 с.
2. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. В 2-х кн. Кн. 1. Пер. с англ. М.: Мир, 1986. 352 с.

УДК 621–2.002.2; 621.81.002.2

Ю.Ф. Набатников, канд. техн. наук, профессор
(Московский государственный горный университет)
E-mail: kaftmr@msmu.ru

Моделирование сборки соединений деталей машин на ЭВМ

Рассмотрены вопросы моделирования сборки соединений деталей машин на ЭВМ. Программный комплекс позволяет моделировать сборку соединений в соответствии с основными методами обеспечения точности. Математическим моделированием определены параметры селективной сборки, обеспечивающие повышение точности соединений на один и два качества в условиях мелкосерийного производства при вероятности образования незавершенного производства равной или близкой к нулю.

In the article the issues of computer generated simulation of machine parts assembly procedure is considered. The software complex allows simulating the procedure of assembly of joints in compliance with basic methods of ensuring accuracy. By means of mathematic simulation the parameters of selective assembly are defined, which do ensure enhancement of accuracy of joints by one and two tolerance grades at small-series production with probability of unfinished goods equal or close to zero.

Ключевые слова: детали машин, соединение, точность, сборка, взаимозаменяемость, моделирование, ЭВМ.

Keywords: machine parts, joint, accuracy, assembly, interchangeability, simulation, computer.

При проектировании и внедрении технологических процессов изготовления и сборки деталей машин очень важно как можно ближе к реальным условиям

производства рассчитать параметры и уровень качества соединений. В производственных условиях для определения фактических зазоров (натягов) в соединениях отверстий с валами необходимо организовать опытное производство, изготовить детали соединений в соответствии с заданной точностью, зафиксировать действительные размеры сопрягаемых поверхностей, собрать по определенному методу достижения точности соединения, зафиксировать в них зазоры, определить число отбракованных соединений и объем незавершенного производства. Все это требует существенных материальных, трудовых и финансовых затрат. Кроме того, при изменении параметров точности соединений и их элементов, а также технологии изготовления и метода сборки все перечисленные работы необходимо выполнить заново.

В качестве альтернативы для решения данной задачи предложен метод математического моделирования сборки соединений на ЭВМ. В своей основе метод имеет известное положение о том, что отклонения размеров деталей при изготовлении подчиняются определенным закономерностям. В общем случае вид и характер распределений может быть различным, однако для разработки метода математического моделирования это не имеет значения. Принципиальной является лишь объективность существования этих закономерностей в реальных производственных условиях.

Вид распределений зависит от состояния и уровня организации конкретных производств. Так, при единичном и мелкосерийном производствах считается, что отклонения размеров распределяются по закону равной вероятности. Это значит, что при увеличении числа обрабатываемых деталей отсутствует тенденция группирования отклонений размеров в области некоторого среднего значения, а появление определенного отклонения из интервала значений, заданных полем допуска, равновероятно с другими значениями. В этом случае рассеяние размеров зависит только от переменных систематических погрешностей. По закону равной вероятности распределены размеры повышенной точности (5–6-й качества и выше). Из-за узких границ допуска на размер вероятности попадания его в различные размерные группы становятся одинаковыми [1].

При крупносерийном и массовом производствах действительные размеры деталей распределяются, как правило, по нормальному закону. На настроенном металлорежущем оборудовании суммарная погрешность обработки формируется в результате воздействия множества случайных факторов, зависящих от состояния станка, инструмента, заготовки и приспособления. Погрешности обработки от действия этих факторов являются не зависимыми друг от друга случайными величинами одного порядка. Из теории вероятностей известно, что распределение суммы большого числа взаимно независимых случайных величин подчиняется закону нормального распределения. Распределение отклонений размеров по закону Гаусса в большинстве случаев имеет место при точности изготовления по 8-, 9-, 10-му и более грубым качествам [1].

В условиях среднесерийного производства распределение отклонений размеров, как правило, подчиняется закону Симпсона (треугольника) и наблюдается в большинстве случаев при обработке заготовок по 7-, 8-му качествам точности, а в некоторых случаях и по шестому [1].

Если законы распределения отклонений размеров отверстия и вала неизвестны, то их можно установить по результатам измерений, построив эмпирическую функцию распределения и эмпирическую интегральную функцию распределения (кумулятивную кривую). При этом по оси x откладывают границы интервалов отклонений размеров и подбирают аппроксимирующую функцию для всей кумулятивной кривой или отдельных ее участков (рис. 1).

Законы распределения отклонений размеров валов и отверстий, как правило, несимметричны. При изготовлении валов центр группирования размеров обычно смещается в сторону исправного брака, т.е. в сторону больших валов, а при изготовлении отверстий – в сторону мень-

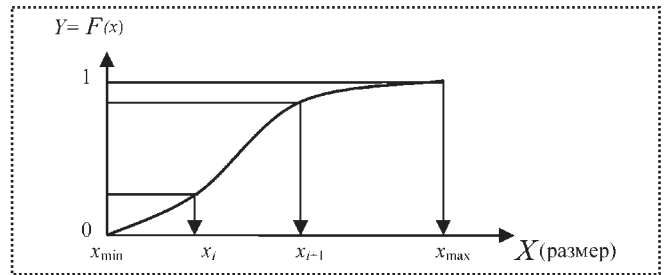


Рис. 1. Кумулятивная кривая

ших значений. Такое смещение характеризуется коэффициентом относительной асимметрии α , который определяет смещение действительного центра группирования отклонений размеров $M_0(x)$ от математического ожидания $M(x)$ (рис. 2). В производственных условиях коэффициент α может изменяться в пределах $-0,5 \leq \alpha_0 \leq 0$ – для отверстий и $0,5 \leq \alpha_0 \leq 0$ для валов [1].

Рассмотрим возможность использования рассмотренных зависимостей для моделирования сборки соединений деталей машин на ЭВМ. При построении графика интегральной функции любого распределения по оси Y откладывается вероятность реализации отклонения размера $F(x)$, а по оси X – значение отклонения размера x_i . Взаимосвязь X и Y обеспечивается кривой распределения. Поэтому для моделирования необходимо случайным образом получить число из интервала значений от 0 до 1, которое является вероятностью реализации определенного размера $F(x_i)$ и по кривой распределения определить величину отклонения размера x_i . Повторив данную операцию в соответствии с числом обрабатываемых деталей, получим массив отклонений размеров деталей.

Таким образом, для моделирования отклонений размеров на ЭВМ необходимо иметь датчик, который генерирует случайные числа, лежащие в пределах от 0 до 1. Причем вероятности появления любых чисел из данного интервала должны быть равны друг другу. Этому требованию отвечает равномерный закон рас-

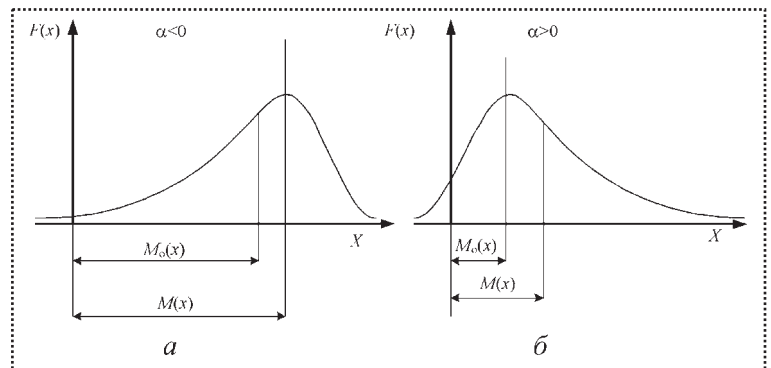


Рис. 2. Распределение плотности вероятности при различных коэффициентах относительной асимметрии:

a – валы; b – отверстия



пределения. Функции такого датчика случайных чисел в современных программных средствах выполняет оператор $RND(1)$.

