

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

1 2010
(114)

СОДЕРЖАНИЕ

Современные технологии сборки

- Белобородов С.М., Бурдюгов С.И. Обеспечение виброустойчивости валопровода методом прецизионной сборки 3
- Родионов Е.М., Табачкова К.И. Методы компенсации погрешностей при сборке оптических приборов 6

Сборочное оборудование и его элементы

- Моисеева Д.В., Емельяненко А.А., Поляничков Ю.Н. Электромеханический инструмент для пригоночных работ: современное производство и рынок в России 15

Сборочно-сварочные работы. Пайка

- Штенников В.Н. Зависимость температуры пайки от длины паяльного стержня. . . 18

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

- Костюков В.Н., Костюков Ал.В. Оценка погрешностей сборки машин виброакустическим методом. 22
- Куменко А.И. Использование вибровозбудителей для испытаний, диагностики и наладки турбоагрегатов 29
- Бондарь А.В., Мельников В.П., Муртазин Д.А. Управление обеспечением качества ракетно-космической техники на этапах испытаний, эксплуатации и утилизации 34
- Антонюк В.С., Вислоух С.П., Филиппова М.В., Диордица И.Н. Система загрузки обобщенных производственных систем сборки на основе статистического управления сложными технологическими процессами 41

Информация

- Указатель статей, опубликованных в 2009 году 46

Председатель редакционного совета
Ф.М. МИТЕНКОВ, академик РАН

Редакционный совет

МОСКВА
А.С. ВАСИЛЬЕВ (главный редактор)
А.А. ГУСЕВ
М.В. ВАРТАНОВ
А.М. ДАЛЬСКИЙ
И.Н. ЖЕСТКОВА (зам. главного редактора)
И.Н. ЗИНИНА
Ю.Л. ИВАНОВ

Ю.Г. КОЗЫРЕВ
А.И. КУМЕНКО
А.В. МЕДАРЬ
Е.А. МИКРИН
Ю.Ф. НАЗАРОВ
В.В. ПОРОШИН
Б.В. ШАНДРОВ
А.А. ШАТИЛОВ
А.Г. ХОЛОДКОВА
Г.А. ЯРКОВ

Региональные редсоветы

БЕЛГОРОД
Н.А. ПЕЛИПЕНКО

БРЯНСК
О.А. ГОРЛЕНКО

ВЛАДИВОСТОК
Ю.Н. КУЛЬЧИН
А.А. СУПОНЯ
В.М. КОРНИЕНКО

ВОЛГОГРАД
В.Г. КАРАБАНЬ
М.Г. КРИСТАЛЬ
В.И. ЛЫСАК
В.М. ТРУХАНОВ

ИЖЕВСК
И.В. АБРАМОВ
Б.А. ЯКИМОВИЧ
В.Г. ОСЕТРОВ
И.К. ПИЧУГИН

КАЗАНЬ
Р.И. АДГАМОВ

КОВРОВ
Ю.З. ЖИТНИКОВ

КОЛОМНА
Ю.Д. АМИРОВ

КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ
Б.Н. МАРЬИН
В.И. ШПОРТ
А.М. ШПИЛЕВ

НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ
С.В. ДМИТРИЕВ
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ

НИЖНИЙ НОВГОРОД
С.В. ГОЛУБЕВ

ОМСК
В.Н. КОСТЮКОВ

ОРЕЛ
Ю.С. СТЕПАНОВ
Г.А. ХАРЛАМОВ

ОРЕНБУРГ
А.Н. ПОЛЯКОВ
А.И. СЕРДЮК
А.П. ФОТ

РЫБИНСК
В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ
В.В. НЕПОМИЛУЕВ
А.Н. СЕМЕНОВ

САМАРА
М.А. ЕВДОКИМОВ
Ю.А. ВАШУКОВ
Г.А. КУЛАКОВ
В.А. НИКОЛАЕВ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
В.Ф. КУЗЬМИН
Е.В. ШАЛОБАЕВ

ТОЛЬЯТТИ
А.И. РЫЖКОВ
Б.Ф. ХАЗОВ

ТУЛА
В.В. ПРЕЙС

ХАБАРОВСК
В.А. ЛАШКО

Украина

КМЕТ
А.С. ЗЕНКИН
В.А. МАТВИЕНКО

ДОНЕЦК
А.Н. МИХАЙЛОВ

СЕВАСТОПОЛЬ
Е.Л. ПЕРВУХИНА

ХАРЬКОВ
Б.М. АРПЕНТЬЕВ

Беларусь

МИНСК
В.Л. БАСИНЮК

ГОМЕЛЬ
В.Е. СТАРЖИНСКИЙ

ПОЛОЦК
М.Л. ХЕЙФЕЦ

Ответственные за подготовку и выпуск номера:

Н.М. КУЦЬ-ЖАРКО, Л.Д. ПАРШЕНКОВА

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

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

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

1 2010
(114)

CONTENTS

Modern technologies in assembly

Beloborodov S.M., Burdyugov S.I. Shaft line vibration stability provided by precision assembling technique 3

Rodionov E.M., Tabachkova K.I. Technological methods of aberration correction in scopes by assembly 6

Production Tools and Machinery for Assembly

Moiseeva D.V., Emelyanenko A.A., Polyanchikov JU.N. The electromechanical tool for adjust jobs: modern manufacture and market in Russia. 15

Assembly Welding Works. Solder

Shtennikov V.N. Dependence of temperature of the soldering from length soldering the core 18

Quality assurance. Testing. Monitoring

Kostyukov V.N., Kostyukov A.I.V. Estimation errors of equipment by vibration condition monitoring. 22

Kumenko A.I. Use of exciters for tests, diagnostics and adjustment of turbine units . . . 29

Bondar' A.V., Mel'nikov V.P., Murtazin D.A. Manage quality assurance of rocket and space technology at the stages of testing, operation and recycling. 34

Antonjuk V.S., Vysloukh S.P., Filippova M.V., Diorditsa I.N. System of loading of the generalized production systems of assembling on the basis of statistical management difficult technological processes 41

Information

The bibliography of published in 2009 papers 46

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: sboroka@mashin.ru; tmmm@mashin.ru
Labor Red Banner Order Public Corporation "Publishing House "Mashine Building" 107076, Moscow, Stromynsky per. 4
The reference to the *Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making Journal* during reprint of the materials is mandatory.
Advertisers are responsible for the content of their advertisements.

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

Editors

MOSCOW

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

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

Regional editors

BELGOROD

PELIPENKO N.A.

BRIANSK

GORLENKO O.A.

VLADIVOSTOK

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

VOLGOGRAD

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

IZNEVSK

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

KAZAN

ADGAMOV R.I.

KOVROV

ZHITNIKOV Yu.Z.

KOLOMNA

AMIROV Yu.D.

KOMSOMOLSK-ON-AMUR

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

NABEREZHNYE CHELNY

DMITRIEV S.V.
KHISAMUTDINOV R.M.

NIZHNY NOVGOROD

GOLUBEV S.V.

OMSK

KOSTIUKOV V.N.

OREL

STEPANOV Yu.S.
KHARLAMOV G.A.

ORENBURG

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

RYBINSK

BEZIAZYSHNY V.F.
NEPOMILUEV V.V.
SEMENOV A.N.

SAMARA

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

ST.-PETERSBURG

KUZMIN V.F.
SHALOBAEV E.V.

TULA

PREYS V.V.

TOLIATI

KHAZOV B.F.
RYZHKOVA A.I.

KHABAROVSK

LASHKO V.A.

Ukraine

KIEV

ZENKIN A.S.
MATVIENKO V.A.

DONETSK

MIKHAILOV A.N.

SEVASTOPOL

PERVUKHINA E.L.

KHARKOV

ARPENTIEV B.M.

Belarus

MINSK

BASINJUK V.L.

GOMEL

STARZHINSKI V.E.

POLOTSK

KHEIFETZ M.L.

Executive editors of current issue:

KUSH-ZHARKO N.M., PARSHENKOVA L.D.

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

УДК 621.824:621.64

С.М. Белобородов, С.И. Бурдюгов, канд-ты техн. наук (НПО "Искра", г. Пермь)
E-mail: onv805@iskra.perm.ru

Обеспечение виброустойчивости валопровода методом прецизионной сборки

Предложена концепция обеспечения виброустойчивости валопровода за счет использования метода прецизионной сборки как элементов, так и валопровода в целом, обеспечивающего уменьшение эксцентриситетов осей элементов валопровода в сравнении с традиционной сборкой, компенсацию распределенных дисбалансов валопровода, приведение дисбаланса валопровода к уровню, соизмеримому с дисбалансами его элементов.

There was proposed the concept of shaft line vibration stability provision by using precision assembly technique both for components and shaft line itself resulted in eccentricity decrease of shaft line components axes as compared with conventional assembly, compensation of shaft line distributed unbalances, equalization of shaft line unbalance with the unbalance of it's components.

Ключевые слова: виброустойчивость, валопровод, дисбаланс.

Key words: vibration stability, shaft line, unbalance.

При проектировании современных энергоагрегатов, включающих в себя валопровод, серьезное внимание уделяется элементам, в него входящим. В последние 10 лет в научно-технической литературе фундаментально и обстоятельно рассмотрены вопросы балансировки роторов и центровки валов при сборке агрегатов. Наиболее заметные работы опубликованы Е.В. Урьевым и А.С. Глейзером.

Однако проблема виброустойчивости валопровода, т.е. его способности преодолевать вынужденные или параметрические колебания остались за пределами исследований. При рассмотрении этой проблемы предполагается сопоставление традиционных методик сборки и балансировки с предлагаемыми, предусмат-

ривающими активное внедрение измерения отклонений формы, их паспортизацию, моделирование с учетом величин отклонений, т.е. замену большей части пригоночных металло-режущих работ целесообразной сборкой по смоделированному варианту.

Проблема носит прикладной характер, ее решение актуально для современного топливно-энергетического комплекса, являющегося основой экономики России.

Обеспечение виброустойчивости валопровода включает в себя комплекс мероприятий, предусматривающий работы планируемые (проектно-производственные, монтажные, эксплуатационные) и выполняемые исходя из технического состояния объекта (компенсационные).

В предлагаемой статье валопровод является объектом исследований, а их предметом — условия возникновения вибраций в каждом его элементе. При этом рассматривается обеспечение виброустойчивости за счет прецизионной сборки.

Для уточнения поставленной задачи следует рассмотреть условия, в которых работает валопровод, и как отражается на его виброустойчивости изготовление составляющих элементов, их сборка и балансировка, монтаж и приработка в ходе приемосдаточных испытаний. Эти пять этапов работ, влияющие на уровень вибраций и виброустойчивости валопровода, обладают и взаимовлиянием: погрешности изготовления элементов (деталей) валопровода приводят к дисбалансу и могут быть уменьшены или увеличены при сборке элементов, уменьшены до нормативных при балансировке, значительно увеличены при установке и



незначительно при приработке, после чего окончательно откорректированы.

Погрешности изготовления элементов валопровода зависят от качества технологического оборудования и квалификации персонала, поэтому не рассматриваются. Изменение дисбаланса при сборке – фактор, устраняющий при соответствующем подходе излишнюю работу при балансировке. По результатам сборки в процесс балансировки можно вносить коррективы.

При монтаже валопровода случайный характер установки его элементов всегда приводит к значительному увеличению дисбаланса, который можно несколько снизить за счет минимизации эксцентриситетов, но устранить дисбаланс полностью нельзя. Привести в норму дисбаланс, определяемый эксцентриситетом, можно только его коррекцией [1]. Повторная коррекция после приработки обеспечивает заданную виброустойчивость по показателю "обеспечение при сборке".

При первичной приработке собранного валопровода вектор его дисбаланса изменяется как по величине, так и по направлению. Основная причина – взаимное перемещение осей (изменение эксцентриситета) собранных вместе элементов валопровода. Разумеется, это не следствие износа сопряженных отверстий и болтов, а следствие перемещения одного фланца относительно другого по плоским поверхностям в пределах зазоров в сопряжении болт–отверстие под воздействием крутящего момента.

По данным, полученным в ходе приемосдаточных испытаний в НПО "Искра", изменение эксцентриситета может достигать 5 мкм (в некоторых случаях – 7 мкм), а направления вектора – до 30°. При этом коррекция, проведенная повторно, снижает величину виброперемещений в нерабочем диапазоне оборотов на 20–30 %, а в рабочем – на 40–60 % при условии исчисления отношений величин виброперемещений после первой коррекции к величинам, измеренным после второй коррекции.

Соотношение виброперемещений валопровода без коррекции и после нее выражено кратностью 3–5 раз. Коррекцию целесообразно проводить один раз после первичной приработки, однако при недостаточной эффективности выполнения работ (или при их невыполнении) по минимизации взаимных радиальных биений элементов валопровода при сборке (если это делает невозможным проведение приемосдаточных испытаний в диапазоне рабочих оборотов) операцию все же придется выполнять дважды.

Трудоемкость операции минимизации эксцентриситета может быть сокращена, если при изготовлении тел вращения, подлежащих сборке, измерять не только величины обработанных поверхностей относительно базовых, но и места биений и маркировать эти поверхности. Существенным дополнением к традиционно установившемуся способу измерения может послужить маркировка точек экстремумов. Это, в свою очередь, позволит до сборки выполнить ее моделирование с прогнозом результатов при использовании САПР "Компас". При этом операция моделирования, занимающая 10–12 мин, позволит отказаться от 2–3-часовой выборки металла при балансировке.

Традиционная операция маркировки "тяжелых" точек и их взаимное ориентирование при сборке валопровода приводит к увеличению погрешности при сборке, так как балансировочные поверхности тел вращения с их установочными поверхностями (отверстиями) никогда не совпадают. Подобная сборка со случайным положением эксцентриситетов чаще всего приводит к увеличению дисбаланса сборочной единицы в 15–25 раз (что известно каждому слесарю-балансировщику).

При наиболее распространенной ступенчатой балансировке этот дисбаланс устраняется удалением металла с поверхностей тел вращения, что не идет на пользу аэродинамике и, кроме того, является достаточно трудоемкой операцией. В интересах снижения времени и трудоемкости балансировки сборку роторов и



других сложных сборных конструкций следует проводить, руководствуясь эксцентриситетом посадочных поверхностей относительно балансирующих. Соответственно следует отказаться от такого анахронизма, как "тяжелая" точка. Последняя применима только при идентичности балансирующих и установочных поверхностей, что само по себе – технический курьез: почти всегда посадочная поверхность одна, а балансирующих – две.

Достаточно существенным фактором увеличения дисбаланса валопровода является изменение характеристик его отдельных элементов.

Наиболее незащищенная часть валопровода – трансмиссия (ввиду ее вынужденного положения при монтаже, обусловленного тем, что она всегда работает вне собственной оси масс) [2]. Это несовпадение делает ее возмущителем вибраций, степень которых определяется монтажным дисбалансом вибраций, зависящим от эксцентриситета установки. Последний, в свою очередь, увеличивает нагрузки на гибкие элементы трансмиссии, изгибает вал, приводя к дополнительному дисбалансу, прирост которого может быть остановлен в лучшем случае силами упругости конструкции, в худшем – аварийным остановом системы (по безопасности).

Совместить ось вращения трансмиссии с собственной осью масс практически невозможно, да и экономически нецелесообразно. Справиться с этой ситуацией проще всего коррекцией ее монтажного дисбаланса [3]. Однако имеется организационная сложность: в конструкции агрегата не заложен контроль состояния трансмиссии ни в прямом, ни в косвенном виде.

Следовательно, коррекцию дисбаланса трансмиссии следует проводить исходя не только из постоянно измеряемых характеристик – вибрации опор привода или исполнительного механизма (что является условием необходимым), но и из периодически измеряемых или вычисляемых по результатам измерений – эксцентриситета и дисбаланса вала трансмиссии (достаточное условие).

Целесообразнее всего одновременно корректировать дисбаланс установленной трансмиссии по плоскостям как примыкающим к присоединительным фланцам, так и находящимся на подвешенном валу. Последнее позволит уравновесить вал трансмиссии, что сильно снизит нагрузки на гибкие пластинчатые элементы, определяющие долговечность трансмиссии в сборе и поддерживающие уровень виброхарактеристик агрегата в целом. Обусловленное этим снижение изнашивания подшипников роторов при отрицательной обратной связи подшипники → трансмиссия увеличивает ее ресурс.

Таким образом, при выполнении прецизионной сборки, обеспечивающей виброустойчивость валопровода, предлагается использовать попарное взаимодавление отрицательных факторов и упреждающую ликвидацию условий возникновения непарных отрицательных факторов.