Для основных законов распределения вычисление отклонений размеров x_i можно проводить по следующим уравнениям:

- при равномерном распределении:

$$x_i = (x_{\max} - x_{\min}) RND(1) + x_{\min} + \alpha \frac{(x_{\max} - x_{\min})}{2};$$

- при законе Симпсона:

$$x_i = (x_{\max} - x_{\min}) \frac{[RND(1) + RND(1)]}{2} + x_{\min} + \alpha \frac{(x_{\max} - x_{\min})}{2};$$

- при нормальном законе:

$$x_i = \left(\frac{x_{\max} + x_{\min}}{2} \right) + \frac{(x_{\max} - x_{\min})}{6} S + \alpha \frac{(x_{\max} - x_{\min})}{2},$$

где x_{\max} , x_{\min} – предельные отклонения размера;

α – коэффициент относительной асимметрии.

Параметр S определяется по формуле $S = g - 6$, где

$$g = \sum_{i=1}^{12} RND(1).$$

В основе расчета параметра g лежит положение о том, что сумма 12 случайных чисел, распределенных по закону равной вероятности, является нормально распределенной случайной величиной.

Задавшись определенными законами распределения отклонений размеров отверстий и валов, а также значениями предельных отклонений размеров, можно моделировать на ЭВМ их значения. В результате моделирования получим отклонения размеров сопрягаемых поверхностей после их "изготовления" в соответствии с заданными конструктором полями допусков. Далее моделируем процесс сборки соединений в зависимости от метода достижения точности, и определяем зазоры (натяги) в соединениях. Так, при использовании метода полной взаимозаменяемости из соответствующих массивов случайным образом выбирают отклонения размеров деталей, рассчитывают и формируют массивы зазоров (натягов) в соединениях.

При сборке соединений методом селективной сборки поля допусков отклонений размеров отверстия и вала делят на соответствующие группы, определяют их размерные границы, осуществляют селективную сборку и рассчитывают объем незавершенного производства.

Для реализации рассмотренного метода разработан комплекс программ моделирования отклонений размеров и зазоров (натягов) в соединениях деталей машин. Изменяя исходные данные, можно оперативно получить с ЭВМ не только значения зазоров (натягов) в соединениях и уровни их качества, но и оценить и исследовать влияние изменения различных параметров на конечные результаты, что создает предпосылки оптимизации конструктивных и технологических решений.

Программный комплекс универсален и позволяет моделировать все основные методы обеспечения точности в соединениях. Алгоритм программы соответствует расчетным зависимостям метода межгрупповой взаимозаменяемости, так как методы полной и групповой взаимозаменяемости являются его частными случаями.

Исходными данными для моделирования являются (рис. 3):

- число соединений в партии $n_{ш}$;
- нижнее EIA и верхнее ESA предельные отклонения размеров отверстий;
- нижнее eib и верхнее esb предельные отклонения размеров валов;
- законы распределения отклонений размеров отверстий и валов $N_{з.в}$, $N_{з.о}$;
- коэффициенты относительной асимметрии для законов распределения отклонений размеров отверстий $\alpha_о$ и валов $\alpha_в$;

Исходные данные	Отверстие	Вал
Закон распределения: 1-нормальный; 2-Симпсона; 3-равномерный	1	1
Нижнее предельное отклонение, мкм	0	-175
Верхнее предельное отклонение, мкм	300	125
Длина интервала, мкм	25	25
Количество интервалов	12	12
Количество соединений	200	200
Асимметрия	-0.300	0.3
Smax,Smin	200	50

Вычислить

Посмотреть результаты распределения размеров Распределение зазоров

Рис. 3. Шаблон для ввода исходных данных

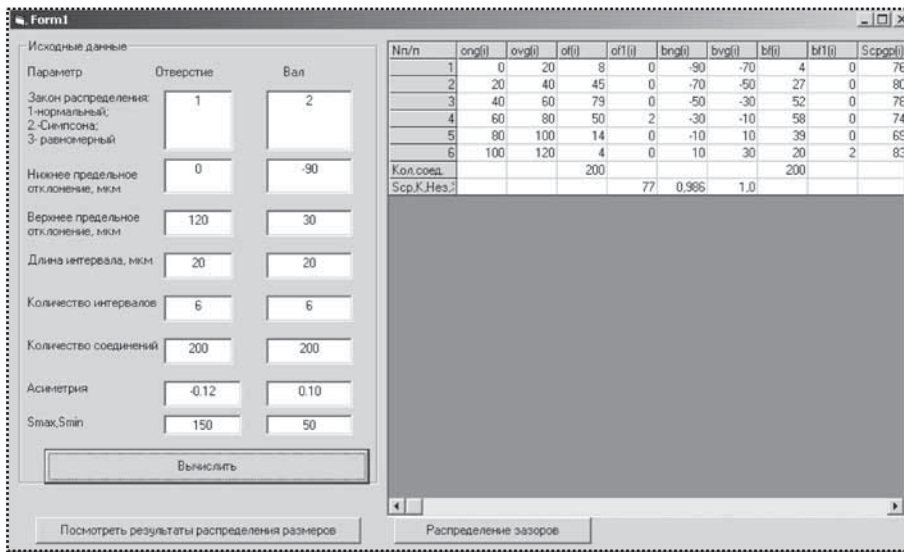


Рис. 4. Результаты моделирования

- максимально допустимый S_{\max} и минимально допустимый S_{\min} зазоры (натяги) в соединениях;
- групповые допуски для отклонений размеров отверстий (a) и валов (b);
- число селективных групп для отклонений размеров отверстий ($n1$) и валов ($n2$).

Моделирование сборки соединений производят по следующему алгоритму:

- 1) по заданным предельным отклонениям размеров отверстий и валов и значениям групповых допусков определяют границы селективных групп для отверстий и валов;
- 2) по заданным предельным отклонениям и законам распределения отклонений размеров отверстий и валов моделируют их значения и формируют массивы отклонений размеров;
- 3) определяют принадлежность отклонений размеров к соответствующим селективным группам. Формируют массивы отклонений размеров отверстий и валов, отсортированные по соответствующим селективным группам;
- 4) рассчитывают схему комплектации отверстий валами, при которой значения зазоров (натягов) в соединениях не превышают предельно допустимые;
- 5) из соответствующих селективных групп случайным образом

выбирают отклонения размеров отверстий и валов и определяют зазоры (натяги) в их соединениях. Формируют массив зазоров (натягов);

6) по числу некомплектных соединений определяют объем незавершенного производства по каждой селективной группе отверстий и валов;

7) определяют средний зазор (натяг) в соединениях, средний уровень качества сборки и общий объем незавершенного производства; оформляют расчетные данные.

Исходные данные вводят с помощью экрана дисплея по соответствующему шаблону (см. рис. 3). Результаты моделирования представляют пользователю в табличной форме и в графическом виде. Расчетные данные включают:

- границы селективных групп (рис. 4) для отверстий ($onq(i)$ – нижняя, $ovq(i)$ – верхняя); и валов ($bnq(i)$ – нижняя, $bvq(i)$ – верхняя);
- распределение отклонений размеров валов $bf(i)$ и цилиндров $of(i)$ по селективным группам;

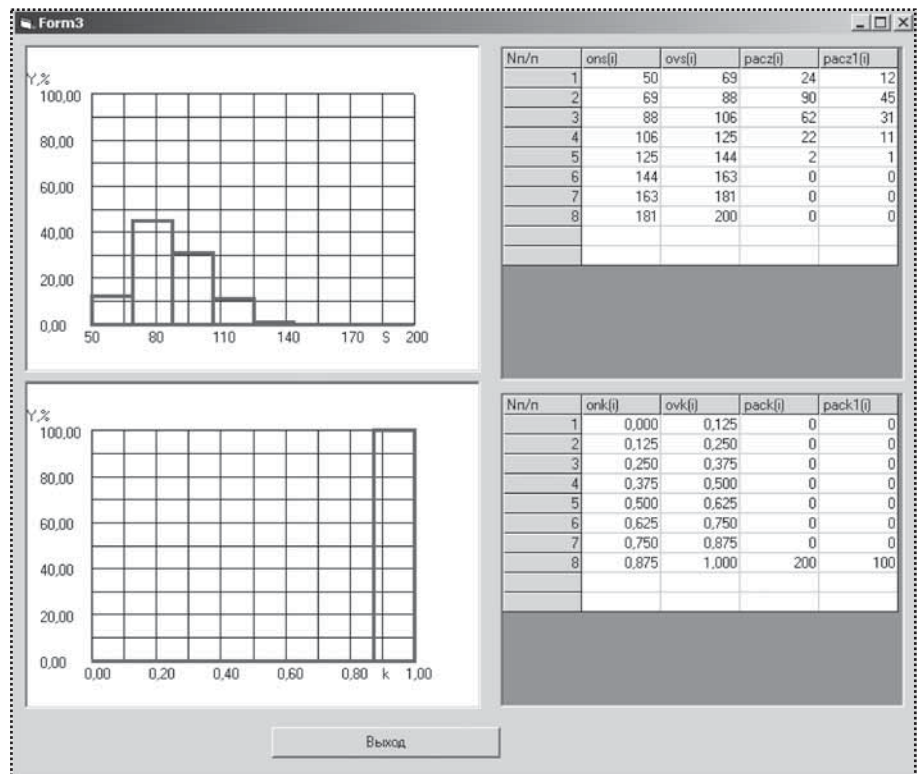


Рис. 5. Результаты моделирования – распределение соединений по зазорам и уровню качества



Form2									
3,21	5,12	8,11	12,97	18,28	-71,33	-71,37			
28,85	25,69	24,41	35,63	39,70	-64,11	-51,99	-69,97	-51,61	-53,42
57,74	57,36	51,05	59,63	45,74	-33,40	-46,30	-42,76	-35,63	-42,14
60,63	65,20	68,33	67,85	72,95	-23,91	-10,36	-29,64	-18,75	-15,49
92,91	92,28	80,57	85,55	81,49	5,87	4,39	-1,53	-2,32	-5,57
113,47					29,60	10,96	21,00	10,95	24,35

Рис. 6. Результаты моделирования – отклонения размеров отверстий и валов

- групповые зазоры (натяги) в соединениях $S_{grp}(i)$;
- число некомплектных отверстий $ofl(i)$ и валов $bfl(i)$ по селективным группам;
- средний зазор (натяг) в соединениях S_{cp} и средний уровень качества соединений K ;
- объем незавершенного производства $Нез, \%$;
- распределение зазоров (натягов) по их величине в количественном выражении $расz(i)$ и в процентах от общего числа соединений $расz1(i)$ (рис. 5);
- распределение соединений по уровню качества в количественном выражении $расk(i)$ и в процентах от общего числа соединений $расk1(i)$, рис. 5;
- отклонения размеров валов и отверстий (рис. 6, Form2).

В результате исследований, проведенных на ЭВМ с использованием математического моделирования метода межгрупповой взаимозаменяемости, установ-

лены параметры селективной сборки, обеспечивающие повышение точности соединений деталей машин на один и два качества в мелкосерийном производстве. Эти параметры обеспечивают вероятность возникновения некомплектных деталей при сборке равную или близкую к нулю, что позволяет минимизировать объем незавершенного производства. Полученные результаты распространяются на качества точности от 6-го до 16-го и все интервалы размеров в соответствии с действующей системой допусков и посадок.

Выводы

1. Обоснование параметров сборки соединений деталей машин необходимо проводить методом математического моделирования на ЭВМ. Разработан программный комплекс по моделированию сборки соединений деталей машин на ЭВМ.

2. Определены параметры сборки соединений методом межгрупповой взаимозаменяемости, обеспечивающие повышение точности на один или два качества при вероятности возникновения некомплектных деталей, равной нулю, в том числе для условий мелкосерийного производства.

3. Программный комплекс по моделированию сборки соединений деталей машин позволяет обосновывать параметры сборки соединений деталей машин как с зазором, так и с натягом.

Библиографический список

1. Маталин А.А. Технология машиностроения. СПб.: Лань, 2008. 512 с.

Читайте в следующем номере:



- ✓ **Антонец И.В., Терешенок А.П.** Динамометрические весоизмерительные системы с демпфирующими устройствами
- ✓ **Медарь А.В.** Инновационные технологии сборочного производства изделий специального машиностроения
- ✓ **Корчак Е.С.** Обеспечение быстрого и эффективного монтажа станции гидравлических прессов колонного типа
- ✓ **Иванов А.А.** Координатная система точного позиционирования объекта в нанометрическом диапазоне



УДК 621.926.3

В.С. Шестаков, Н.В. Савинова, канд-ты техн. наук,
А.В. Орчко, аспирант (Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург)
E-mail: Shestakov.v.s@mail.ru

Расчет напряжений в элементах оснований конусных инерционных дробилок*

Изложена методика определения усилий для дальнейшего использования их при расчете напряжений в элементах металлоконструкций оснований конусных инерционных дробилок. Методика основана на имитационной модели рабочего процесса дробилки.

Is the technique of determination of efforts to use them when calculating stresses in elements of metal substrates conical inertia crushers. The method is based on workflow simulation model crushers.

Ключевые слова: конусная инерционная дробилка, моделирование, расчет напряжений.

Keywords: cone inertia crushers, modeling, stress analysis.

Расчет напряжений в элементах конструкций выполняют с использованием специальных программных продуктов, основанных на применении метода конечных элементов. Исходными данными служат параметры конструкций и значения действующих усилий. Рассмотрим методику определения значений усилий для реализации процесса дробления в конусной инерционной дробилке.

Конусные инерционные дробилки (КИД) разработаны институтом "Механобр" (ныне НПО "Механобр-Техника"), патент № 73046 [1].

По сравнению с конусными эксцентриковыми дробилками КИД повышают в 1,5–2 раза степень дробления и обеспечивают возможность работы "под завалом" за счет кинематических особенностей и оригинальной формы камеры дробления. Они могут быть использованы в передвижных дробильных комплексах, для которых снижение массы оснований является весьма важной задачей.

* Статья написана в соответствии с государственным контрактом № 16.525.12.5003 "Разработка энергоэффективной технологии и комплекса модульного оборудования для производства высококачественного путевого щебня из твердых горных пород для грузонапряженных и высокоскоростных железнодорожных путей".