Библиографический список

1. Белобородов С.М., Юрченко В.В. Корректировка дисбаланса валопровода // Научно-технический сборник "Транспорт и подземное хранение газа". 2008. № 3. С. 38–39.
2. Положительное решение ФИПС от 3.04.09 по заявке № 2008114123/06.
3. Белобородов С.М., Козинев А.М. Коррекция монтажных дисбалансов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2008. № 10. С. 7–8.



УДК 681.7.028

Е.М. Родионов, канд. техн. наук, доцент, К.И. Табачкова*(кафедра "Оптико-электронные приборы научных исследований" МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5)**E-mail: kristi_cryinglemur@land.ru*

Методы компенсации погрешностей при сборке оптических приборов

В работе рассмотрены технологические методы компенсации погрешностей оптических приборов. Основное внимание уделено компенсации погрешностей при центрировке линзы в оправе и конструктивно-технологическим приемам повышения качества соединения линза – оправа при сборке методом полной взаимозаменяемости.

Разработана методика определения угла и расстояния между рабочим элементом линзы и базирующим элементом оправы. Выявлена методическая погрешность центрировочного приспособления и указаны пути ее уменьшения. На примере четырех типовых линз показаны пути повышения качества соединения.

This paper describes technological methods of aberration correction in scopes. In general it discusses aberration correction for lens in frame centering and constructively ways of how to increase the quality of lens-frame combination in complete interchangeability assembling.

The method of determination of angle and distance between effective area of lens and basic element of frame is designed. The mistake of centering device and the way of it decreasing is specified. Finally, this paper sets an example of increasing the quality of lens-frame combination for four type lenses.

Ключевые слова: методы, компенсация, центрировка, линза, оправа, рабочий элемент, базирующий элемент.

Key words: methods, correction, centering, lens, frame, effective area, basic element.

Компенсация погрешностей оптических приборов, возникающих при конструировании, изготовлении, сборке и эксплуатации, является одним из путей повышения их качества.

Компенсация представляет собой особые методы, процессы и средства, применяемые в

целях достижения требуемой точности функционирования устройства в тех случаях, когда не удастся обеспечить эту точность доступными для обычных производственных условий методами, процессами и средствами или когда внешние факторы, обусловленные сложными условиями работы, вызывают появление сильно влияющих эксплуатационных погрешностей.

Различают три метода компенсации погрешностей оптических приборов:

- технологический, заключающийся в дополнительной обработке деталей, а также в регулировках и юстировках в процессе сборки прибора;
- организационно-технический, включающий в себя селекцию деталей, введение поправок, рандомизацию погрешностей, составление таблиц влияния и т.д.;
- конструктивный, который осуществляют с помощью регулировочных устройств, устройств стабилизации и коррекции и т.д.

Центрирование линзы в оправе

Существует несколько способов центрирования линз при их соединении с оправой, один из них – автоколлимационный. Такой способ называют автоколлимационной сборкой.

Центрирование с помощью автоколлиматора

Строго говоря, такая система не должна называться автоколлиматором, так как коллимация в своем первоначальном значении означает параллельный ход лучей. Однако широкая

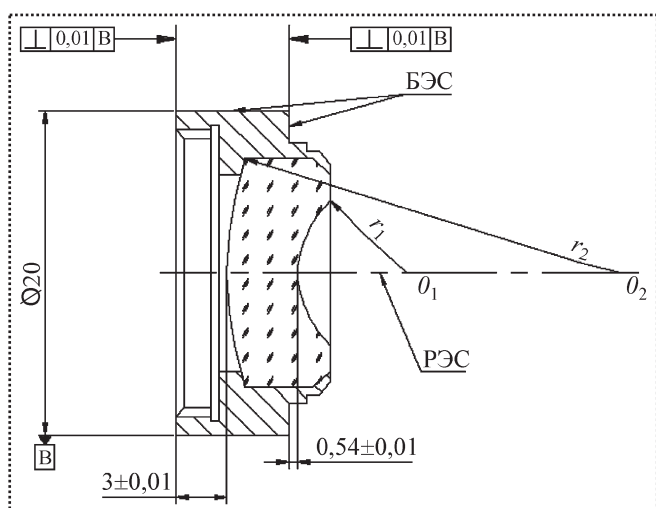


Рис. 1. Линза в оправе для автоколлимационной сборки: БЭС – базирующий элемент соединения, РЭС – рабочий элемент соединения

практика применения автоколлимационных методов распространила это название на системы, работающие с непараллельными пучками. Далее эту систему будем называть трубкой ЮС-13 или трубкой А.А. Забелина (по фамилии ее автора).

Линзы, предназначенные для автоколлимационной сборки, в оптическом цехе центрируют с невысокой точностью (0,03–0,1 мм).

Для примера рассмотрим линзу фотообъектива в оправе (рис. 1). На чертеже обычно задают допуск на децентрировку (например, несовпадение осей $\theta_1\theta_2$ и оси $\text{Ø}20$ не более 0,01 мм).

Оправы для линз изготавливают в механическом цехе с припусками по базирующим диаметру и торцам. Затем линзы закрепляют в оправе завальцовкой или резьбовым кольцом. О центрировке не заботятся.

Для выполнения центрирования требуется токарный станок с биением шпинделя не более 3–5 мкм, оптическое устройство ЮС-13 и регулируемый центрировочный патрон.

Устройство автоколлимационной трубки ЮС-13

Схема трубки Забелина приведена на рис. 2. Она содержит подвижный объектив 2, осветитель с источником 13, конденсором 12 и зеркалом 14; объектив и осветитель разделяет зеркало 1, имеющее прозрачное отверстие (диафрагму) или крест; микроскоп М, состоящий из объектива 3, измерительной сетки 4 и окуляра 5. Для фиксации грубого отклонения используется экран 6.

К корпусу 7 крепятся регулировочные пружины 8 и 11 с винтами 9 и 10. Эта система требуется для юстировки трубки на совмещение осей шпинделя и трубки после ее установки по конусу в пиноль задней бабки.

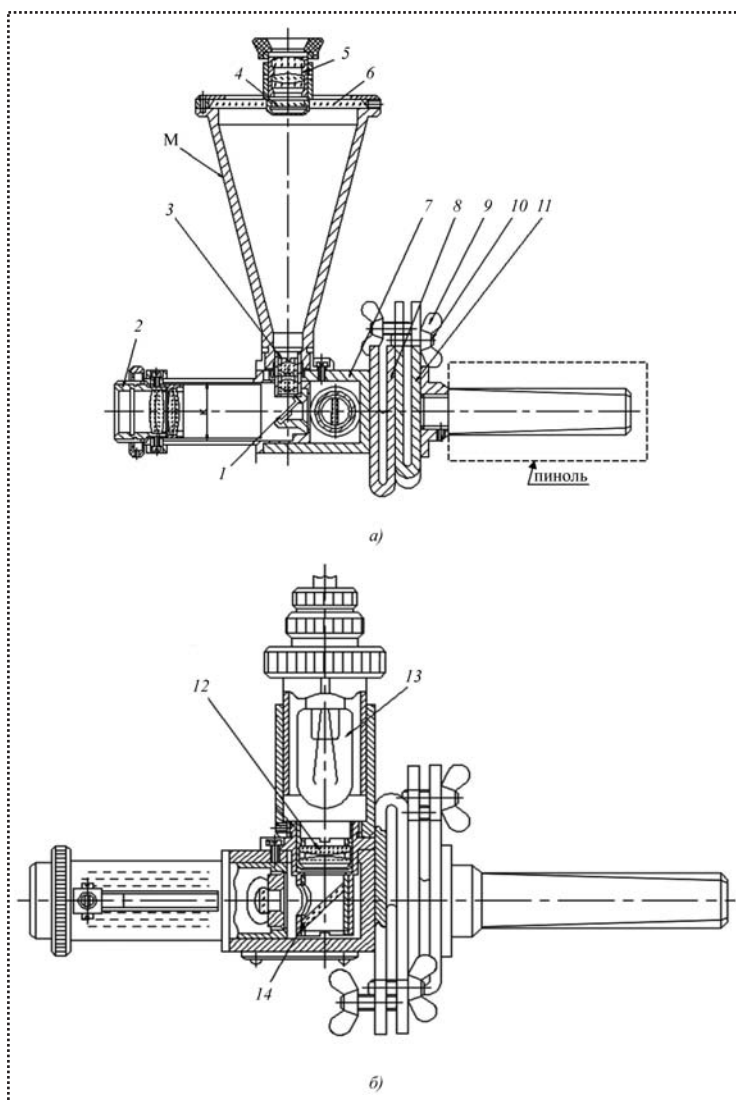


Рис. 2. Устройство автоколлимационной трубки ЮС-13

Устройство центрирующего патрона

Патрон (рис. 3) включает в себя муфту 1 для закрепления и ориентирования на шпинделе. Центрирование тем точнее, чем точнее установлен патрон относительно оси шпинделя. Наиболее точное ориентирование возможно по коническому хвостовику (вместо посадочного пояса D должен быть хвостовик). На муфте установлен корпус 2 патрона в виде втулки с четырьмя радиальными винтами 4, которые используются для перемещения внутренней части патрона через стакан 3 в плоскости XOY . Винты 5 служат для поворота сферической шайбы 6 (выпуклой или вогнутой) с установленной на ней оправой с линзой.

Основные параметры патрона – действительные радиус R_n сферической шайбы 6 и расстояние B от вершины шайбы до ее торца наносят на патрон клеймением.

Выбор центрирующего патрона определяется радиусом кривизны той поверхности центрируемой линзы, с которой начинается процесс центрирования. Например, отрицательный патрон применяется только при больших отрицательных радиусах кривизны первой поверхности центрируемой линзы.

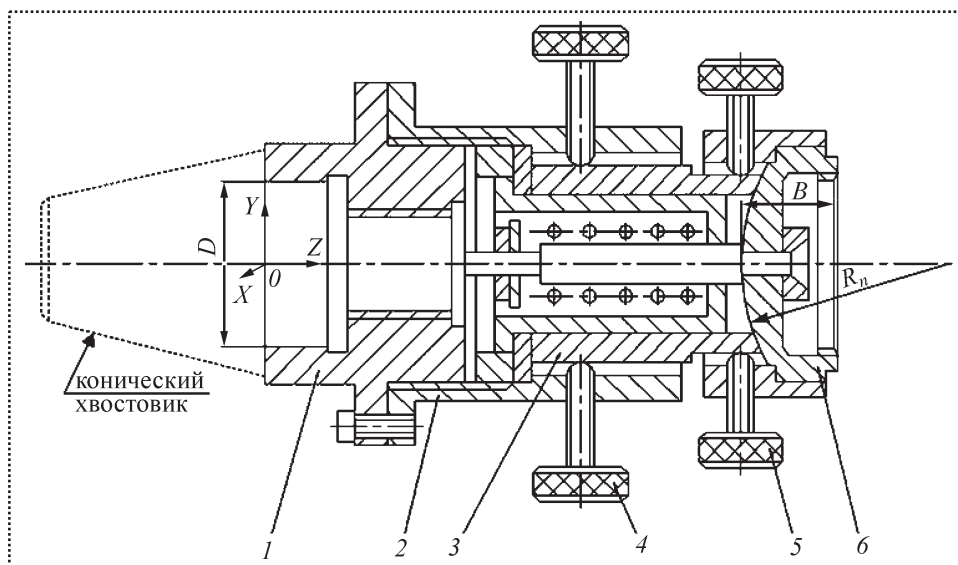


Рис. 3. Схема центрирующего патрона

Выбор патрона и расчет оправки

Центрирование линзы, как правило, необходимо начинать с устранения децентрирования поверхности, ближайшей к микроскопу. В исключительных случаях, когда совмещены центры кривизны сферической части патрона и поверхности линзы, не являющейся ближайшей к микроскопу, центрирование поверхностей линзы проводят попеременно методом последовательных приближений.

Радиус первой поверхности центрируемой линзы определяет длину переходной оправки к центрирующему патрону. Длина оправки равна расстоянию между опорными торцами центрирующего патрона и оправы центрируемой линзы. Расчет длины переходной оправки покажем на примерах.

Пример 1. Положительный патрон. В зависимости от конкретных данных линзы возможны два варианта расчета переходной оправки.

Вариант 1. За первую поверхность центрируемой линзы выбрана поверхность радиусом R'_1 с центром в точке O'_1 (рис. 4, а). Тогда длина оправки

$$L = R'_n - R'_1 - B - P - d.$$

Вариант 2. За первую выбрана поверхность радиусом R''_1 с центром в точке O''_1 . Тогда

$$L = R''_n - R''_1 - B - P.$$

Пример 2. Отрицательный патрон. Длина оправки (рис. 4, б)

$$L = R_n - R_1 - B - P - d.$$

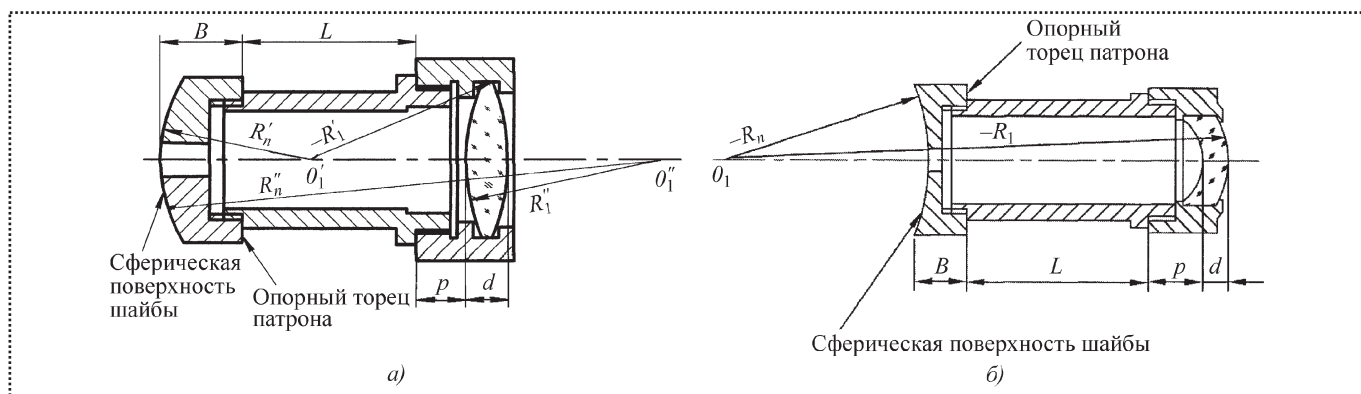


Рис. 4. Схемы к расчету длины переходных оправок при центрировании:
 а – для положительного патрона; б – для отрицательного патрона

Процесс центрирования

Трубку Забелина устанавливают в пиноли задней бабки (рис. 5) и с помощью двух винтов 9 (один из них на рисунке не показан) наклон трубки в двух взаимно-перпендикулярных направлениях совмещают ось трубки с осью вращения шпинделя. Оправу 2 с линзой 3 размещают в центрировочном патроне (рис. 5, а)

так, чтобы центр O_1 кривизны ее поверхности, ближайшей к трубке, находился в плоскости расположения центра O кривизны сферической части патрона 1 (эта плоскость перпендикулярна оси шпинделя).

Если длина оправы не позволяет совместить O_1 и O , то берут другой патрон или используют промежуточную оправку (расчет оправки

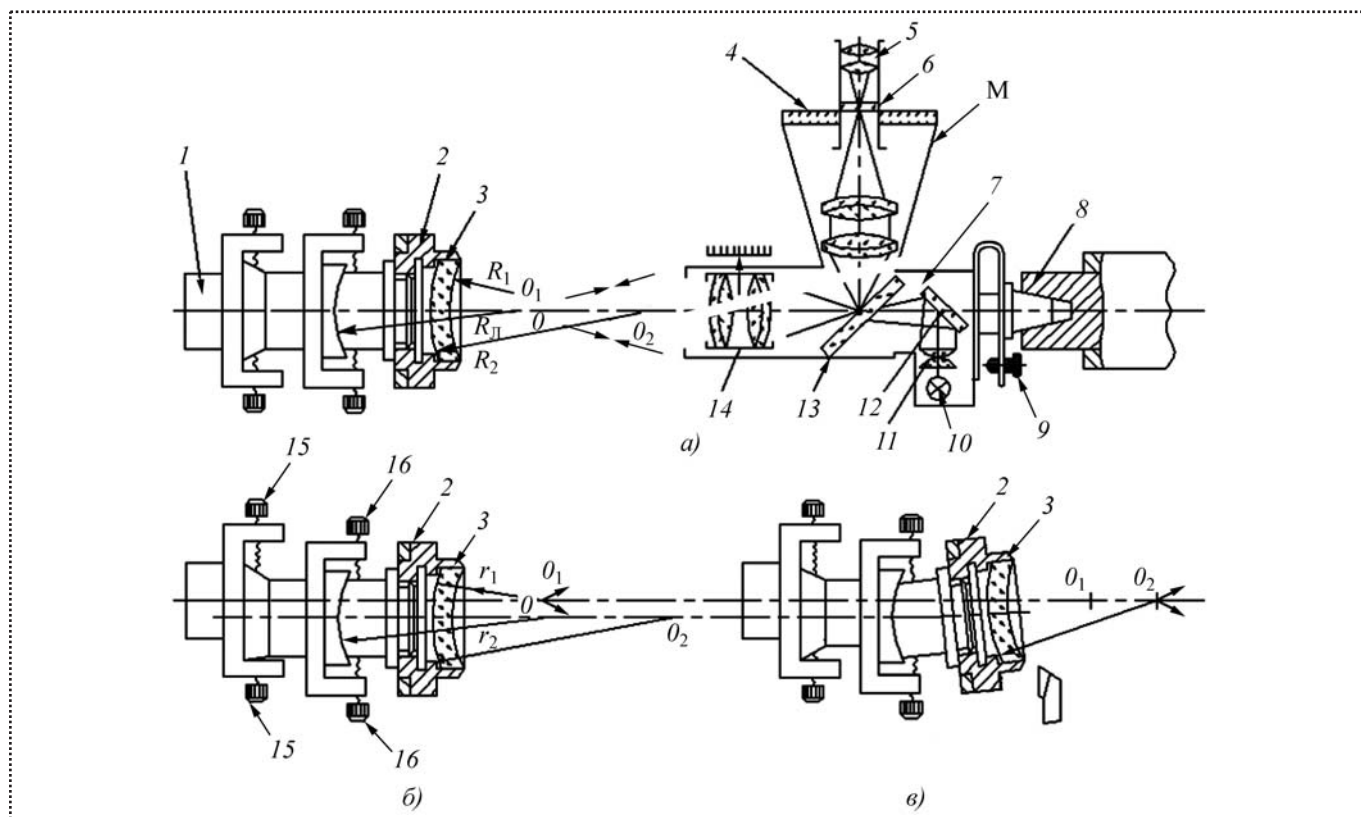


Рис. 5. Центрирование по автоколлиматору



смотри выше). Включают осветитель. Пучок лучей от источника света 10 проецируется конденсатором 11 и после отражения от зеркала 12 на плоскость зеркала 13, имеющего прозрачное отверстие (диафрагму) или крест, объектив 14 проецирует лучи в точку на оптической оси трубки.

Передвигая пиноль 8 задней бабки станка, в которой через конический хвостовик установлена трубка 7, совмещают изображение диафрагмы (точку), сформированное объективом 14, с плоскостью расположения центров кривизны θ_1 линзы и θ – сферической чашки патрона. Момент совпадения определяют по резкому изображению диафрагмы, видимому в окуляре 5, так как лучи, отраженные от поверхности линзы, проходят свой путь в обратном направлении и проецируются объективом 14 на плоскость зеркала 13. Смещенное изображение диафрагмы рассматривают в микроскоп М на его сетке 6. Если смещение велико, то изображение попадает на экран 14 и не "потеряется" в процессе настройки. При вращении шпинделя изображение диафрагмы будет описывать окружность диаметром D в плоскости сетки микроскопа.

Теперь совмещают точку θ_1 с осью шпинделя. Для этого вращением винтов 15, расположенных через 90° вокруг оси шпинделя, подвижную часть патрона смещают по осям Y и Z до тех пор, пока точка θ_1 не совместится с осью шпинделя, т.е. $D = 0$ (рис. 5, б) и биение центра θ_1 при вращении не наблюдается.

Затем смещают объектив 14 в трубке до получения резкого изображения диафрагмы, сформированного пучком лучей, отраженным от второй поверхности линзы с центром кривизны θ_2 . Если при вращении шпинделя наблюдается смещение изображения диафрагмы, то вращают винты 16, поворачивая сферическую часть патрона, до устранения биения изображения диафрагмы на сетке 6 микроскопа. Это означает, что центр θ_2 лежит на оси шпинделя (рис. 5, в). При этом будет происходить смещение центра θ_1 с оси шпинделя.

Объектив 14 в корпусе трубки может смещать изображение диафрагмы (точки) от торца трубки на расстояние от -15 см до $-\infty$ и от $-\infty$ до $+9$ см, что позволяет проводить центрирование линз с радиусами рабочих поверхностей практически любой величины. Однако при смещении объектива 14 изменяется линейное увеличение $\beta_{об}$ объектива трубки, что необходимо учитывать при измерении децентрировки C . Ее величину, образованную при несовпадении центров кривизны θ_1 или θ_2 поверхностей линзы с осью вращения шпинделя, определяют по формуле:

$$C = \frac{D}{4\beta_{об}\beta_m} = \frac{m}{4\beta_{об}\beta_m} N, \quad (1)$$

где β_m – линейное увеличение микроскопа;

m – цена деления сетки микроскопа;

N – число делений сетки, соответствующее диаметру D .

В результате оправа линзы будет иметь перекос относительно оси шпинделя, но зато оптическая ось $\theta_1\theta_2$ совмещена (с погрешностью) с осью шпинделя (см. рис. 5, в). Получившийся от юстировки перекос оправы устраняют обработкой резцом базовых поверхностей, не снимая оправы с центрировочного патрона.

Наружную поверхность оправы с $\varnothing 20$ мм протачивают до размера, равного диаметру корпуса объектива с минимально необходимым зазором (порядка 0,01 мм). Торцы оправы подрезают так, чтобы можно было выдержать указанный на чертеже (рис. 6) размер $0,54 \pm 0,01$ мм. Расстояние от линзы до торца при подрезке измеряют индикаторным приспособлением, показанным на рис. 6, а.

Затем оправу снимают с центрировочного патрона и устанавливают в цанговый патрон токарного станка на обработанные базовые поверхности (рис. 6, б). Подрезают второй опорный торец оправы, так чтобы выдержать размер $3 \pm 0,01$ мм до второй поверхности линзы. Процесс центрирования линзы окончен.

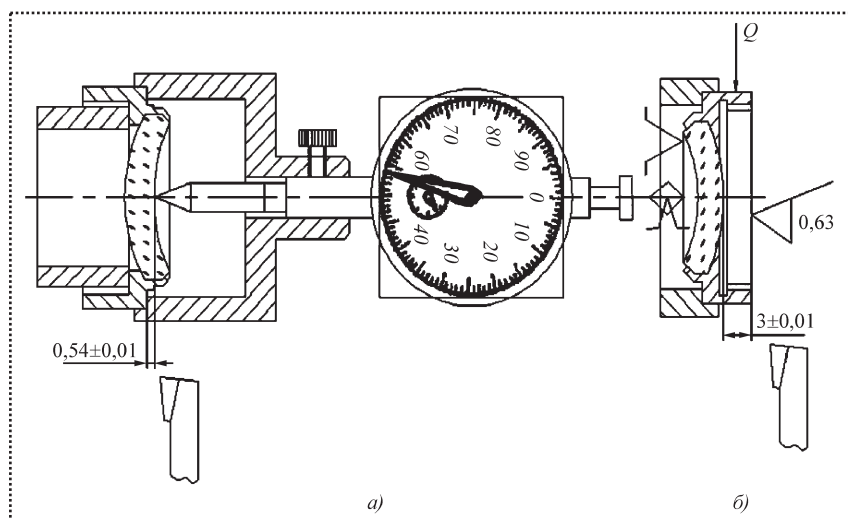


Рис. 6. Обработка оправы линзы после центрирования

Определение методической погрешности способа центрирования

Как отмечалось, при центрировании второго центра первый смещается с оси шпинделя.

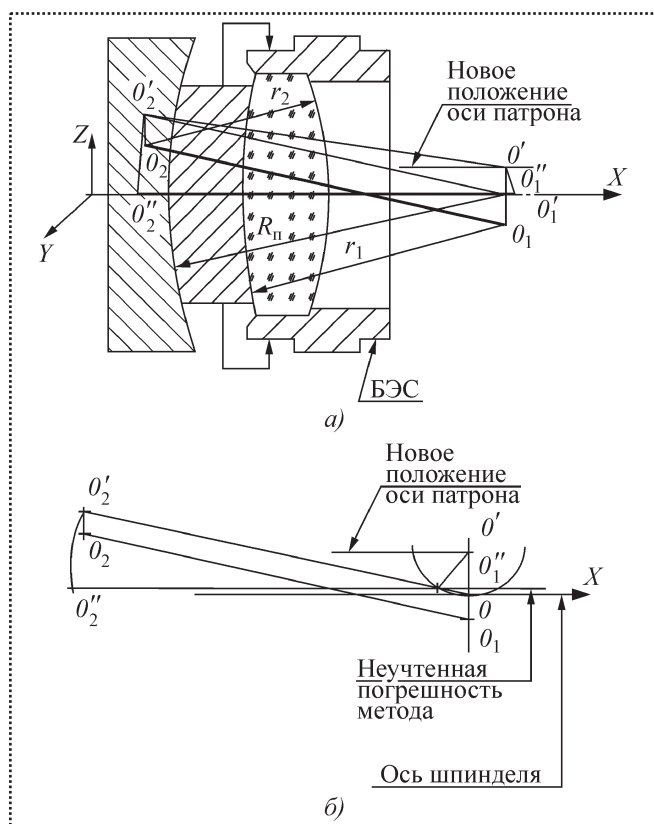


Рис. 7. Схемы к определению методической погрешности метода центрирования

Величина смещения определяется графически. Разработана методика этого построения для двояковыпуклой линзы (рис. 7). Здесь O_1O_2 – оптическая ось до центрирования, O – центр сферы патрона. Ось патрона совпадает с осью шпинделя в системе координат XYZ , ось шпинделя совпадает с осью OX .

Сначала смещаем патрон в плоскости YOZ до совмещения точки O_1 с точкой O . Ось патрона займет новое положение. Центр сферы патрона переместится в точку O' , центр кривизны O_2 – в точку O'_2 . Вращая винты, поворачиваем сфе-

рическую часть патрона вокруг центра O' , чтобы центр сферы O_2 из точки O'_2 переместить на ось шпинделя в точку O''_2 . При этом повороте первый центр кривизны из точки O'_1 переместится в точку O''_1 . Оптическая ось O_1O_2 не совпадает с осью вращения шпинделя, появляется "неуточненная погрешность метода".

Построения сделаны для шести основных линз: двояковыпуклой, двояковогнутой, вогнуто-плоской, выпукло-плоской, выпукло-вогнутых менисков.

Очевидно, что для уменьшения этой погрешности надо начинать центрирование с поверхности линзы, которая расположена точнее относительно оси шпинделя, или повторить весь процесс.

Математическая модель

Для вычисления погрешности расположения осей по схеме на рис. 8 разработана математическая модель. Заданы две скрещивающиеся прямые a и b . Плоскости φ и ψ получены параллельным переносом a и b до пересечения. Например, b переносится параллельно самой себе до пересечения с a в точке A . Две пересекающиеся прямые задают плоскость φ . Переносом a до пересечения с b получим плоскость ψ , причем φ параллельна ψ . Вводим два коллинеарных вектора \vec{a} и \vec{b} , $a \subset \varphi$, $b \subset \psi$.

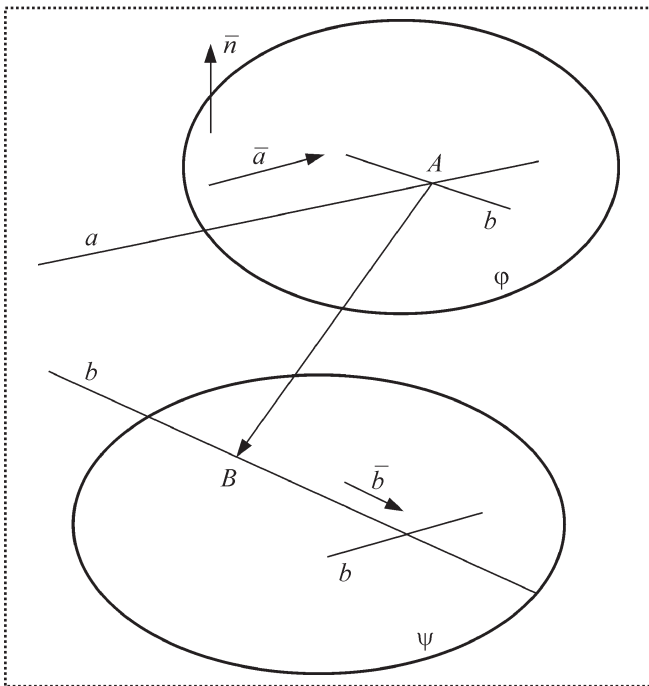


Рис. 8. Схема к созданию математической модели

Канонические уравнения прямых a (2) и b (3) имеют вид:

$$\frac{x-A_1}{a_1} = \frac{y-A_2}{a_2} = \frac{z-A_3}{a_3}; \quad (2)$$

$$\frac{x-B_1}{b_1} = \frac{y-B_2}{b_2} = \frac{z-B_3}{b_3}, \quad (3)$$

где $A(A_1, A_2, A_3) \in \varphi$;

$$B(B_1, B_2, B_3) \in \psi.$$

Вектор $\overline{AB}(B_1 - A_1, B_2 - A_2, B_3 - A_3)$,
 $\bar{a}(a_1, a_2, a_3) \in \varphi, \bar{b}(b_1, b_2, b_3) \in \psi$.

Скалярное произведение

$$\begin{aligned} |\bar{a} \times \bar{b}| &= \left(\begin{vmatrix} a_2 a_3 \\ b_2 b_3 \end{vmatrix}; \begin{vmatrix} a_3 a_1 \\ b_3 b_1 \end{vmatrix}; \begin{vmatrix} a_1 a_2 \\ b_1 b_2 \end{vmatrix} \right) = \\ &= (a_2 b_3 - a_3 b_2; a_3 b_1 - a_1 b_3; a_1 b_2 - a_2 b_1). \end{aligned}$$

Расстояние между скрещивающимися прямыми

$$\rho(a, b) = \frac{|(B_1 - A_1)(a_2 b_3 - a_3 b_2) + (B_2 - A_2)(a_3 b_1 - a_1 b_3) + (B_3 - A_3)(a_1 b_2 - a_2 b_1)|}{\sqrt{(a_2 b_3 - a_3 b_2)^2 + (a_3 b_1 - a_1 b_3)^2 + (a_1 b_2 - a_2 b_1)^2}}, \quad (4)$$

угол между ними

$$\cos \alpha = \frac{|a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3|}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2 + a_3^2} \sqrt{b_1^2 + b_2^2 + b_3^2}}. \quad (5)$$

Вычисление угла и расстояния между оптической осью и осью оправы

Установив в патроне оправу и включив освещение в окуляре, видим (рис. 9) ось OZ базисрующего элемента. Наводим окуляр на θ_2 и измеряем $\theta' \theta_2$, наводим на θ_1 и измеряем $\theta_1 \theta$. Если в чертеже заданы их отклонения, то известна полная картина погрешностей по расположению центров кривизны. Осталось измерить расстояние и угол между осями.

Вводим систему координат XYZ так, что плоскость XOY проходит через точку θ_1 . Ось измерительного устройства совпадает с OZ ; θ_1 – центр правой сферы, θ_2 – центр левой сферы, отрезки $\theta \theta_1$ и $\theta' \theta_2$ определяют децентрировку первой и второй поверхностей соответственно.

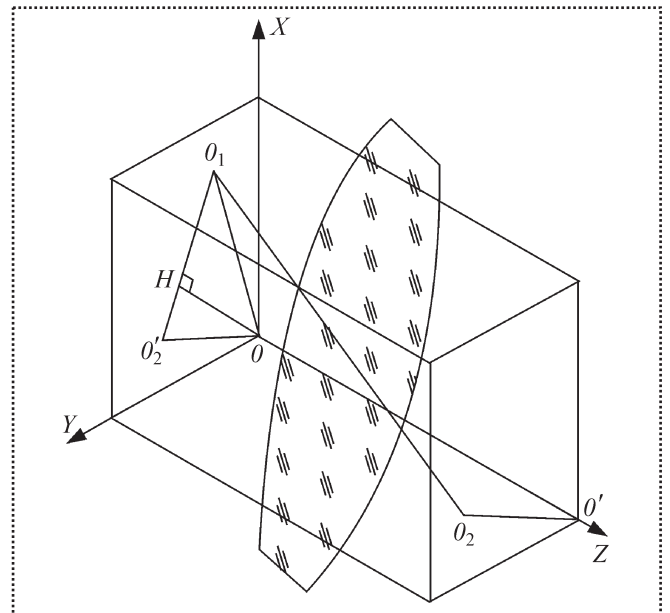


Рис. 9. Схема к вычислению расстояния между оптической осью и осью оправы



Найдем расстояние ρ между o_1o_2 и OZ . Плоскость XOY перпендикулярна OZ , тогда ρ – расстояние между их ортогональными проекциями на плоскость XOY . Ортогональная проекция OZ – точка O . Проекцию o_1o_2 построим, спроектировав точку o_2 на XOY (точка o'_2), значит, $o_1o'_2$ – проекция o_1o_2 и перпендикуляр OH – искомое расстояние. Вычислим его.