Смещение конуса в этих дробилках обеспечивается дебалансом, вращающимся с достаточно высокой частотой (не менее 500 мин⁻¹). Отсутствие жесткой связи между приводным двигателем и конусом не позволяет напрямую по реализуемому усилию дробления определять нагрузки в передаточных механизмах и на основание. В работе [1] изложена методика расчета усилий в приводе и в камере дробления, основанная на использовании систем дифференциальных уравнений. Сложность системы затрудняет ее практическое использование.

Для нашей задачи расчета напряжений в элементах основания разработана имитационная математическая модель рабочего процесса дробилки. При пуске дробилки ротор электродвигателя разгоняется сам и разгоняет дебаланс, который, в свою очередь, обеспечивает колебательные движения конусу. Конус, либо через породу, либо при непосредственном контакте с наружной броней, передает усилия на корпус и через упругий демпфер – на основание.

Электромеханическую систему можно разделить на три подсистемы:

- 1) приводной двигатель – ременная передача – дебаланс;
- 2) дебаланс с конусом – порода – корпус дробилки;
- 3) корпус дробилки – демпфирующие опоры – основание.

Ременная передача, порода, демпфирующие опоры являются упругими элементами, обеспечивающими связь масс, входящих в подсистемы, а также и взаимовлияние подсистем.

Расчетная схема для составления математической модели приведена на рис. 1.

Уравнение движения ротора двигателя при разгоне и при установившемся движении имеет вид [2]:

$$M_{дв} \eta - M_{п} = J_{дв} d\omega_{дв} / dt, \quad (1)$$

где $M_{дв}$ – движущий момент двигателя;

η – КПД двигателя;

$M_{п}$ – момент в упругом элементе передачи;

$J_{дв}$ – момент инерции ротора двигателя;

$\omega_{дв}$ – угловая скорость вращения вала двигателя;

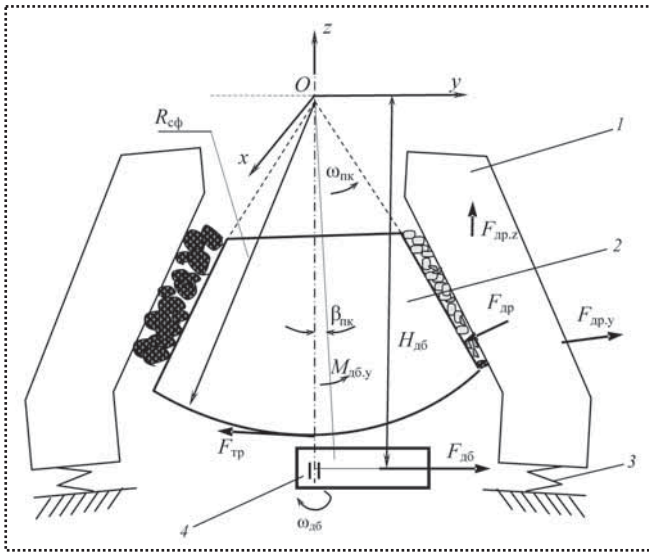


Рис. 1. Расчетная схема для составления математической модели:

1 – корпус; 2 – подвижный конус; 3 – амортизаторы; 4 – дебаланс

$d\omega_{дв}/dt$ – угловое ускорение вала двигателя (t – время).

Движущий момент привода меняется по мере разгона ротора. Его значение определяется по статической механической характеристике. Характеристика асинхронного двигателя показана на рис. 2.

Для статической характеристики асинхронного электродвигателя движущий момент определяется по скольжению [2]

$$M_{дв} = \frac{2M_{\max}}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}, \quad (2)$$

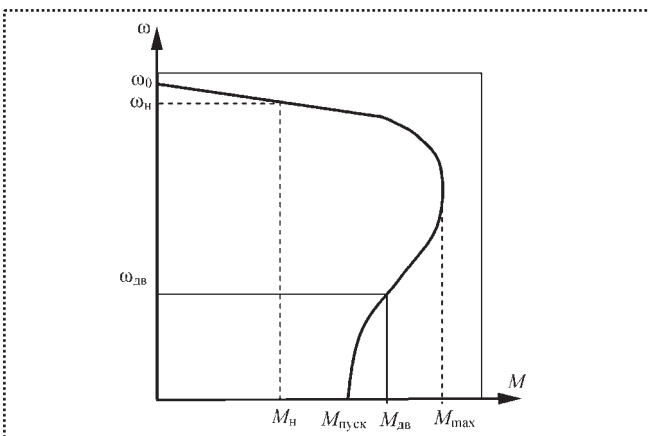


Рис. 2. Статическая характеристика асинхронного электродвигателя:

ω_0 – синхронная скорость; M_{\max} – максимальный момент привода; $M_{\text{пуск}}$ – пусковой момент привода; ω_n – номинальная скорость двигателя; M_n – номинальный момент двигателя

где M_{\max} – максимальный момент двигателя;

s – скольжение;

s_k – критическое скольжение (при переходе s через s_k начинается уменьшение $M_{дв}$).

Скольжение – это относительное уменьшение скорости:

$$s = \frac{\omega_0 - \omega_{дв}}{\omega_0}, \quad (3)$$

где ω_0 – синхронная угловая скорость.

Критическое скольжение в справочниках не указано, оно определяется по номинальному скольжению и по перегрузочной способности двигателя, приведенных в справочниках:

$$s_k = s_n (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}), \quad (4)$$

где s_n – номинальное скольжение;

λ_m – перегрузочный коэффициент (приведен в каталогах).

По коэффициенту λ_m можно определить максимальный момент M_{\max}

$$\lambda_m = \frac{M_{\max}}{M_n}, \quad (5)$$

где M_n – номинальный момент двигателя.

Выражения (2)–(5) необходимы для вычисления текущего значения момента двигателя в процессе разгона.

Номинальное скольжение s_n показывает относительное уменьшение номинальной скорости ω_n по отношению к синхронной скорости, т.е. характеристика привода:

$$s_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0}. \quad (6)$$

Момент в упругом элементе передачи, приведенный к валу двигателя, определяется по закону Гука:

$$M_n = k_n (\varphi_{дв} - \beta_{дб} u), \quad (7)$$

где k_n – жесткость передачи двигатель–дебаланс, приведенная к валу двигателя;

$\varphi_{дв}$, $\beta_{дб}$ – углы поворота вала двигателя и дебаланса;

u – передаточное отношение передачи.

Уравнение движения дебаланса имеет вид:

$$M_n u - M_{с.дб} = J_{дб} d\omega_{дб} / dt, \quad (8)$$

где $M_{с.дб}$ – момент сопротивления на валу дебаланса (трение в подшипнике);



$J_{дб}$ — момент инерции дебаланса относительно оси вращения;

$\omega_{дб}$ — угловая скорость вала дебаланса.

При вращении дебаланса относительно его оси возникает центробежная сила

$$F_{дб} = m_{дб} \omega_{дб}^2 r_{дб}, \quad (9)$$

где $m_{дб}$ — масса дебаланса;

$r_{дб}$ — расстояние от центра тяжести дебаланса до его оси вращения.

Центробежная сила дебаланса $F_{дб}$ обеспечивает движение конуса по сферической поверхности опоры, причем направление силы меняется по мере поворота дебаланса. Для определения отклонения конуса можно применить прием независимого движения тела под действием нескольких сил.

Проекции центробежной силы на оси Ox и Oy (рис. 1) определяем по формулам:

$$\begin{aligned} F_{дб.x} &= F_{дб} \cos \beta_{дб}; \\ F_{дб.y} &= F_{дб} \sin \beta_{дб}. \end{aligned} \quad (10)$$

Сферическая поверхность формирует колебательное движение, которое совершается за счет движущего момента $M_{дб}$, действующего на конус от центробежной силы дебаланса. Для решения используются также моменты от проекций сил

$$\begin{aligned} M_{дб.x} &= F_{дб.x} H_{дб}; \\ M_{дб.y} &= F_{дб.y} H_{дб}, \end{aligned} \quad (11)$$

где $H_{дб}$ — расстояние от центра сферической опорной поверхности подвижного конуса до центра масс дебаланса.

Движение подвижного конуса под действием момента $M_{дб}$ начнется только тогда, когда будут преодолены силы трения. Движение подвижного конуса описывает система

$$\begin{aligned} M_{дб.x} - M_{тр} - M_{др.x} &= J_{п.к} d\omega_{п.к.x} / dt; \\ M_{дб.y} - M_{тр} - M_{др.y} &= J_{п.к} d\omega_{п.к.y} / dt, \end{aligned} \quad (12)$$

где $M_{тр}$ — момент от сил трения подвижного конуса по опорной сферической поверхности, $M_{тр} = k_{тр.п.к} \times m_{п.к} g R_{сф}$ ($k_{тр.п.к}$ — коэффициент трения скольжения для опорной поверхности подвижного конуса; $m_{п.к}$ — масса подвижного конуса с дебалансом; g — ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с; $R_{сф}$ — радиус сферической опорной поверхности дебаланса;

$M_{др.x}$, $M_{др.y}$ — моменты от силы дробления, препятствующие отклонению подвижного конуса соответственно в плоскости zOx и zOy ;

$\omega_{п.к.x}$, $\omega_{п.к.y}$ — проекции угловой скорости подвижного конуса на оси x и y ;

$J_{п.к}$ — момент инерции подвижного конуса и дебаланса относительно оси, по отношению к которой подвижный конус отклоняется по сферической поверхности.

Моменты от силы дробления

$$\begin{aligned} M_{др.x} &= F_{др.x} R_{др}; \\ M_{др.y} &= F_{др.y} R_{др}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $R_{др}$ — плечо действия равнодействующей сил дробления относительно центра сферической опорной поверхности.

Сила дробления для расчета напряжений может быть определена по уменьшению расстояния между бронями подвижного конуса и корпуса (см. рис. 1)

$$F_{др} = k_{пор} \Delta_{др}, \quad (14)$$

где $k_{пор}$ — коэффициент пропорциональности для расчета усилий (зависит от гранулометрического состава и физико-механических свойств породы, определяется опытным путем);

$\Delta_{др}$ — изменение расстояния между бронями с начала уменьшения камеры дробления, $\Delta_{др} = L_{п.к.i} - L_{кор.i}$. Здесь $L_{п.к.i}$ — перемещение точки подвижного конуса в i -й горизонтальной плоскости; $L_{кор.i}$ — текущее смещение корпуса от нейтрального положения.

Из формулы (12) численным интегрированием определяют скорость поворота подвижного конуса $\omega_{п.к}$ и угол его отклонения от оси $\beta_{п.к}$.

Возможны два варианта работы дробилки: при отсутствии дробимой массы и разгон при наличии дробимой массы.

Для первого варианта при достижении конусом брони чаши начинается совместное движение корпуса и подвижного конуса. Корпус опирается на опорную плиту через амортизаторы, которые позволяют смещаться корпусу в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Передача усилий от подвижного конуса происходит через наклонную плоскость, усилие со стороны конуса $F_{др}$ может быть разделено на вертикальную $F_{др.z}$ и горизонтальную $F_{др.y}$ составляющие. Горизонтальная будет обеспечивать горизонтальное перемещение, а вертикальная — поворотное движение относительно противоположной к силе стороны.

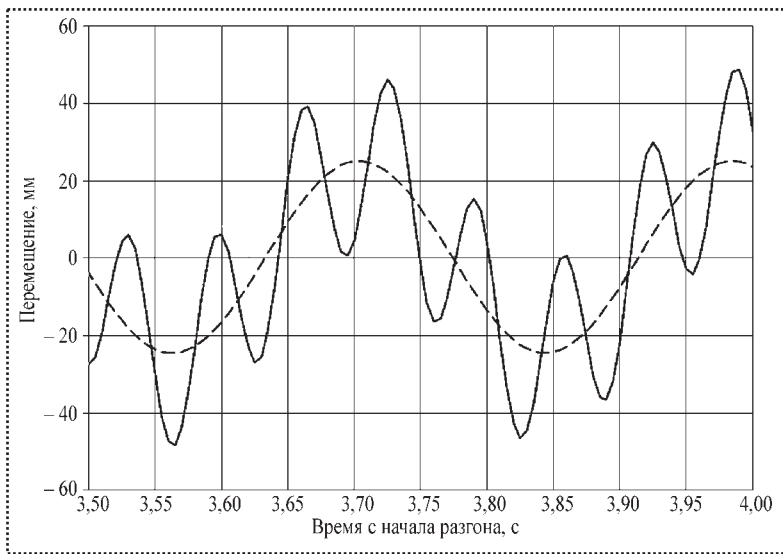


Рис. 3. Графики перемещения:

--- конуса по сферическому основанию; — корпус дробилки

Уравнение движения корпуса в горизонтальной плоскости

$$F_{др.х} + F_{тр.п.к} - F_{оп.х} = m_{кор} dv_{кор.х} / dt; \quad (15)$$

$$F_{др.у} + F_{тр.п.к} - F_{оп.у} = m_{кор} dv_{кор.у} / dt,$$

где $F_{тр.п.к}$ – сила трения при движении подвижного конуса по опорной сферической поверхности

$$F_{тр.п.к} = k_{тр.п.к} m_{п.к} g;$$

$F_{оп.х}$, $F_{оп.у}$ – проекции сопротивления амортизатора горизонтальному смещению дробилки, $F_{оп.х} = k_{ам} \Delta_{кор.х}$, $F_{оп.у} = k_{ам} \Delta_{кор.у}$ ($k_{ам}$ – жесткость амортизатора в направлении горизонтального смещения корпуса; $\Delta_{кор.х}$ – текущие смещения корпуса по осям x и y от положения равновесия);

$m_{кор}$ – масса подвижных частей дробилки, которые перемещаются на амортизаторе;

$dv_{кор}/dt$ – ускорение перемещения корпуса в горизонтальной плоскости.

Уравнение поворотного движения корпуса в вертикальной плоскости

$$M_{др.з} + M_{тр} - M_{оп.з} - M_{G_{др}} = J_{кор} d\omega_{кор} / dt, \quad (16)$$

где $M_{др.з}$ – момент, обеспечивающий поворот корпуса дробилки в вертикальной плоскости, $M_{др.з} = F_{др.з} R_{кор}$ ($R_{кор}$ – плечо действия силы $F_{др.з}$ относительно центра поворота корпуса в вертикальной плос-

кости – опора на противоположной стороне дробилки);

$M_{оп.з}$ – момент сопротивления повороту корпуса в вертикальной плоскости от силы тяжести, $M_{оп.з} = G_{др} R_{G_{др}}$ ($G_{др}$ – сила тяжести дробилки; $R_{G_{др}}$ – плечо действия силы $G_{др}$ относительно центра поворота корпуса в вертикальной плоскости);

$M_{G_{др}}$ – момент от силы тяжести корпуса относительно точки поворота;

$G_{кор}$ – момент инерции корпуса относительно точки поворота;

$\omega_{кор}$ – угловая скорость поворота корпуса.