Векторизуем отрезки:

$$\overline{oo_1} = x_1i + y_1j; \quad o_1(x_1, y_1);$$

$$\overline{oo'_2} = x_2i + y_2j; \quad o'_2(x_2, y_2).$$

Уравнение o'_2o_1 :

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1$$

или общее уравнение прямой

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) - y + y_1 = 0.$$

Введем обозначения

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = k; \quad c = y_1 - x_1 \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

и получим общее уравнение прямой

$$kx - y + c = 0.$$

Расстояние ρ от точки $O(x_0, y_0)$ до прямой $o_1o'_2$

$$\rho(O; o'_2) = \frac{|ax_0 + by_0 + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{|kx_0 - y_0 + c|}{\sqrt{k^2 + 1}} = OH. (6)$$

Перенесем параллельно ось OZ в точку o_2 (рис. 10), тогда α – искомый угол:

$$\alpha = \arctg \frac{o_1o'_2}{o'_2o_2}$$

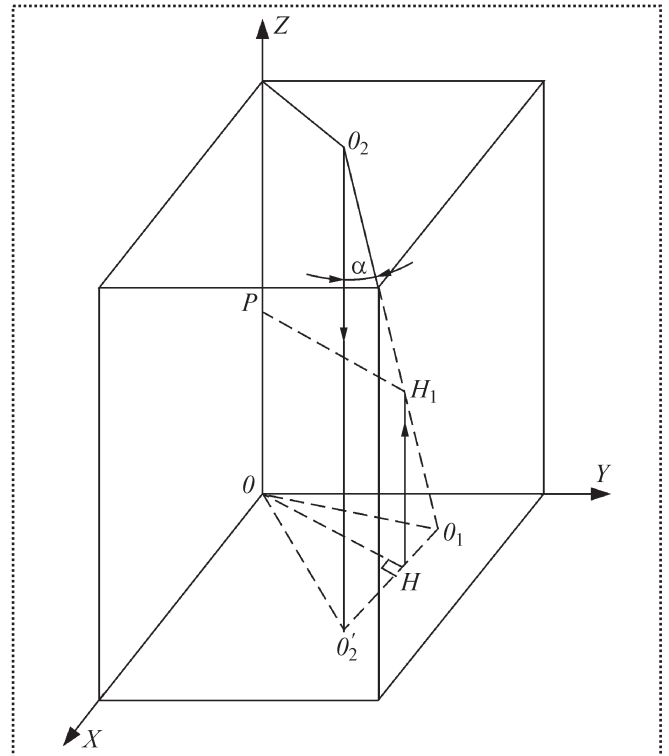


Рис. 10. Схема к вычислению угла между оптической осью и осью оправы

или

$$\alpha = \arccos \frac{o_2o'_2}{o_1o_2}. \quad (7)$$

Переносим отрезок OH параллельно до пересечения с o_1o_2 в точке H_1 , тогда PH_1 – истинное положение расстояния между o_1o_2 и OZ . Видно, что

$$\Delta H_1HO_1 \text{ подобен } \Delta o_2o'_2o_1,$$

тогда

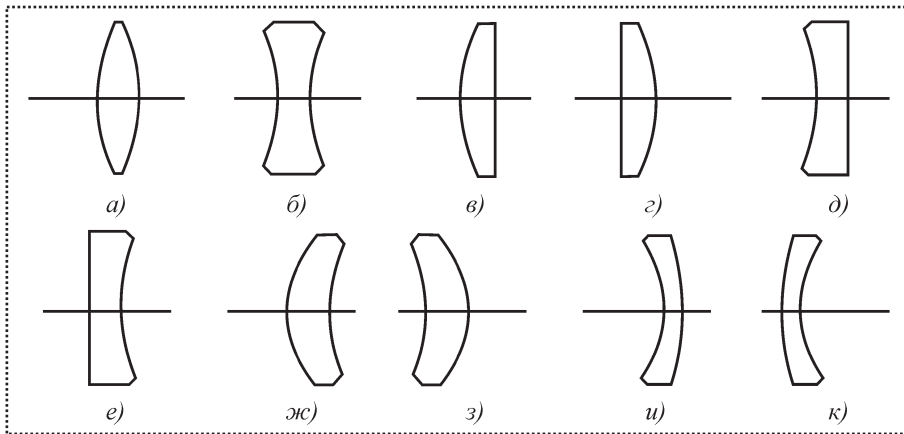
$$H_1H / o_2o'_2 = H_1O_1 / o_2o_1$$

или

$$H_1H = OP = H_1O_1 \cdot o_2o'_2 / o_2o_1.$$

Оценка рассмотренных способов центрирования

Анализ проведен для десяти типов линз, представленных на рис. 11. По его результатам составлена табл. 1 оценки методов центрирования.


Рис. 11. Типы линз:

a – двояковыпуклая; *b* – двояковогнутая; *v* – выпукло-выпуклая; *z* – плоско-выпуклая; *d* – вогнуто-выпуклая; *e* – плосковогнутая; *ж, к* – выпукло-вогнутый мениск; *з, и* – вогнуто-выпуклый мениск

Таблица 1

Оценка методов центрирования

Метод	Точность	Конструкция линзы	Тип производства	Производительность	Себестоимость
Глазом по блику с осветителем	+	<i>a-d</i>	Мелкосерийное	+	+
По блику с АК: по блику с окуляром	++	<i>a-k</i>	Серийное	++	++
По блику с АК: по блику с ПЗС	++	<i>a-k</i>	То же	+++	++
В самоцентрирующем патроне	++	<i>a-d</i>	Среднесерийное	+++	+
Центрирование в приспособлении микроскопом с окуляром	++	<i>a-d</i>	Серийное	++	+++
Центрирование в приспособлении микроскопом с экраном	++	<i>a-k</i>	Среднесерийное	+++	++++
Центрирование в приспособлении микроскопом с ПЗС	++	<i>a-k</i>	То же	+++	+++++
Центрирование в оправе (окуляр)	+++	<i>a-d</i>	Серийное	+++	+++
Центрирование в оправе (ПЗС, монитор)	+++	<i>a-k</i>	Среднесерийное	++++	+++++

* Не измеряется остаточная децентрировка.

Примечания: АК – автоколлиматор; ПЗС – прибор зарядовой связи.

(Продолжение следует)

СБОРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЕГО ЭЛЕМЕНТЫ

УДК 621.937:339.13

Д.В. Моисеева, ст. преподаватель, **А.А. Емельяненко**, канд. техн. наук, доцент,
Ю.Н. Полянчиков, д-р техн. наук, профессор
(Волгоградский государственный технический университет)
E-mail: emelyanenko@vstu.ru

Электромеханический инструмент для пригоночных работ: современное производство и рынок в России

Исследовано современное состояние российского производства и рынка электромеханического инструмента для пригоночных работ: отрезки, зачистки, шлифования, полирования, доводки, шабрения. Определен круг производителей и потребителей. Дан обзор основных проблем и тенденций производства и сбыта электромеханического инструмента в России. Показаны наиболее значимые и необходимые предпосылки к созданию условий эффективного развития отечественного производства электромеханического инструмента.

The job is devoted to research of a modern condition of the Russian manufacture and market of the electromechanical tool for adjusts jobs: pieces, cleaning, grinding, polishing, operational development, scraping. The circle of the manufacturers and consumers is determined. The review of the basic problems both tendencies of manufacture and selling of the electromechanical tool in Russia are given. The most significant and necessary preconditions to creation of conditions of effective development of domestic manufacture of the electromechanical tool are shown.

Ключевые слова: электромеханический инструмент, пригоночные работы, отрезка, зачистка, шлифование, полирование, доводка, шабрение, производство, рынок, инновации.

Key words: the electromechanical tool, adjust jobs, piece, cleaning, grinding, polishing, operational development, scraping, manufacture, market, innovations.

Для современного машиностроения характерны высокие требования к долговечности и надежности машин, выполнение которых напрямую зависит от точности размеров и формы деталей, качества их рабочих поверхностей. Эти требования во многом обеспечиваются пригоночными работами, выполняемыми в

ходе сборки механизмов (опиловка и зачистка сопрягаемых поверхностей, подшлифовка, полирование, притирка, доводка, припасовка, совместное рассверливание, зенкерование и развертывание отверстий, шабрение и пр.).

Объем пригоночных работ в значительной мере зависит от масштабов производства. В индивидуальном и мелкосерийном производстве может найти применение большинство из перечисленных видов обработки, в крупносерийном и массовом доля пригоночных работ минимальна либо они отсутствуют.

Для повышения производительности и качества обработки, облегчения условий труда пригоночные работы механизмируют. Механизация осуществляется использованием ручного механизированного инструмента и стационарного оборудования (доводочных станков), при этом наиболее широко используется электромеханический инструмент.

Весь электроинструмент подразделяется на пять больших классов:

- industrial (инструмент для конвейерного производства);
- heavy duty (тяжелый промышленный инструмент);
- professional (профессиональный);
- semiprofessional (полупрофессиональный);
- hobby (бытовой).

При понижении класса инструмента от конвейерного до бытового снижается его качество и растет универсальность. Бытовой инструмент отличается от профессионального главным образом тем, что он не рассчитан на высокие нагрузки, требует перерывов в работе, имеет меньшую емкость аккумулятора и число функций. Также отличается эргономика. Бы-



товой инструмент внешне может быть похож на профессиональный, но имеет более слабые технические характеристики и более низкую цену. Разница в цене довольно существенна. Инструмент класса industrial и heavy duty продается только под заказ.

В последнее время позиции профессионального и бытового электроинструмента сближаются. С одной стороны, профессиональный инструмент покупают не только профессионалы, но и "продвинутые" любители. С другой стороны, производители профессионального электроинструмента используют методы продвижения товара, традиционные для рекламы бытового инструмента – повышенное внимание к внешнему виду, дизайну. При этом привлекательный дизайн – не самоцель, так как одновременно он работает на эргономичность и безопасность инструмента. Кроме того, запоминающийся дизайн облегчает узнаваемость фирменной продукции и служит защите от подделок, что актуально для рынка электроинструмента не только СНГ, но и европейских стран, испытывающих наплыв контрафакта [1].

В последние несколько лет российский рынок электроинструментов быстро развивается за счет роста строительства и развития ремонтных услуг. Российский рынок электроинструментов растет на 20...30 % в год, импорт составляет 85 %. В 2007 г. объем российского рынка инструмента оценивался примерно в 1200 млн долл. [2].

Рынок электроинструмента условно можно разделить на три основные группы:

- отечественный инструмент;
- инструмент известных зарубежных производителей ("брендовый");
- продукция малоизвестных зарубежных марок (низкокачественный инструмент, изготавливаемый в основном в странах Юго-Восточной Азии).

В среднем на российском рынке продается 5 млн электроинструментов, из них 1,9 млн – отечественного производства [3]. Причем основную долю инструмента отечественного производства составляет бытовой, а не профессиональный инструмент.

В настоящее время в России представлено около 80 отечественных и зарубежных компа-

ний, занимающихся производством электроинструментов. Доля рынка отечественных производителей составляет всего 16 % объема продаж.

К числу российских предприятий, специализирующихся на производстве профессионального электроинструмента, относятся:

- ОАО "Конаковский завод механизированного инструмента", входящее в тройку крупнейших профильных предприятий России;
- ФГУП "Ижевский механический завод", которое производит практически всю линейку профессионального электроинструмента и экспортирует свою продукцию не только в страны СНГ (Украина, Казахстан), но и в страны дальнего зарубежья;
- ОАО "Пермская научно-производственная приборостроительная компания";
- ОАО "Электромашиностроительный завод "Лепсе" (г. Киров), известный так же как производитель авиационного электрооборудования, и другие.

Лидером в структуре российского производства бытовых и полупрофессиональных электроинструментов является компания "Интерскол" (42 % объема всего производимого инструмента), на втором месте – Пермская научно-производственная приборостроительная компания (29 %), на третьем – электромашиностроительный завод "Лепсе" (13 %).

Основной же объем поставок профессионального электроинструмента на российский рынок обеспечивают отнюдь не отечественные компании. Около 52 % российского рынка приходится на долю производителей из Юго-Восточной Азии, прежде всего Китая, продукция которых популярна благодаря сравнительно невысокой цене, но отличается посредственным качеством. Этот факт беспокоит как российских производителей электроинструмента, так и их западных коллег, отмечаящих, что 60...70 % электроинструмента завозится в Россию по незаконным схемам и имеет сомнительное происхождение.

По словам Д. Рожкова, генерального директора ОАО "Конаковский завод механизированного инструмента" [4], отечественный рынок перенасыщен низкокачественными инструментами "no name" и настоящие профессионалы отказываются от такой продукции. На



рынке отчетливо прослеживается тенденция растущего спроса на доступный по цене отечественный инструмент, имеющий сходные технические характеристики с импортными аналогами.

На долю авторитетных европейских, американских и японских производителей, таких как Bosch, Makita, DeWALT, Hitachi Power Tools, Metabo, Kress, Hilti и др., приходится 32 % рынка. Некоторые предприятия (Hitachi Power Tools, Panasonic) приняли решение о выходе на российский рынок сравнительно недавно, 1...2,5 года назад. Появление новых имен свидетельствует о постепенном росте спроса на дорогостоящий профессиональный электроинструмент высокого класса, хотя для большинства российских потребителей решающее значение имеет не громкое имя, а цена.

Итак, рынок электроинструмента в России достаточно емкий и продолжает динамично развиваться. При этом имеется собственная хорошо развитая производственная база, состоящая из нескольких крупных производителей и более мелких производственных предприятий. В последние годы отечественная отрасль демонстрирует устойчивый рост в среднем более чем на 20 % в год [5], однако ряд объективных обстоятельств препятствуют ее качественному развитию. В их числе преобладающий рост объемов импорта как легального, так и "серого", системные проблемы отрасли, связанные с необходимостью преодоления ее инерционности.

Доля российского электроинструмента в общем объеме потребления растет незначительно. Основной прирост происходит за счет поставок импортного электроинструмента, в большей части китайских производителей (48 % объема импорта) и совместных предприятий. Импорт электроинструмента значительно превышает объемы отечественного производства. Российские производители видят решение в ведении пошлин. Независимые эксперты [6], однако, считают, что такие санкции плохо скажутся на рынке и на потребителях в частности, ибо отечественный инструмент пока не может конкурировать с продукцией известных зарубежных фирм.

Общая тенденция на рынке электроинструмента — это ежегодное удешевление товара при сохранении его качества. Происходит это за

счет совершенствования технологии изготовления, применения унифицированных деталей, переоснащения производства. Что касается российского инструмента, он, несмотря на значительные изменения в качестве, в ассортименте все равно отстает от мировых стандартов. Внешние конкуренты растут быстрее. И все же до сих пор российский инструмент пользуется определенной популярностью.

Мировой финансовый кризис предполагает переоценку возможностей рынка. Вполне вероятно, что произойдет снижение темпов развития реального сектора, которое повлечет снижение темпов роста продаж электроинструментов. Также, возможно, произойдет уменьшение количества торговых марок, присутствующих на российском рынке, поскольку снижение спроса на электроинструмент обострит конкуренцию.

Сложно точно предсказать, как изменятся потребительские предпочтения в период кризиса: начнут ли экономить российские потребители и покупать дешевый низкокачественный азиатский инструмент, предпочтут ли долговечность и качество мировых лидеров или обратятся к хорошо знакомому усовершенствованному российскому инструменту. Но ясно, что потребитель будет находиться в поиске. *Для российских производителей открываются хорошие перспективы по увеличению своей доли в общем потреблении за счет выпуска надежного, качественного, инновационного и конкурентоспособного инструмента.*

Библиографический список

1. **Мариничева О.** Инструмент для профессионала // Газета. 2006. № 5 (69) [Электронный ресурс] — <http://www.eprussia.ru/epr/epr.cgi?epr=showcat&num=69&idcat=5>
2. **Российский** рынок электроинструментов [Электронный ресурс] — <http://www.pulscen.ru/msk/news?type=40>
3. **Морозова Л.** "Болгарка" шведская китайской сборки — [Электронный ресурс] — <http://www.rg.ru/2004/04/20/bolgarka.html>
4. **Возрождение** КЗМИ [Электронный ресурс] — <http://www.kzmi.biz/news/news/show/28.htm>
5. **Репортаж** с форума: "Российский рынок электроинструмента. Состояние и перспективы" — [Электронный ресурс] — <http://www.expo-volga.ru/press/1438/index.php?print=Y>
6. **Почему** мы не можем отказаться от иностранных производителей инструмента — [Электронный ресурс] — <http://www.raexpert.ru/releases/2009/March19>

УДК 621.791.3

В.Н. Штенников, канд. техн. наук (ФГУП УЭМЗ, г. Екатеринбург)
E-mail: shtennikov@uemz.ru

Зависимость температуры пайки от длины паяльного стержня

Миниатюризация электронных узлов осложняет соблюдение требуемого температурного режима контактной пайки.