Для составленной математической модели разработан алгоритм, учитывающий ограничения реальной механической системы (движение начинается только после преодоления движущими силами трения и т.п.). По алгоритму разработана программа для ЭВМ. Результаты расчета перемещений и изменения усилий показаны на рис. 3 и 4 (при других значениях $k_{ам}$ и $k_{пор}$ графики существенно меняются).

Значения усилий зависят от вводимых в расчеты исходных данных: от масс и моментов инерции, от характеристики породы и др. Для определения точного значения массовых характеристик дебаланса, конуса и корпуса использовано объемное моделирование с применением конструкторского пакета SolidWorks.

Значения усилий в амортизаторах, сила тяжести дробилки, движущий момент привода использованы для ввода в качестве исходных данных при расчете в пакете Structure 3D напряженно-деформированного

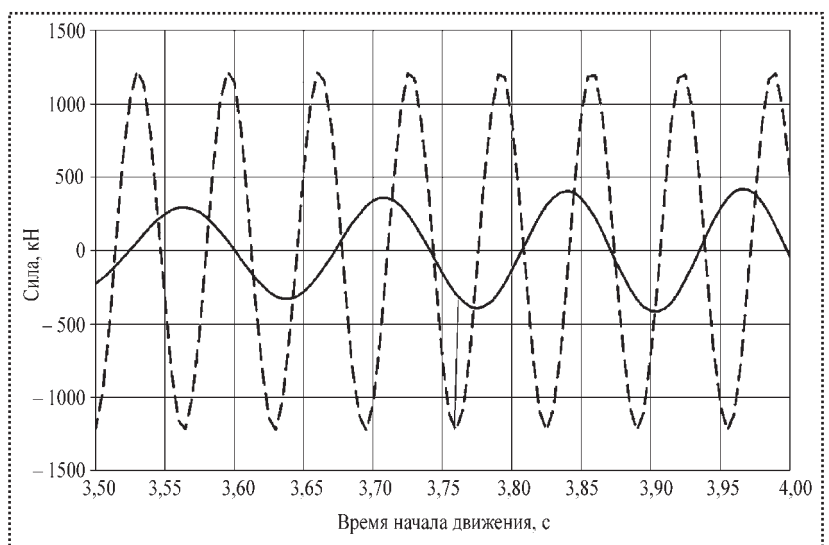


Рис. 4. Результаты расчета сил:

--- дробления; — центробежной силы дебаланса

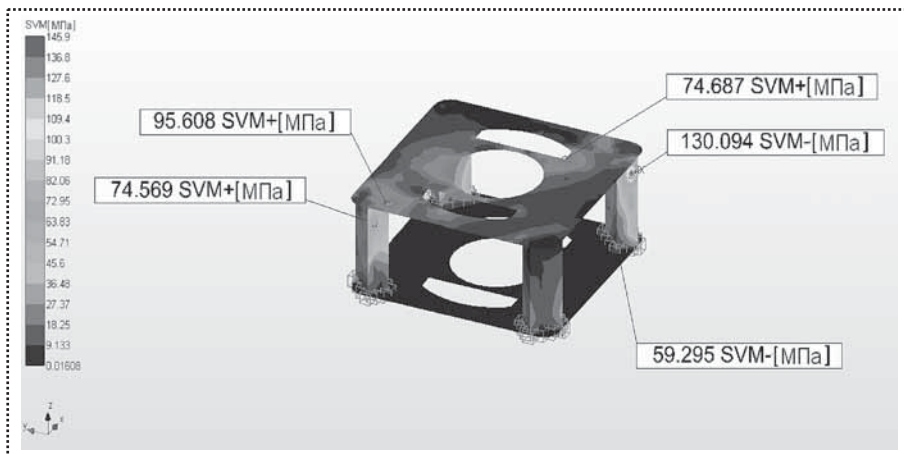


Рис. 5. Карта напряжений основания при действии рабочих нагрузок

состояния нескольких вариантов возможного исполнения основания. Один из вариантов расчета после поиска рациональной конструкции основания изображен на рис. 5.

Приведенная конструкция состоит из четырех тумб, представляющих собой сварные конструкции из листового металла. Жесткость основания обеспечена объединением тумб в нижней части плитой. Модель такого варианта выполнена в виде пластинчатой модели, когда, варьируя толщиной пластин, можно оптимизировать конструкции основания по массе.

Определив параметры циклов нагружений конструкции основания, можно оценивать и их долговечность.

Библиографический список

1. Вайсберг Л.А., Зарогатский Л.П., Туркин В.Я. Вибрационные дробилки. Основы расчета, проектирования и технологического применения. СПб.: ВСЕГЕИ, 2004.
2. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс электропривода: учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1992.



ООО "Издательство Машиностроение"
продолжает подписку на журнал

"Сборка в машиностроении, приборостроении"

- За наличный и безналичный расчет.
- С любого номера и на любой срок.
- Без почтовых наценок

*Присылайте заказ и обращайтесь за дополнительной информацией
в отдел продаж, маркетинга и рекламы:*

107076, г. Москва, Стромьинский пер., д. 4,
тел.: (499) 269-6600, 269-5298, факс: (499) 269-4897,
e-mail: realiz@mashin.ru, www.mashin.ru

УДК 338.4(045)

М. Гайдук, Л. Пахникова, М. Сукоп, Й. Варга (Технический университет, г. Кошице, Словакия),
Л. Дубовицка (Братиславский экономический университет, Словакия)
E-mail: mikulas.hajduk@tuke.sk; lenka.dubovicka@euke.sk

Стратегии производства в настоящее время*

Обоснована необходимость внесения изменений в существующие стратегии производства с учетом новой динамики рынка. До сих пор деятельность предприятия была направлена на достижение эффективности производства, в первую очередь, за счет максимального использования производственных машин. Новый подход к изменению стратегии состоит в удовлетворении потребностей клиентов. Заказчик хочет нового, необычного изделия, выполняющего большее число функций. Для этого необходимо повысить гибкость производства по отношению к часто изменяющимся инновациям. Успех приносит трансформация производства в гибкое, адаптивное, быстроизменяющееся в структуре и функциях. Этим требованиям соответствуют новые категории производственных систем – реконфигурируемые производственные системы.

Need of modification of existing strategy of production taking into account new dynamics of the market is proved. Still activity of the enterprise was directed on achievement of production efficiency, first of all, at the expense of the maximum use of production cars. The new approach to change of strategy consists in satisfaction of needs of clients. The customer wants the new, unusual product which is carrying out bigger number of functions. For this purpose it is necessary to increase flexibility of production in relation to often changing innovations. The success brings production transformation in flexible, adaptive, fast-changing in structure and functions. To these requirements there correspond new categories of production systems – reconfigurable manufacturing systems.

Ключевые слова: производственная стратегия, гибкость производства, реконфигурируемая производственная система, инновация.

Keywords: production strategie, flexible production, reconfigurable manufacturing system, innovation.