В статье описаны результаты исследований по определению влияния конструктивных параметров оборудования на температуру контактной пайки.

Miniaturization of electronic knots aggravates a question of observance of a demanded temperature mode of the contact soldering.

In article are described the results by definition of influence of design data of the equipment on temperature of the contact soldering.

Ключевые слова: электронный прибор, качество, пайка, температура пайки.

Key words: the electronic device, quality, the soldering, soldering temperature.

Известно, что температуру и время пайки электронных компонентов следует поддерживать в узком диапазоне, чтобы, с одной стороны, обеспечить смачивание припоем соединяемых поверхностей и образование необходимого слоя взаимной диффузии, а с другой – исключить образование интерметаллидов, оказывающих заметное влияние на качество паяных соединений [1]. Опасность перегрева термочувствительных компонентов еще больше сужает температурно-временной интервал пайки электронных приборов.

В п. 3.8.6.2.4 международного стандарта IPC-HDBK-001 "Справочник и руководство в дополнение к J-STD-001D", используемого на отечественных предприятиях, записано следующее: "Когда наконечник паяльника приклонен к соединению, то температура с обеих

сторон контакта в конце концов выравнивается. Для уменьшения времени выдержки температуру наконечника надо устанавливать гораздо выше температуры плавления припоя, чтобы обеспечить быструю передачу соединению тепловой энергии. Достаточное повышение исходной температуры паяльника в целях противостояния падению температуры наконечника и поддержки достаточной интенсивности теплопередачи может вызвать разрушение, которое при более низких температурах не происходит. Чтобы можно было паять при меньших температурах, потенциальную теплоемкость наконечника повышают увеличением всей его массы, что вызывает увеличение передаваемой тепловой энергии с наконечника на соединение. Это дополнительное повышение уменьшает падение температуры наконечника и поддерживает большую разницу температур наконечника и соединения, делая теплопередачу максимально быстрой".

В разделе "Паяльники" другого не менее известного международного стандарта IEC (МЭК) 61192-1 "Процесс пайки" рекомендуется: "Во избежание повреждения компонентов паяльники следует выбирать в соответствии с размером и тепловой массой паяемых выходных контактов".

Аналитических зависимостей между конструктивными параметрами паяльного оборудования и температурой контактной пайки в нормативной и технической литературе не содержится.

В работе [2] освещен вопрос охлаждения длинного паяльного стержня при одиночной пайке с $L \geq \sqrt{\pi a \tau_n}$, что обычно реализуется при работе с паяльниками без терморегулятора и



традиционными паяльными станциями. В приведенной формуле L – длина паяльного стержня, считая от паяющего конца до изотермической части (значительного утолщения или терморегулятора), м; a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; $\tau_{\text{п}}$ – время пайки, с. Влияние мощности и теплоемкости оборудования для контактной пайки рассмотрено в работе [3]. В последнее время длину паяльного стержня в паяльных станциях уменьшают [4], что ранее было характерно только для специальных автоматов контактной пайки микросхем с планарными выводами.

На основе сопоставления теплообмена паяльного стержня с воздухом и паяным соединением при пайке можно показать, что влиянием теплообмена с воздухом можно пренебречь, если диаметр паяльного стержня значительно более 0,1 мм, что всегда выполняется.

Таким образом, для изучения вопроса теплообмена паяльного стержня оборудования с паяным соединением можно использовать известные решения для ограниченной пластины, на поверхности которой задан тепловой поток [5].

После численного решения уравнения по охлаждению ограниченной пластины, одна поверхность которой изотермична, а на вторую воздействует тепловой поток, эквивалентный воздействию паяного соединения, а именно вида $\text{const}/\sqrt{\tau_{\text{п}}}$, автором выведена формула для короткого паяльного стержня длиной $L \leq \sqrt{\pi a \tau_{\text{п}}}$ с изотермичным непаяющим концом:

$$\frac{\Delta t_{1\text{и}}}{\Delta t_1} = (\pi F_0)^{-0,5}, \quad (1)$$

где $\Delta t_{1\text{и}}$ – снижение температуры паяющего конца короткого стержня с изотермичным непаяющим концом по отношению к температуре холостого хода, °С;

Δt_1 – снижение температуры паяющего конца бесконечно длинного стержня при одиночной пайке по отношению к температуре холостого хода, °С;

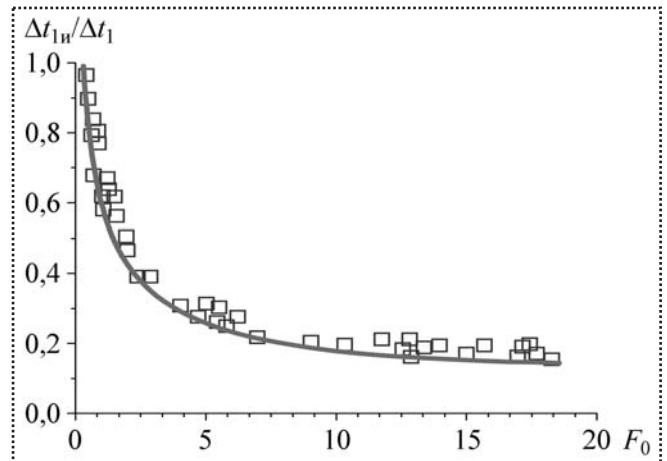


Рис 1. Зависимость снижения температуры рабочего конца короткого паяльного стержня с изотермичным непаяющим концом по отношению к длинному стержню от критерия Фурье: □ – экспериментальные данные; — – по уравнению (1)

$$F_0 \equiv \frac{a\tau_{\text{п}}}{L^2} \text{ – критерий Фурье.}$$

На рис. 1 показано изменение температуры паяющего конца стержня полуавтомата во время пайки в зависимости от величины критерия Фурье.

Используя известное в литературе решение для разогрева ограниченной пластины, одна поверхность которой изотермична, а вторая теплоизолирована, получено также выражение для постоянной времени разогрева паяющего конца короткого стержня с изотермичным непаяющим концом:

$$\tau_{0\text{и}} = \frac{4L^2}{\pi^2 a}. \quad (2)$$

Для пайки выводов микросхем к контактными площадкам многослойных печатных плат, расположенным на разных уровнях, может быть использован полуавтомат контактной пайки. На рис. 2 видно, что температура паяющего конца короткого стержня полуавтомата во время контакта с паяным соединением возрастает, в то время как температура паяющего конца длинного паяльного стержня остается практически постоянной [1].

Время пайки определяли электронным секундомером-таймером СТЦ1, который фиксировал

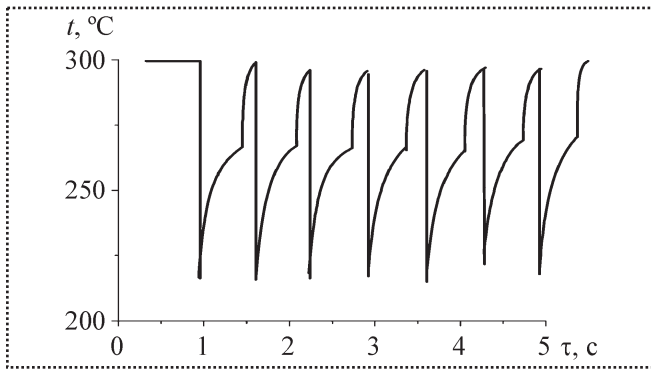


Рис. 2. Изменение температуры паяющего конца стержня полуавтомата во время пайки микросхем на печатные платы с открытыми контактными площадками

сировал начало и окончание контакта стержня с паяным соединением с погрешностью 0,02 с. Температуру паяльного стержня полуавтомата измеряли с помощью медь-константановой термопары с диаметром проводов 0,06 мм, закрепленной не далее 0,5 мм от его паяющего торца, в комплекте с самопишущим потенциометром КСП-4.

Экспериментальные данные и расчетные значения в пределах погрешности эксперимента ($\pm 13\%$) совпали как для охлаждения паяющего конца стержня во время пайки, так и для его разогрева после пайки.

Качество паяных соединений оценивали:

- визуально, с помощью микроскопа МБС-2 при 25–50-кратном увеличении;
- методом исследования шлифов паяных соединений;
- по механической прочности на разрывной машине типа 2092 с использованием динамометра П 770094.

Общее количество микросхем, паяных на платы в ходе эксперимента, составило 1936 шт., количество выполненных и исследованных паяных соединений – 27104 шт. Форма паяных соединений, получаемых на полуавтомате и вручную, практически не различается.

Средние значения механической прочности паяных соединений, выполненных на полуавтомате, с классификацией по режимам пайки и видам контактных площадок представлены в таблице.

Установлено, что механическая прочность паяных соединений, выполненных на многослойных печатных платах с открытыми контактными площадками с учетом рекомендаций данной работы полуавтоматом с диаметром паяльного стержня 0,8 мм, не ниже, чем соединений, паяных вручную на печатных платах без "колодцев", и превышает требования, установленные ОСТ4 Г0 054.014 "Узлы и блоки радиоэлектронной аппаратуры на микросхемах. ТТП сборки" (1 Н на вывод). Значения механической прочности паяных соединений, выполненных на двойных и тройных контактных площадках, ниже, чем на одинарных.

Выводы

Величина снижения температуры паяющего конца короткого стержня с $L \leq \sqrt{\pi a \tau_{\text{п}}}$ оборудования для контактной пайки может быть аппроксимирована линейной функцией от $F_0^{-0,5}$.

Механическая прочность паяных соединений, выполненных по рекомендациям проведенных ис-

Средние значения механической прочности паяных соединений (Н на вывод), выполненных на полуавтомате

Контактные площадки	$t_{\text{хх}} = 260\text{ }^{\circ}\text{C}$		$t_{\text{хх}} = 280\text{ }^{\circ}\text{C}$		$t_{\text{хх}} = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$	
	$\tau_{\text{п}} = 1,3\text{ с}$	$\tau_{\text{п}} = 2,0\text{ с}$	$\tau_{\text{п}} = 0,8\text{ с}$	$\tau_{\text{п}} = 2,0\text{ с}$	$\tau_{\text{п}} = 0,5\text{ с}$	$\tau_{\text{п}} = 1,3\text{ с}$
Одинарные	$7,71 \pm 0,81$	$7,45 \pm 0,88$	$7,32 \pm 0,93$	$9,28 \pm 0,82$	$6,65 \pm 0,97$	$7,74 \pm 0,95$
Двойные	$5,31 \pm 0,97$	$6,27 \pm 0,94$	–	$5,14 \pm 0,96$	$4,25 \pm 0,98$	$4,54 \pm 0,82$
Тройные	–	–	–	$4,13 \pm 0,94$	$3,90 \pm 0,98$	$3,13 \pm 0,93$

Примечание. $t_{\text{хх}}$ – температура холостого хода.



следований на печатных платах с открытыми контактными площадками, не ниже, чем на печатных платах с металлизированными отверстиями.

Прочность паяных соединений, выполненных на двойных и тройных контактных площадках печатных плат, ниже, чем на одинарных, что можно объяснить большим снижением температуры паяющего конца стержня во время пайки. Полученные результаты учтены в конструкции печатных плат: двойные и тройные контактные площадки разнесены в две и три отдельные контактные площадки с обеспечением электрической связи на максимально большом расстоянии.

Установленные зависимости могут быть использованы для оценки тепловых характеристик паяльного инструмента, разработки оптималь-

ной конструкции паяльных станций и автоматов контактной пайки, обеспечения оптимального температурного режима контактной пайки, повышения технологичности паяных соединений печатных плат.

Библиографический список

1. Лашко Н.Ф., Лашко С.В. Контактные металлургические процессы при пайке. — М.: Металлургия, 1977. 192 с.
2. Штенников В.Н. Опыт предприятия по изучению охлаждения паяльных стержней при пайке // Компоненты и технологии, 2005. № 4. С. 196–199.
3. Штенников В.Н. Разогрев и охлаждение паяльного инструмента при пайке // Компоненты и технологии, 2004. № 8. С. 212–214.
4. Нинг-Ченг Ли. Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP и flip chip технологии. — М.: Издательский Дом "Технологии", 2006. 392 с.
5. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. — М.: Наука, 1964.

Уважаемые читатели!

Прошедший год был довольно трудным для нашей страны. Финансовый кризис, охвативший большую часть стран мира, болезненно сказался на экономике России и на ее определяющей части – машиностроении. Есть основания полагать, что значительная часть этих трудностей в 2010 году будет преодолена и экономика нашей страны начнет возвращаться к докризисному состоянию.

Весьма важно для нашего журнала своевременно информировать читателей о процессах восстановления на машиностроительных производствах с учетом специфичной тематики журнала, памятуя о том, что техногенные аварийные ситуации, свидетелями которых мы являемся, в той или иной мере обусловлены недостаточным качеством машиностроительной продукции, в которой сборочные процессы играют весьма важную роль.

Желаю всем в наступающем году крепкого здоровья, семейного благополучия, удачи и хороших поводов для удовлетворения, радости и счастливых улыбок.

Председатель редакционного Совета,
Академик РАН

Ф.М. Митенков

УДК 621.37/39: 665.625.12

В.Н. Костюков, д-р техн. наук, **Ал.В. Костюков**, канд. техн. наук
(НПЦ "ДИНАМИКА", г. Омск, Россия)

E-mail: post@dynamics.ru, <http://www.dynamics.ru>

Оценка погрешностей сборки машин виброакустическим методом

Рассмотрен метод безэталонной оценки погрешностей сборки машин на основе анализа виброакустических сигналов, связанных с ненаблюдаемыми погрешностями машин и агрегатов, возникающих при изготовлении и в эксплуатации, часть из которых не имеет адекватного представления в шкалах отношения и интервалов. Выведено каноническое уравнение связи между диагностическими признаками сигнала и структурными параметрами состояния машины, представленными в шкалах порядка, представляющее собой биссектрису первого угла информационной плоскости. Приведены результаты моделирования и экспериментальных исследований.

The features of estimation errors of equipment by etalonless vibration condition monitoring are considered. This model shows that observability of equipment production complex (PC) in whole can be provided by measurement of diagnostic signals (vibroparameters) and rate of their change, which show accurate within scale, generalized units errors and rates of their growth, residual life and rate of its loss, and also safety of the whole complex. Monitoring allows to transfer failures of equipment and production complexes from the category "sudden" into the category "gradual".

Ключевые слова: безэталонная оценка, погрешности сборки машин, вибродиагностика, уравнение связи, шкалы порядка.

Key words: etalonless estimate, errors of equipment, condition monitoring.

Часто даже при селективной сборке в кинематических парах машин возникают нерегламентированные погрешности, существенно превышающие расчетные. Это приводит к резкому снижению качества собранной машины и прежде всего ее ресурса даже при внешнем соответ-

стви заданным рабочим характеристикам. Качество машины с точки зрения динамики ее функционирования характеризуется рядом показателей, составляющих частные диагностические признаки, каждый из которых отражает состояние определенного узла машины [1].

Использование методов виброакустической диагностики для оценки технического состояния машин на обкатке и приемосдаточных испытаниях позволяет управлять качеством выпускаемых машин путем целенаправленной доработки тех из них, которые имеют неблагоприятное сочетание допусков комплектующих деталей и большие погрешности сборки.

Как правило, в собранной машине собственно погрешности деталей и кинематических пар (структурные параметры) X недоступны для непосредственного наблюдения, а оценка этих погрешностей производится по результатам Y косвенных измерений наблюдаемых параметров вибрации (диагностических признаков).

Уравнение регрессионной связи $y = f(x)$ и двумерная плотность совместного распределения $w_2(x, y)$, как правило, неизвестны и могут быть построены лишь в отдельных простейших случаях, что требует весьма трудоемких экспериментов [1, 2]. Задача построения регрессии еще более усложняется в случае, когда оператор, связывающий вектор диагностических признаков Y с вектором структурных параметров X , носит нелинейный стохастический характер, что обычно наблюдается на практике.

На рис. 1 приведены нелинейные регрессионные зависимости некоторых вибропарамет-

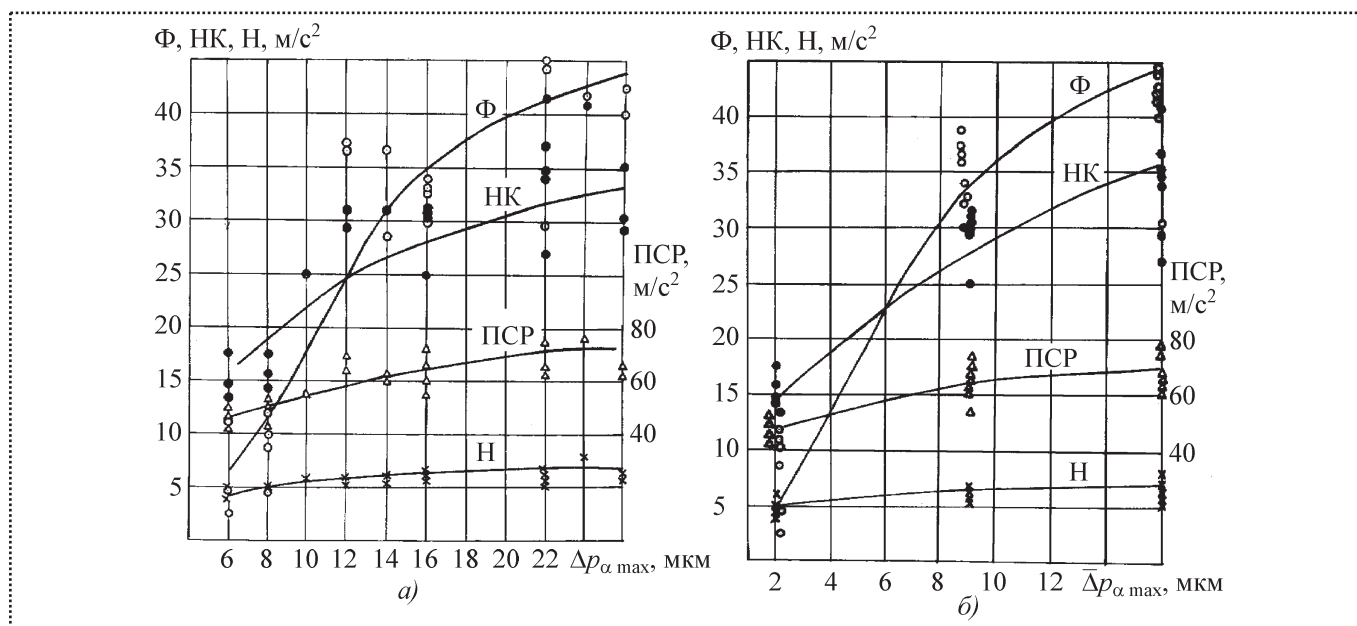


Рис. 1. Нелинейная регрессия вибропараметров шестеренных топливных насосов на максимальную (а) и среднюю (б) отрицательные разности шагов Δp_α в зацеплении шестерен:

ПСР – среднее квадратическое виброускорение корпуса насоса в информативной точке;
 Φ – среднее квадратическое виброускорение зубцовых гармоник;
 НК – среднее квадратическое виброускорение оборотных гармоник;
 Н – среднее квадратическое виброускорение шумовой компоненты [3, 8]

ров шестеренных топливных насосов, полученных рекуррентной фильтрацией виброакустического сигнала [3], от максимальной и средней разности шагов в зацеплении [4], иллюстрирующие изложенное выше.

Задача диагностики машин, за состоянием которых постоянно наблюдают посредством системы непрерывного мониторинга фактического развития погрешностей, генерируемых технологическим процессом изготовления или эксплуатацией, существенно упрощается, если ввести такие нелинейные преобразования ненаблюдаемых структурных параметров $u = F_x(x)$ и наблюдаемых диагностических признаков $v = F_y(y)$, которые обеспечивают линейную регрессионную связь между ними [5, 6].

Это эквивалентно переходу от шкал отношения и интервалов, в которых обычно измеряются интересующие нас величины, к шкалам порядка. Упрощение при этом достигается за счет того, что отпадает необходимость восстановления регрессионной зависимости

$y = f(x)$, а значения диагностируемых структурных параметров при необходимости могут быть найдены из решения уравнения:

$$x = F_x^{-1}(u),$$

где $F^{-1}(\dots)$ – символ обратной функции, причем парциальный показатель качества машины является несмещенной и состоятельной оценкой его соответствующей обобщенной (парциальной) погрешности.

В общем случае связь между X и Y устанавливается двумерной плотностью совместного распределения $w_2(x, y)$.

Рассмотрим функциональные преобразования X и Y :

$$u = F_x(x) = P(X < x) = \int_{-\infty}^x w_1(x) dx; \quad (1)$$

$$v = F_y(y) = P(Y < y) = \int_{-\infty}^y w_1(y) dy,$$



где $F_x(x)$, $F_y(y)$ – функции распределения соответственно X и Y ;

$w_1(x)$, $w_1(y)$ – соответствующие одномерные плотности распределения.

Распределение случайных величин u и v равномерно в интервале $[0, 1]$. Совместная плотность распределения преобразованных структурных параметров и диагностических признаков $w_2(u, v)$ обладает рядом полезных свойств [4, 6]:

$$1. w_2(u, v) = w_2(u/v) = w_2(u); w_1(u) = w_1(v) = 1; \\ u, v \in [0, 1];$$

$$2. \int_0^1 w_2(u, v) dv = w_1(u) = 1; \int_0^1 w_2(u, v) du = \\ = w_1(v) = 1;$$

$$3. F(u) = u = \int_0^1 F_2(u/v) dv; F(v) = v = \int_0^1 F_2(v/u) du;$$

$$4. F_2(u, v) = \int_0^u \int_0^v w_2(u, v) dudv = \int_0^u F_2(v/u) du = \\ = \int_0^v F_2(u/v) dv.$$

Уравнение связи между функциями распределения структурных параметров и диагностических признаков установим, опираясь на свойства плотностей 3 и 4:

$$u + \int_u^1 F_2(v/u) du = v + \int_v^1 F_2(u/v) dv. \quad (2)$$

Уравнение (2) дает форму связи между функцией распределения структурного параметра (погрешности) машины u и соответствующего диагностического признака сигнала v . Отметим, что это уравнение симметрично относительно переменных u и v . В этой симметрии нашел отражение принцип равенства взаимной информации, которая содержится в каждой из переменных u , v о другой.

Необходимо подчеркнуть, что уравнение (2) получено без каких-либо предположений о

виде законов распределения $w_1(x)$, $w_1(y)$ и нелинейности стохастической зависимости $y = f(x)$ и носит, таким образом, общий характер. Наличие статистической связи между X и Y является не только необходимым, но и достаточным условием для оценки значения функции распределения погрешности $u = F_x(x)$, а следовательно, и самого значения погрешности X по значению функции распределения наблюдаемого вибропараметра $v = F_y(y)$. Перепишем (2) так, чтобы интегралы были справа:

$$u - v = \int_v^1 F_2(u/v) dv - \int_u^1 F_2(v/u) du = \Delta_1; \quad (3) \\ \Delta_2 = u - v = -\Delta_1.$$

Разность интегралов в (3) определяет ошибку оценки одной из величин $u(v)$ по известной другой $v(u)$. Погрешность взаимного отображения функций распределения структурных параметров и диагностических признаков найдем с учетом свойства 1:

$$w_1(\Delta_1) = \int_0^1 w_2[(v + \Delta_1), v] dv = \int_0^1 w_2[v/(v + \Delta_1)] dv.$$

Сравнивая и принимая во внимание, что значение интеграла не зависит от обозначения переменной интегрирования, можно сделать вывод, что

$$w_1(\Delta_1) = w_1(\Delta_2) = w_1(-\Delta_1),$$

т.е. плотность распределения ошибки есть четная функция. Следовательно, все моменты нечетных порядков, в том числе математическое ожидание ошибки $m(\Delta)$, равны нулю.

Последнее следует также из очевидного равенства

$$m(\Delta) = m(u - v) = m(u) - m(v) = 0,$$

поскольку $m(u) = m(v) = 1/2$ как математическое ожидание равномерно распределенных в интервале $[0, 1]$ случайных величин. Отсюда регрессия функции распределения ненаблю-



даемого структурного параметра u на функцию распределения наблюдаемого диагностического признака v совпадает с биссектрисой первого координатного угла информационной плоскости

$$\bar{u} = v_0, \quad (4)$$

где \bar{u} – условное среднее при измеренном и зафиксированном v_0 .

Значение функции распределения ненаблюдаемого структурного параметра u , реализованного в результате сборки машины или возникшего в эксплуатации, может быть достаточно точно определено при многократных измерениях значений функции распределения соответствующего диагностического признака $v u_0 = m(v)$.

Найдем дисперсию ошибки $D(\Delta)$:

$$D(\Delta) = m_1(u-v)^2 = m_1(u^2) - 2m_1(uv) + m_1(v^2);$$

$$m_1(u^2) = \int_0^1 u^2 du = \frac{1}{3};$$

$$m_1(v^2) = \frac{1}{3};$$

$$D(\Delta) = \frac{2}{3} - 2m_1(u, v).$$

Введем коэффициент корреляции ρ_{uv} , показывающий степень связи между случайными величинами u и v [5]:

$$\rho_{uv} = M_2(u, v) / \sqrt{D(u)D(v)} = 12 \left[m_1(u, v) - \frac{1}{4} \right],$$

где $M_2(u, v) = m_1(uv) - m_1(u)m_1(v)$ – корреляционный момент связи между u и v ;

$m_1(uv)$ – ковариация случайных величин u и v ;

$m_1(u), m_1(v) = 1/2$ – математическое ожидание;

$D(u) = D(v) = 1/12$ – дисперсия равномерно распределенных случайных величин u и v [5].

Исключая $m_1(uv)$ из предыдущих уравнений, получим

$$\rho_{uv} = 1 - 6D(\Delta).$$

Коэффициент ρ_{uv} , определяемый по этой формуле, в статистике называется коэффициентом ранговой корреляции Спирмена и обозначается ρ_s [5]. Дисперсия ошибки

$$D(\Delta) = (1 - \rho_s) / 6. \quad (5)$$

Оценим максимальное значение ошибки Δ .

С доверительной вероятностью Q зона разброса u при зафиксированном v_0 будет находиться между нижней u_n и верхней u_b границами:

$$Q = F(u_b/v_0) - F(u_n/v_0).$$

Выбирая u_n, u_b симметрично расположенными относительно $\bar{u} = v_0$, так что $u_n = \bar{u} - \Delta, u_b = \bar{u} + \Delta$, разложим $F_2[(\bar{u} + \Delta)/v_0]$ в ряд Тейлора в окрестности $\bar{u} = v_0$:

$$\begin{aligned} F_2[(\bar{u} + \Delta)/v_0] &= \\ &= F_2(\bar{u}/v_0) + F'_2(\bar{u}/v_0)\Delta + F''_2(\bar{u}/v_0)\frac{\Delta^2}{2!} + \dots \end{aligned}$$

Тогда получим

$$Q = 2\Delta w_2(\bar{u}/v_0) \left[1 + \frac{\Delta^2 w''_2(\bar{u}/v_0)}{3! w_2(\bar{u}/v_0)} + \dots \right]. \quad (6)$$

Поскольку ряд Тейлора является сходящимся, то любая подпоследовательность его членов, в том числе последний ряд, также сходящиеся. Если последний ряд знакопеременный, то ошибка при отбрасывании старших членов не будет превышать первого отброшенного члена. Если же этот ряд не является знакопеременным, то отбрасывание всех членов, кроме первого, не может уменьшить Δ , оцениваемого из выражения

$$Q = 2\Delta w_2(\bar{u}/v_0) = 2\Delta w_2(v_0/v_0),$$

в котором $w_2(v_0/v_0)$ представляет собой первое равномерное приближение условной плотности вероятности ошибки $w_2(\Delta/v_0)$:

$$Q = \int_{-\Delta}^{\Delta} w_2(\Delta/v_0) d\Delta = 2\Delta w_2(Q\Delta/v_0) \approx 2\Delta w_2(\bar{u}/v_0).$$

Дисперсия ошибки

$$\begin{aligned} D(\Delta) &= \int_{-\Delta}^{\Delta} \Delta^2 w_2(v_0/v_0) d\Delta = \\ &= 2w_2(v_0/v_0) \frac{\Delta^3}{3} \Big|_0^{\Delta} \approx [12w_2^2(v_0/v_0)]^{-1}. \end{aligned}$$

Абсолютное значение ошибки отображения Δ с доверительной вероятностью Q с учетом того, что $\bar{u} = v_0$, не превосходит значения

$$\begin{aligned} |u - v| &= |\Delta| \leq Q/2w_2(v_0/v_0); \\ |\Delta| &= |u - v| \leq Q\sqrt{(1-\rho_s)/2}. \end{aligned} \quad (7)$$

При жесткой связи, когда $\rho_s = 1$, ошибка оценки u по значению v равна нулю.

Рассмотрим пример, когда $w_2(x, y)$ представляет собой двумерную нормальную функцию распределения

$$w_2(x, y) = \frac{\exp\left\{\frac{-1}{2(1-r^2)} \left[\left(\frac{x-a_x}{\sigma_x}\right)^2 - 2r \frac{(x-a_x)(x-a_y)}{\sigma_x \sigma_y} + \left(\frac{y-a_y}{\sigma_y}\right)^2 \right]\right\}}{\sigma_x \sigma_y 2\pi\sqrt{1-r^2}},$$

где σ_x, σ_y – среднеквадратическое отклонение величин x и y ;

a_x, a_y – математическое ожидание величин x и y .

Преобразуя $w_2(x, y)$ в $w_2(u, v)$, получим совместное распределение функций u и v , которое при $u = v$ имеет вид:

$$w_2(v/v) = \frac{\exp\{r[F^{-1}(v)]^2/(1+r)\}}{\sqrt{1-r^2}}, \quad (8)$$

где r – коэффициент корреляции между X и Y .

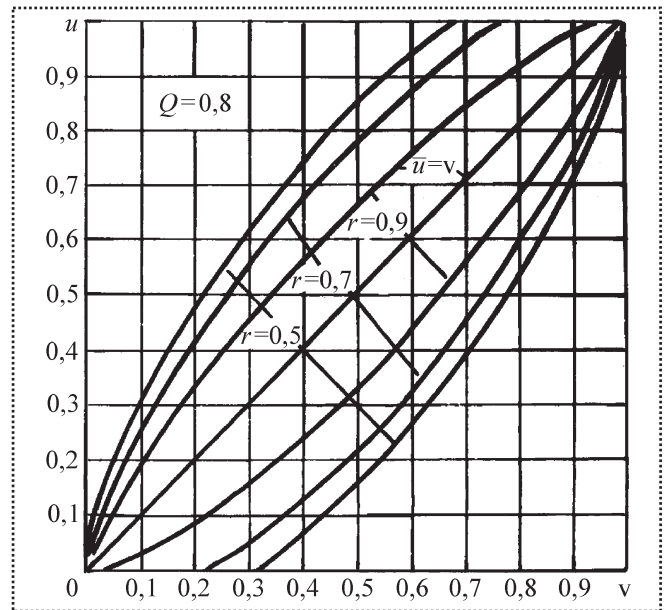


Рис. 2. Регрессия функции распределения u ненаблюдаемого структурного параметра X на функцию распределения v наблюдаемого диагностического признака Y и доверительные границы при разной степени стохастической связи между ними, определяемой коэффициентом корреляции r , и доверительной вероятности $Q = 0,8$

Как показывает уравнение (8), при жесткой функциональной связи между X и Y , когда $r = 1$, $w_2(v/v) = \infty$, а ошибка Δ в (7) равна нулю, мы имеем строгое равенство $u = v$.

Если связь между X и Y отсутствует, $r = 0$, $w_2(v/v) = 1$, ошибка в (7) достигает максимального значения и по наблюдениям Y нельзя судить об X .

На рис. 2 приведена регрессия функции распределения u

ненаблюдаемого структурного параметра X на функцию распределения v наблюдаемого диагностического признака Y и доверительные границы при разной степени стохастической связи между ними, определяемой коэффициентом корреляции r и доверительной вероятности $Q = 0,8$.

На рис. 3 приведены графики связи между u и v при коэффициенте корреляции $r = 0,9$ для различных доверительных вероятностей Q , равных 0,8 и 0,99 для моделей по выражениям (7) и (8).