Введение

Инвестиции в производство, новые машины и технологии уже не ориентированы на повышение объема

* Статья является результатом реализации проекта VEGA 1/0810/11 "Принципы профилирования и кооперации мультироботических систем".

производства. Удовлетворение потребностей заказчика приносит более высокий эффект, чем повышение эффективности производства. Заказчику не нужен стандартный продукт, он требует, чтобы продукт соответствовал его ожиданиям. Если это требование будет выполнено, заказчик готов оплатить за продукт большую цену. Заказчики сами выбирают своих поставщиков и повышают требования к качеству, своевременности поставки и стоимости продукта. Несоблюдение требований заказчиков ведет к потере производителем своих позиций на рынке. Применять традиционную стратегию – принуждать заказчика, чтобы он покупал то, что производится, уже недостаточно, так как успешность продажи не будет гарантирована. К решающим факторам, привлекающим заказчиков, относятся точность изготовления, мода, оригинальность, атрактивность. Эффект приносит не механическая работа, а творческие предложения и инновации. Это способствует усилению конкуренции между предприятиями, проводящими активную инновацию. Преимущество будет у того, кто приподнесет что-то новое, в более короткие сроки, чем его конкурент.

Факторы, влияющие на стратегии производства

Производство, основанное на выпуске больших партий изделий, приносит прибыль только за счет количества, а не ассортимента, что может привести к потере позиции на рынке. Это негативное последствие является следствием отсутствия учета фактора времени и изменения потребностей заказчика. Для современного экономического пространства характерным является огромное увеличение конкуренции, появление новых продуктов и новых производителей, поставщиков со своими условиями. При этом увеличивается функциональность изделий, уменьшаются сроки поставки в продажу новых изделий, их жизненный цикл, а также сроки замены старых изделий новыми.

Сегодня мировой рынок открыт для всех производителей, что вызывает резкий рост конкуренции между производителями. Неоднородность рынка связана с различными факторами, в числе которых, например, вкус, различные предпочтения качества, географиче-

ская особенность образа жизни и т.п. Так как массового потребителя сменяет индивидуальный заказчик, то в результате меняется роль и образ предприятий. Современное производство, к сожалению, не всегда может выполнить новые требования. Недостатком производства является слишком медленное реагирование на изменения ряда факторов, в числе которых:

- усложнение потока материала;
- усложнение оперативного управления;
- экономическая ограниченность минимальной величины партии изделий;
- снижение степени автоматизации.

Кроме того, структура производства рассчитана на стабильную работу и разрешает только малые улучшения. Значит производство, направленное на определенные работы, не способно реагировать на поставленные цели во всем диапазоне, хотя в отдельных направлениях работы могут быть приложены чрезвычайные усилия. Отдельные производственные машины не взаимосвязаны, расстояния между ними большие, а коммуникация малая, что ограничивает возможность создания связи между ними для взаимной синхронизации. Это во многих случаях способствует образованию около станков больших запасов деталей и увеличению времени изготовления изделий.

Производство новых изделий постоянно увеличивается, вследствие чего рынок дифференцируется, особенно в том, что касается объемов партий и числа видов изделий (рис. 1).

Данные изменения сопровождаются тем, что возможности реализации товаров на рынке возникают и заканчиваются очень быстро. Для предприятий это означает неопределенность и риск. Поэтому необходимыми является не только умение менеджеров быстрее найти нехватку той или иной продукции на рынке, но и своевременное проведение гибкой и быстрой адаптации производства. Логически это означает, что предприятие должно менять свою стратегию производства и направить ее на укрепление своей конкурентоспособности и получение экономического эффекта.

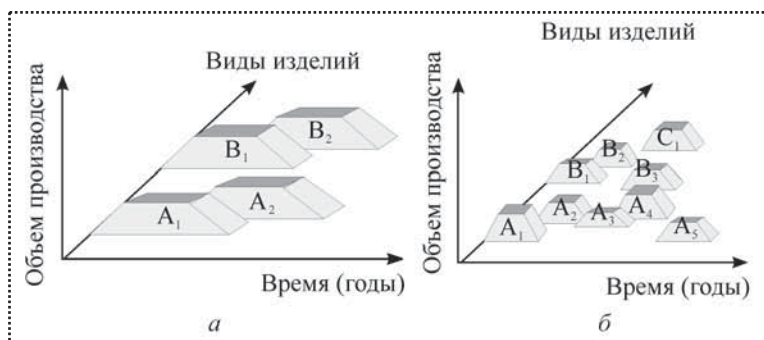


Рис. 1. Тенденции развития вариантности изделий:
 а – в прошедшие годы; б – в настоящее время

Чтобы обеспечить постоянную конкурентоспособность предприятия в динамически изменяющейся рыночной среде, необходимо постоянно совершенствовать производственные процессы так, чтобы они были способны к адаптации к новым требованиям за кратчайшее время. Для достижения этой цели предприятие должно осуществить:

- перепрофилирование настоящего производства на высоко реконфигурируемое;
- преобразование существующих стратегий производства, направленных на мониторинг эффективности производства, на стратегии для достижении требований заказчика.

Необходимость применения реконфигурируемых производственных систем

Сегодня нет сомнений в необходимости гибкого производства. Современные производственные ячейки считаются стандартными высокопродуктивными системами, на практике доказавшими свою жизнеспособность. Современные концепции создания гибких производств сосредоточены на выполнение новой функции, которой является **реконфигурация**. С точки зрения развития производственных систем реконфигурация является новым свойством производственных систем, главной целью которого является возможность производить широкий ассортимент продукции с почти мгновенной адаптацией к требуемым изменениям (рис. 2).

До сих пор производственные системы с точки зрения достижения эффективности построены в зависимости от числа видов продукции и их общего объема производства, но эффективность реконфигурируемых производственных системы должна быть достигнута во всем диапазоне различных видов и с разным количеством продукции.

Основной особенностью реконфигурируемых производственных систем является мгновенная адаптация в структуре и функции при изменения продукта и рынка. Реконфигурируемые производственные системы сочетают преимущества поточных линий и преимущества гибких производственных систем, их программное и техническое обеспечение основано на сочетании отдельных модулей.

Основными преимуществами реконфигурируемых производственных систем являются:

- способность производить разнообразный продукт;
- устранение непроизводительного времени;
- сокращение общего времени изготовления изделия.

Особенной чертой реконфигурируемых производственных систем является также их быстрая масштабируемость.

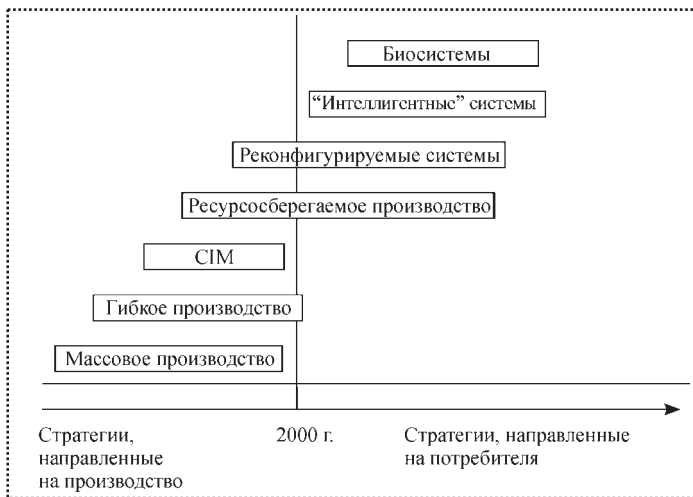


Рис. 2. Тенденции развития производственных систем

Новые производственные стратегии, термины и положения

• *Just In Time (JIT)*

Just In Time – минималистическая стратегия "точно в срок". Термин "Ресурсосберегающее предприятие" не обозначает только средство или метод для понижения запасов и поставку по времени, он обозначает намного больше. Понижение запасов – не главное преимущество. Применение JIT с целью понижения запасов представляет перемещение затрат, израсходованных на содержание запасов до дистрибуции. Основой JIT является время, а не затраты. Главным секретом является устранение непродуктивных затрат времени.