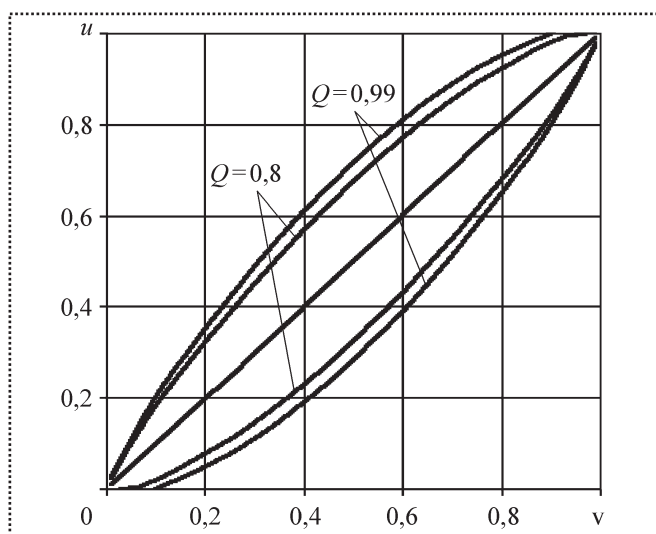


Рис. 3. Регрессия функции распределения u ненаблюдаемого структурного параметра X на функцию распределения v наблюдаемого диагностического признака Y и доверительные границы при разных доверительных вероятностях Q и коэффициенте корреляции $r = 0,9$

Эти зависимости показывают, что:

- наибольшая неопределенность оценки неизвестной вероятности u наблюдается при $v = 0,5$, что связано, видимо, с соответствующим свойством энтропии;
- в практически важных случаях, когда $v \geq 0,8$ (машины с наибольшими погрешностями-

ми) и $v \leq 0,2$ (машины-эталон, имеющие наименьшую погрешность), погрешность оценки u не превышает 0,2 даже при относительно слабой статистической связи ($r = 0,5$) между структурными параметрами X и диагностическими признаками Y .

Это позволяет отбраковывать машины, имеющие большие значения скрытых внутренних погрешностей, на обкатке и приемосдаточных испытаниях путем измерения косвенных диагностических признаков (температуры, вибрации, акустической эмиссии и т.п.) и отправлять их на доработку для устранения больших парциальных погрешностей, не пропуская в эксплуатацию.

Для экспериментальной проверки связи вибропараметров насоса с погрешностями деталей и сборки использовали вибропараметры ста произвольно выбранных на приемосдаточных испытаниях насосов. В эту совокупность включены насосы с заведомо известными погрешностями изготовления и сборки. Измерены их вибропараметры и проведена оценка их положения в общей выборке путем ранжирования [4–7].

Линейная регрессия процентного ранга уровня зубцовых гармоник Φ на процентный

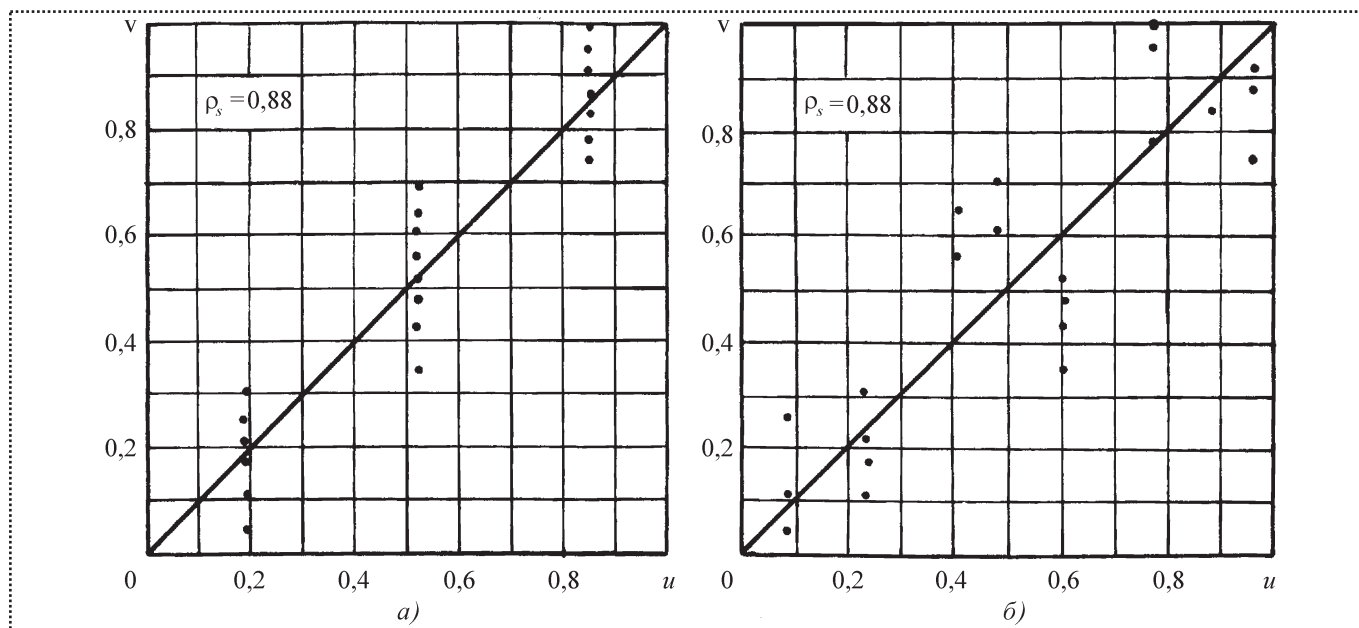


Рис. 4. Регрессия процентного ранга уровня зубцовых гармоник Φ на процентный ранг средней (а) и максимальной (б) отрицательной разности шагов в зацеплении шестерен



ранг средней (a) и максимальной (b) отрицательной разности шагов в зацеплении шестерен для случая, показанного на рис. 1, приведена на рис. 4 и подтверждает адекватность предложенных моделей.

Таким образом, отпадает необходимость в подборе машин-эталонов с заранее известным набором погрешностей изготовления и сборки отдельных узлов и их совокупности в машине для настройки систем диагностики и оценки погрешностей сборки оборудования по результатам измерения косвенных параметров, например, вибрации корпуса.

Выводы

Предложен метод безэталонной оценки погрешностей машин и выведено каноническое уравнение связи между диагностическими признаками сигнала и структурными параметрами состояния машины (в шкалах порядка), представляющее собой биссектрису первого угла информационной плоскости.

Получена оценка ошибки диагностики, обусловленной стохастической связью диагностических признаков со структурными параметрами, которая обратно пропорциональна коэффициенту ранговой корреляции Спирмена между ними.

Наибольшая неопределенность оценки неизвестной погрешности машины и наблюдается при значении диагностического признака сигнала $v = 0,5$, что связано с соответствующим свойством энтропии.

В практически важных случаях, когда $v > 0,8$ (машины с наибольшими погрешностями и значительными неисправностями) и $v < 0,2$ (машины с минимальными погрешностями изготовления и сборки) погрешность оценки и не превышает 0,2 даже при относительно слабой сто-

хастической связи ($r = 0,7$) между структурными параметрами X и диагностическими признаками Y .

Данный метод позволяет отбраковывать на обкатке и сдаточных испытаниях машины с большими значениями погрешностей и отправлять их на доработку, не пропуская в эксплуатацию.

Предложенный подход исключает необходимость обучения систем диагностики по машинам-эталонам с известными погрешностями и значительно сокращает затраты и сроки внедрения диагностических систем [9].

Библиографический список

1. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов. — М.: Машиностроение, 1971. 224 с.
2. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. — М.: Машиностроение, 1987. 288 с.
3. Патент № 1280961 РФ, МКИ F04B51/00, G01M13/02. Способ виброакустической диагностики машин периодического действия и устройство для его осуществления / В.Н. Костюков; Заявл. 22.10.82; Опубл. 28.12.86; Бюл. № 48.
4. А.с. № 1359692, МКИ G 01 M 7/00. Способ диагностики машин и устройство для его осуществления / В.Н. Костюков, С.А. Морозов, Г.А. Гетманская; Заявл. 30.03.1984; Опубл. 15.08.87.
5. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 598 с.
6. Костюков В.Н. Ранговый метод виброакустической диагностики и оценки качества машин // Гидропривод и системы управления строительных, тяговых и дорожных машин. — Омск: СибАДИ, 1986. С. 113–124.
7. Пат. № 1647323 РФ, МПК G 01 M 15/00. Устройство для диагностики машин / В.Н. Костюков; Заявл. 05.12.1988; Опубл. 22.11.94.
8. Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. — М.: Машиностроение, 2002. 224 с.
9. Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР — КОМПАКС). — М.: Машиностроение, 1999. 163 с.



УДК 621.165

А.И. Куменко, д-р техн. наук (ОАО "Энел ОГК-5")
E-mail : A2008kai@rambler.ru

Использование вибровозбудителей для испытаний, диагностики и наладки турбоагрегатов

Рассмотрены вопросы применения вибровозбудителей на разных стадиях жизненного цикла турбоагрегатов, установленных на фундаменты разных типов. Приведены результаты применения вибровозбудителя для снижения вибраций турбоагрегата мощностью 500 МВт Харьковского турбинного завода. На основании анализа конструкции и динамических свойств выхлопных частей турбоагрегата повышена их жесткость без заметного увеличения сопротивления потоку. Динамический анализ конструкции после проведенного мероприятия показал его эффективность. Осевая вибрация опоры при всех режимах снизилась в несколько раз: до реконструкции она достигала 10...12 мм/с, после – 3 мм/с.

Results of exciters application for adjustment and decreasing vibrations of a turbine unit 500 MBm the Kharkov turbine factory are resulted. On the basis of the analysis of a design and dynamical characteristic exhaust parts of a turbine unit toughening of an exhaust of the turbine without appreciable increase in resistance to a stream has been executed. The dynamic analysis of a design after the carried out action has shown its efficiency. Axial vibration of a support at all modes has decreased several times. Before reconstruction it reached 10...12 mm/s. After reconstruction it has been lowered to 3 mm/s.

Ключевые слова: вибровозбудитель, турбоагрегат, вибрации, испытания.

Key words: exciter, turbine unit, vibrations, tests.

О необходимости проведения динамических испытаний и определения динамической податливости фундамента и опор турбоагрегата в системе "статор–фундамент–основание"

В процессе отработки новых конструкций фундамента и турбоагрегатов для ТЭС и АЭС

в соответствии с нормативными документами рекомендуется дважды применять специальные (обычно механические) вибровозбудители. Опыт применения таких вибровозбудителей имели ЛМЗ, Электросила, ЦКТИ, УРАЛВТИ, ВТИ и, в последние годы, МЭИ. Это необходимо для изучения динамических свойств конструкции фундамента и для выявления ряда дефектов как при монтаже фундамента (1-й этап), так и после монтажа статора турбоагрегата для выявления динамических свойств и дефектов системы "турбоагрегат–фундамент" и, прежде всего, динамической податливости опор (2-й этап) [1, 2]. Возможно, после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС вопрос применения вибровозбудителей возникнет и для гидроагрегатов.

На современном этапе развития энергетики возникли трудности в организации и проведении этих работ, в том числе из-за недостатков нормативной базы. *Во-первых*, документы устарели и требуют определенной коррекции. Например, в них рекомендуется только отстройка от резонансов фундамента в диапазоне частот 90...110 Гц. *Во-вторых*, документы предназначены для определенных типов фундамента. До сих пор не разработано правил оценки результатов виброиспытаний и критериев надежности виброизолированных фундамента.

Мощные энергетические турбоагрегаты устанавливают на высокий фундамент, который вместе со статором испытывает температурные перепады, статические и вибрационные нагрузки из-за технологических воздействий работающего оборудования. Фундамент испытывает также климатические перепады температур, влияющих на строительные части кон-



струкции. Все это вызывает перераспределение нагрузок между опорами, усиливая в ряде случаев динамическое воздействие на фундамент.

Изменению динамических свойств отдельных элементов конструкции способствуют деформации и просадки, передающиеся на опорные подвижные части цилиндров и опор, нарушения центровки и контакта опорных поверхностей, обеспеченных при сборочно-монтажных работах. Особенно это усиливается при нерасчетных режимах использования турбоагрегатов.

Таким образом, в процессе длительной эксплуатации статическая и динамическая жесткость опор может изменяться: динамическая жесткость может снизиться, а податливость — увеличиться.

При строительстве фундаментов агрегатов и их монтаже иногда допускают отступления от технологии. Это приводит к снижению требуемой динамической жесткости отдельных частей конструкции, в том числе и опор, на которых расположены в соответствии с нормами правил технической эксплуатации (ПТЭ) [3] точки контроля вибрации. Повышенная динамическая податливость опор из-за увеличения динамических податливостей ригелей и других элементов фундамента при прочих равных условиях может явиться причиной превышения этих норм.

В свою очередь разные типы грунтов, на которые устанавливаются фундаменты, обладают разными свойствами виброползучести, особенно в условиях повышенного уровня грунтовых вод. То есть повышенная вибрация турбоагрегата и фундамента или ее "особый спектр" также могут быть причиной увеличения просадок фундамента и опор, особенно в первые 10–15 лет эксплуатации.

Кроме того, повышенная податливость опор может быть следствием конструктивных недостатков турбоагрегата — пониженной динамической жесткости выхлопных частей турбоагрегата и встроенных опор. Например, можно отметить положительный опыт ЛМЗ в

использовании вибровозбудителя для увеличения жесткости выхлопных частей цилиндра низкого давления и уменьшения вибрации встроенных опор с частотами 50 и 100 Гц на турбоагрегате К-800-240-5 Сургутской ГРЭС-2 в 2004–2006 гг. [4].

Совершенствование вибровозбудителей и методик испытания

Традиционный вибровозбудитель направленного действия создает в j -м направлении k -й опоры динамическую нагрузку $p(t)$ с амплитудой в несколько тонн:

$$p_{jk}(t) = P_{jk}(\omega) \cos(\omega t). \quad (1)$$

Динамические отклики $w_j(t)$ в j -м направлении для опоры с фазами φ_j

$$w_{jk}(t) = W_{jk}(\omega) \cos(\omega t - \varphi_{jk}) = \\ = W_{j1k}(\omega) \cos(\omega t) + W_{j2k}(\omega) \sin(\omega t) \quad (2)$$

после деления на $P_k(\omega)$ для каждой частоты с учетом направления k дают матрицу диагональных коэффициентов динамических податливостей $[\delta_{jk}]$ с фазами φ_{jk} :

$$[\delta_{ik}(\omega)] = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \varphi_{11} & \varphi_{12} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \varphi_{21} & \varphi_{22} \\ \delta_{31} & \delta_{32} & \varphi_{31} & \varphi_{32} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $\delta_{ik} = W_{ik}/P_k(\omega)$, $i = 1, 2, 3$ — горизонтальное, вертикальное и осевое направления соответственно. Все коэффициенты являются функциями частоты ω . Изменение фазы податливости позволяет судить о прохождении резонанса тем или иным откликом в определенном направлении.

Диапазон частот, подлежащий анализу, 0–110 Гц. Амплитуда динамической нагрузки мала в низшем диапазоне частот и может быть чрезмерно велика в высшей части частотного диапазона.

В работе [1] показаны основные недостатки и пути совершенствования конструкций.



Обычно для создания направленного воздействия используется возбудитель с двумя шестернями, в зависимости от фазы вращения которых задается возбуждение в том или ином направлении. Грузы в его конструкции, как правило, недоступны, что приводит к необходимости при изменении направления и величины возбуждения тратить дополнительное время на сборочно-разборочные работы и пригонку возбудителя в расточке. Опыт показывает, что на это уходит смена.

Автором предложено существенно сократить время испытаний (не менее, чем в 4 раза) за счет применения возбудителя кругового возбуждения, который дважды запускается в противоположные по направлению вращения стороны [1]. Легко показать, что из двух $АФЧХ^+$ и $АФЧХ^-$ (при прямом и противоположном вращении) можно получить "горизонтальную" $АФЧХ^Г$ и "вертикальную" $АФЧХ^В$ простыми операциями:

$$АФЧХ^Г = 1/2(АФЧХ^+ - АФЧХ^-); \quad (4)$$

$$АФЧХ^В = 1/2(АФЧХ^+ + АФЧХ^-). \quad (5)$$

К недостаткам традиционных возбудителей также относятся следующие:

– тонкие валы, на которых крепятся эксцентрики, приводят к значительным деформациям и частому "заклиниванию" опорных подшипников, что не обеспечивает монотонность и плавность набора оборотов. Для проведения испытаний одного возбудителя не хватает. Кроме того, под сомнение попадает проверка линейности конструкции при изменении амплитуды динамической силы, так как она по-разному передается на опору при больших и малых изгибных деформациях вала вибровозбудителя с двигателем. Все это приводит к малому ресурсу подшипников;

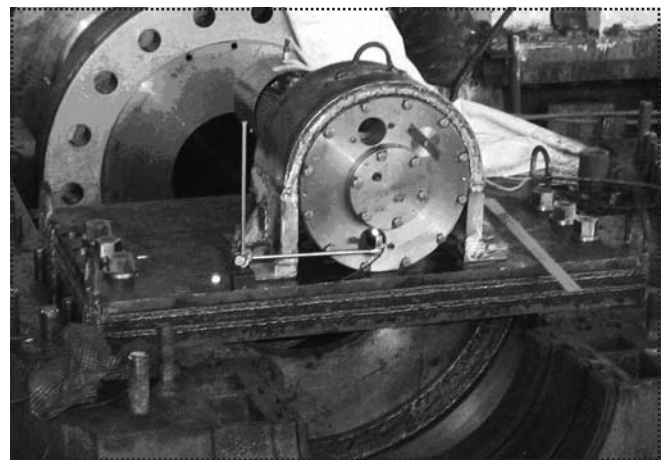
– двигатель, рассчитанный на частоту до 3500 об/мин, реально не всегда дотягивает до 3000 об/мин. Таким образом, он не может быть использован без специального тяжелого редуктора для проверки динамических свойств конструкции в области двойной рабочей частоты

вращения. При этом возникают вопросы равномерного нагружения зубьев для гибкого вала.