• *Качество*

Качество является настолько очень важным, насколько для заказчика это требование является естественным. Высокое качество становится неизбежностью, нельзя его отделить от условий заказчика, но оно не является достаточным для привлечения заказчика. Качество в гибком производстве необходимо понимать как высокую культуру производства. Нужно отметить, что требования к качеству товаров постоянно растут, их жизненный цикл становится короче, номенклатура шире, объем выпуска по отдельным позициям номенклатуры меньше.

• *Децентрализованное управление*

Только для производства нескольких видов изделий можно планировать производство больше, чем на три месяца. В настоящее время нельзя предусматривать производство любых типов и любого количества изделий. В гибком производстве управление децентрализованное и большинство решений принимается прямо на месте, на рабочем участке. Децентрализованное управление должно осуществить сдвиг к упрощению и ускорению решения проблем. Зеркалом

уровня управления гибкого производства является объем запасов.

• *Реконфигурация*

Реконфигурация является фундаментальным изменением, оно создает новую точку зрения на философию производства и образование производственных систем. Реконфигурация не преследует достижения максимальной производительности, а состоит в способности предприятия адаптироваться по структуре и функциям изготовления определенного изделия в требуемое время. Таким образом, воспринимаемая реконфигурация создает основные предпосылки перехода от стратегии, основанной на эффекте объема (effect of scale) к стратегии, предполагающей эффект случая (effect of scope).

• *Производственные ячейки*

Производственные ячейки являются одним из самых важных проектов организации производства. Эти проекты содержат много методов, основанных на поиске отношения изделие – производственная ячейка, которое обеспечит производство широкой номенклатуры изделий с меньшим объемом выпуска по отдельным позициям. Производственные ячейки обеспечивают связи между станками, экономят время и производственную площадь, являются сверхгибкими.

• *Добавочная стоимость*

Удовлетворенность заказчика приносит более высокий эффект, чем усилие, направленное на эффективность производства. Стратегической добавочной стоимостью для заказчика является уникальность совершенства изделия.

• *Время*

Сокращение потерь времени позволяет опередить конкурентов при удовлетворении запросов потребителей. Новая структура производства должна приспосабливаться к изменяющимся условиям, чтобы потери времени были минимальными. Прежде чем понижать расходы, необходимо оценить необходимые затраты времени на производство. Новые стратегии производства основаны не только на инвестициях, но главным образом на уникальных идеях, способностях, инновациях. В быстроизменяющихся условиях инновации неизбежны. Прибыль предприятия повышается, если существует эффективное сочетание совершенствования изделий, производственных процессов и систем.

• *Переориентация на заказчика*

Соблюдать требования и нужды заказчика необходимо уже при разработке нового изделия. Гибкое производство может принести больше предпринимательских возможностей по сравнению с традиционным.

• *Интеграция всех составляющих производства и производственного пространства*

Взаимные связи и зависимости отдельных составляющих производства настолько сложные и разветв-



ленные, что без интеграции и взаимодействия практически невозможно стать конкурентоспособными. Получается, что интеграция, хотя она осуществляется посредством автоматизации, имеет намного большее значение.

• *Расширение номенклатуры изделий*

Данный подход формирует стратегию, использующую спецификацию типоразмеров изделий в направлении к стратегии, использующей разновидность типоразмеров на основе модульного принципа. Модули, с точки зрения конструкции, совместимы, но их функции не совместимы. Это сокращает время их разработки, монтажа, упрощает обслуживание и уход. Стандартизация модулей позволяет за короткое время из нескольких стандартных частей составить большое количество финальных изделий. Повышение разновидности становится очень важным конкурентоспособным преимуществом.

• *Цифровой завод – технология виртуальной действительности*

Виртуальная действительность – это технология с большим потенциалом использования в производственной области при проектировании изделия, моделировании и симуляции, при планировании, а также и при управлении в реальном времени. Симуляция производства в виртуальной действительности в настоящее время получает реальный характер и позволяет производить моделирование и проверку производственного процесса до его запуска. В качестве применения таких технологий можно привести виртуальное NC программирование и управление роботами, управление производством.

• *Интеллектуальные и коммуникационные технологии*

Новые проекты, направленные на интеграцию WebСІМ посредством введения интеллектуальных методов и инструментов в производственные системы так, чтобы они достигли определенной степени интеллектуального совершенства. Это позволит осуществлять реконфигурацию технического и программного обеспечения согласно мгновенной ситуации, приспосабливаться к новым внутренним и внешним условиям, вести диалог, обучаться и проводить самодиагностику.

• *Управление жизненным циклом продукции (PLM – Product Lifecycle Management)*

Это очень динамично развивающаяся стратегия, направленная на управление продуктами на протяжении всего их жизненного цикла, от проектирования до производства, использования и утилизации. Хотя, на первый взгляд, это очень простое определение, на самом деле это не так. PLM представляет собой набор правил, в которых соблюдаются тесные взаимоотношения и обмен данными так, чтобы они образовали единое целое. PLM-инструменты помогают рабочему коллективу управлять производством согласно поставленным задачам.

Заключение

В начале XXI в. предприятия сталкиваются с требованиями, связанными с частыми изменениями в производстве и непредсказуемыми изменениями в рыночных условиях. Эти изменения включают большую интенсивность внедрения новых изделий, новых условий производства, особенно разнообразных изделий, новых материалов, а также внедрение новых технологических процессов, информационных и коммуникационных систем. Производственные системы, которые позволяют производить адаптацию этих изменений, будут иметь конкурентное преимущество, позволяя производить продукты, имеющие спрос на рынке в больших сериях или последовательно в количестве одной единицы. Для достижения такой конкурентоспособности уже недостаточно просто владеть станками с ЧПУ, роботами и высококвалифицированной рабочей силой. Новые производственные системы должны быть реконфигурируемы и должны работать в рамках новой стратегии.

Библиографический список

1. Hajduk M., Tolnay M., Groholová M., Vojtech M. Metodologický rámec návrhu rekonfigurovatelných výrobných systémov // Robtop. 2008. P. 237–244.
2. Páchniková L. Požiadavky rekonfigurovatelnosti na komponenty výrobného systému // Robtop. 2011. P. 149–154.
3. Hajduk M., Čop V. Manufacturing strategies of reconfigurable production // Robtop. 2010. P. 111–114.
4. Koren Y. The global manufacturing revolution // John Wiley & Sons Inc., Hoboken. New Jersey. 2010.
5. El Maraghy H. Reconfigurable process plans for reconfigurable manufacturing // Digital enterprise technology. Springer 2007. P. 35–44.

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., Солюшнина Л.Е.*

Сдано в набор 12.09.12 г. Подписано в печать 24.10.12 г. Формат 60×88 1/8.

Усл. печ. л. 5,88. Уч.-изд. л. 5,78. 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.