Есть и другие недостатки, однако все они преодолены в новой современной конструкции, проработка которой в 2000 г. была выполнена в МЭИ А.И. Куменко и А.Л. Некрасовым. По разработанным эскизам Е.В. Циклиным в ОАО "ВТИ" были выполнены чертежи. Там же под руководством А.В. Салимона в 2003 г. сделан первый экземпляр вибровозбудителя, который положительно проявил себя при виброналадке ГТД-110 на Ивановской ГРЭС. Второй экземпляр вибровозбудителя был сделан в 2007 г. на Конаковском участке ЭРП ОАО "ОГК-5".

Эксцентрик на специальных подшипниках приводится через пальцевую муфту двигателем мощностью 5,5 кВт. Частота вращения двигателя плавно регулируется специальным частотным преобразователем от 0 до 6500 об/мин. Самозакрепляющиеся при вращении грузы (пять грузов до 1 кг каждый на радиусе 150 мм) с необходимой массой и фазой легко переустанавливаются без разборки опоры турбоагрегата и корпуса возбудителя с использованием специального шестигранного ключа. Благодаря жесткому валу и качественным подшипникам выбег ротора возбудителя после отключения от сети составляет около 15 мин (в старом возбудителе – 1 мин).

На рисунке показан компактный круговой вибровозбудитель массой 130 кг, установлен-



Вибровозбудитель на плите с хомутом



ный на разъем подшипника ротора низкого давления турбоагрегата мощностью 500 МВт. Такой вибровозбудитель можно устанавливать как на плиту, так и в расточку.

Применение вибровозбудителей для исследования головных образцов фундаментов и турбоагрегатов

Испытания головных блоков проводят в два этапа: после изготовления фундамента и после монтажа статорных частей агрегата. Для регламентации этих испытаний были разработаны требования и нормы [5, 6], в соответствии с которыми проводят испытания и оценивают их результаты. При испытаниях используют специальные вибровозбудители направленного действия, создающие в одном из направлений опоры динамическую нагрузку с амплитудой в несколько тонн.

Основные задачи при испытании фундаментов:

- проверка динамических расчетов фундамента в целях накопления опыта и совершенствования этих расчетов; получение параметров демпфирования, подтверждение проектных параметров, коррекция конструкции следующего образца фундамента;
- проверка качества изготовления фундамента, обеспечения жесткости основных ригелей и стоек, отсутствия дефектов в бетоне и нарушения жесткостей стыков в соответствии с нормами и требованиями к фундаментам;
- получение количественной информации для принятия решений о дальнейшем строительстве или реконструкции фундамента (при обнаружении серьезного дефекта).

После монтажа и во время эксплуатации турбоагрегата также необходимы испытания:

- для получения количественной информации для принятия решений при неудовлетворительных динамических свойствах системы "статор–фундамент": обнаружении повышенных податливостей и недопустимых резонансов при испытании динамических податливостей опор; для корректировки следующе-

го варианта "статора–фундамента" по результатам проведенных экспериментов;

- для проверки динамических расчетов системы "турбоагрегат–фундамент" в целях накопления опыта и совершенствования этих расчетов; для моделирования задач динамики валопровода в целях обеспечения его вибрационной надежности, получения запасов устойчивости, отстройки от резонансов, прогнозирования коэффициентов балансировочных чувствительностей опор и валопровода, чувствительностей к расцентровкам опор и пр.;

- для проверки качества изготовления опорной системы, проверки на отсутствие дефектов типа трещин в сварных элементах опор, неполноты контакта сопрягаемых статорных деталей и фундаментных рам;

- для более точного прогнозирования мест расположения дисбаланса на валопроводе при последующей виброналадке, так как опоры, имеющие резонансные всплески динамических податливостей вблизи рабочей частоты, могут откликаться с высоким уровнем вибрации на дисбалансы соседних роторов.

Методика испытаний принципиально не зависит от типа фундамента. Для виброизолированного фундамента они необходимы для проверки оптимальности выбора упругодемпфирующих элементов.

Использование вибровозбудителя позволяет проверить качество сборки и выявить слабые места в конструкции для принятия решения об увеличении ее динамической жесткости.

Экспериментальные значения резонансных частот ряда опор нередко расположены в зонах, близких и ниже рабочей частоты вращения, в том числе к половине рабочей частоты. Причем в этих зонах могут находиться не один, а несколько резонансов, некоторые из них пропускаются, если шаг по частоте слишком крупный.

Кроме наличия резонанса необходимо понять форму колебаний сложной конструкции. Так, увеличение жесткости конструкции, проведенное по предложению НПО ЦКТИ в 90-е гг. прошлого века на нескольких турбоаг-



регатах Сургутской ГРЭС-2 с использованием труб, связывающих торовые поверхности обтекателей в выхлопном патрубке, не привело к уменьшению податливостей опор при частоте 50 Гц.

Сравнение динамических податливостей опор турбоагрегатов Сургутской ГРЭС-2 после повышения их жесткости с аналогичными на Пермской ГРЭС (блок № 3) показывает, что в первом случае характеристики не изменились в лучшую сторону, в то время как на Пермской ГРЭС динамические податливости ряда однотипных опор снизились почти в 1,5 раза.

Это свидетельствует о необходимости индивидуального подхода к увеличению жесткости даже однотипных агрегатов, податливость которых в динамике в основном определяется конструкцией корпусов цилиндров низкого давления, массой и жесткостью элементов выхлопной системы и горловины конденсатора [7], качеством сварных швов и технологических отклонений при разметке отдельных листовых и стержневых элементов выхлопной системы. Подчеркнем особо, что речь идет о динамической жесткости, и простое увеличение толщины ребра (повышение статической жесткости конструкции) не всегда приводит к увеличению динамической жесткости конструкции.

Сегодня между специалистами-энергетиками нет единого взгляда на объемы и необходимость испытаний в соответствии с РД 24.033.04–88 [5] или РД 34.21.323.95 [2]. Когда автор предлагал провести испытания виброизолированного фундамента, разработанного в ФРГ, с шестиметровой надстройкой (проект АЭП) для турбоагрегата мощностью 1000 МВт на АЭС "Бушер", разработчики РТМ [6] из НПО ЦКТИ утверждали, что этот документ годится только для обычных фундаментов без виброизоляции и что испытания такого фундамента не нужны ввиду трудностей интерпретации результатов и пр. Однако это им не помешало через год провести испытания неоловального образца виброизолированного фундамента под простую четырехопорную паровую турбину Калининградской ТЭЦ.

В то же время после проведения НПО ЦКТИ единственного второго этапа динамических испытаний фундамента турбоагрегата на АЭС "Бушер" были выявлены серьезные дефекты – отрыв фундаментных рам под генератором и цилиндрами турбоагрегата, что значительно усложнит и продлит пусконаладочные работы и потребует значительных затрат на устранение дефектов. В случае проведения первого этапа испытаний фундамента (как было рекомендовано автором) до полной сборки турбоагрегата названные дефекты были бы выявлены своевременно, а затраты на устранение найденных дефектов были бы на два порядка ниже.

И хотя критериев надежности виброизолированного фундамента до сих пор не существует, интерес представляют непосредственно величины комплексных динамических податливостей в местах установки опор с учетом продольной связанности фундамента. Для верхней виброизолированной плиты фундамента АЭС "Бушер" особенно важно знать, как и при каких частотах она будет динамически перемещаться в диапазоне частот 25, 50, 100 Гц, чтобы оптимально расставить и при необходимости заменить упругодемпфирующие элементы и погасить вероятные резонансы. Сколько-нибудь осмысленных расчетов такой сложной конструкции на стадии проекта сделано не было. Пространственная шестиметровая надстройка была заменена в расчетах плоской плитой.

Таким образом, испытания фундамента нужны еще и для того, чтобы согласовать результаты расчетов с экспериментальными динамическими характеристиками. Особенность расчета фундаментов [8] заключается в том, что резонансы следуют иногда через доли герца и для такой сложной конструкции в зоне до рабочей частоты их несколько десятков и даже более сотни. Причем они существенно зависят от фактического исполнения фундамента, разброса марки бетона, жесткости стыковых узлов и др.



Для упрощения расчета вынужденных колебаний принимают уровень демпфирования в фундаменте такой большой, что большинство резонансов гасится, но не факт, что оставшиеся резонансы и формы колебаний будут соответствовать фактическим.

(Продолжение следует.)

Библиографический список

1. **Использование** вибровозбудителей для диагностики и наладки турбоагрегатов / А.И. Куменко, О.А. Злобин, В.П. Кузнецов, П.В. Кузнецов // В сб. докладов межд. науч. техн. совещания "Проблемы вибрации, виброналадки, вибромониторинга и диагностики оборудования электростанций". 22–26 октября 2007 г. – М.: ВТИ, 2007. С. 117–123.
2. **Методические** указания по обследованию фундаментов турбоагрегатов. РД 34.21.323.95 ОРГРЭС. М., 1996.
3. РД 43.20.501.95. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ, ОРГРЭС. – М., 2001.
4. **Абросимов Н.А., Злобин О.А., Шкляров М.И.** Модернизация и исследования динамики системы турбоагре-

гат–фундамент–основание (ТФО) энергоблоков мощностью 800 МВт // Энергомашиностроение. 2005. № 2, 3.

5. РД 24.033.04–88. Методика комплексных вибрационных испытаний энергетических паротурбинных агрегатов. – М.: Минэнергомаш, 1989.

6. РТМ 108.021.01–82. Испытания вибрационные головных паротурбинных агрегатов. М.: Минэнергомаш, 1983. 24 с.

7. **Куменко А.И.** Методика использования механического вибровозбудителя с круговым возбуждением для получения динамических характеристик конструкции "статор–фундамент–основание" (СФО) // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2004. № 11.

8. **Москвин В.Г., Куменко А.И., Тимин А.В.** Расчет колебаний фундаментов. Труды Международной научной конференции "Информатизация в технических системах". – М.: МЭИ, 2004.

9. **Паровые** турбины сверхкритических параметров ЛМЗ / Под ред. А.П. Огурцова, В.К. Рыжкова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. 311 с.

10. РТМ 108.021.102–85. Агрегаты паротурбинные энергетические. Требования к фундаментам. – Л.: Минэнергомаш, 1986. 15 с.

УДК 621 (075.32)

А.В. Бондарь, В.П. Мельников, д-ра техн. наук, Д.А. Муртазин, канд. техн. наук
(ВМЗ, г. Воронеж, МАИ, ФГУП "НПО" "Техномаш", г. Москва)
E-mail: anotmvp@rambler.ru

Управление обеспечением качества ракетно-космической техники на этапах испытаний, эксплуатации и утилизации

Рассмотрен научно-обоснованный подход к управлению качеством на этапах жизненного цикла изделия, который позволит повысить уровень востребованности продукции, снизить негативные воздействия на природу и человека, что также приносит финансовую прибыль за счет ликвидации штрафных санкций за урон окружающей среде.

In article the scientifically-proved approach to quality at stages of life cycle of a product which will allow to raise level of demand of production is considered, to lower negative influences on the nature and the person that also makes financial profit at the expense of liquidation of penal sanctions for a loss for environment.

Ключевые слова: жизненный цикл изделия, испытания, эксплуатация, утилизация, GALS-технологии.

Key words: life cycle of product, test, operation, recycling, GALS-technologies.

В условиях современных рыночных отношений обобщенным и часто комплексным по-

казателем качества является востребованность изделий. Особую роль в конкурентоспособности изделия играют показатели качества на выходных стадиях его жизненного цикла, а именно при испытаниях готовой продукции, ее эксплуатации и утилизации.

Функциональная схема управления обеспечением качества изделия на этих этапах представлена на рис. 1. Здесь показаны этапы подтверждения показателей качества готового изделия и мероприятия по поддержанию его характеристик в период использования объектов. Испытания изделия у потребителя должны выполняться по единым или согласованным с изготовителем программам, как правило, с участием представителя разработчика и изготовителя.

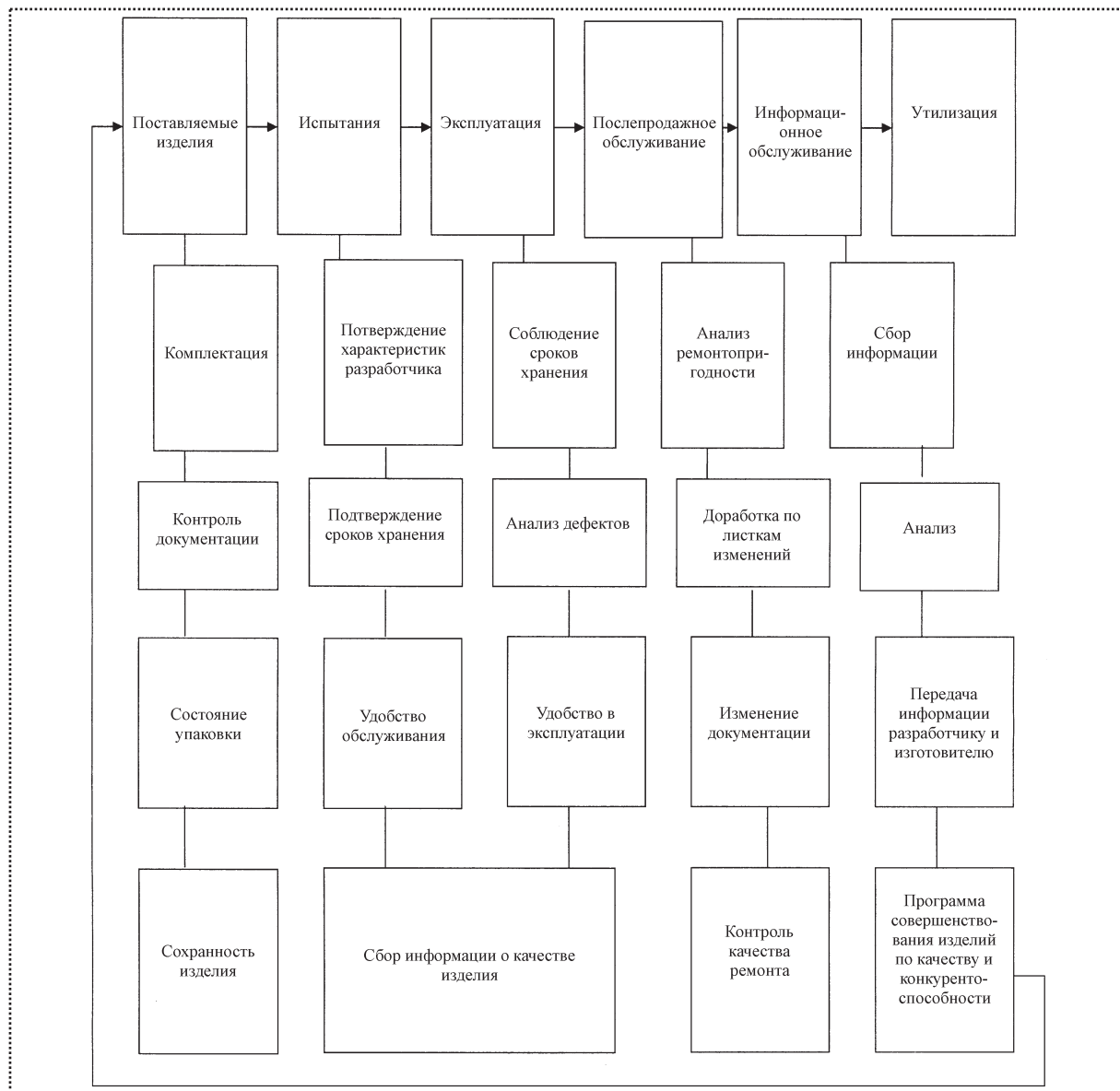


Рис. 1. Структурно-функциональная схема управления обеспечением качества и конкурентоспособности изделия на этапах испытания, эксплуатации и послепродажного обслуживания

Испытания могут быть частичными (например, проверка электрической, гидравлической системы, внешнего вида и др.) или по программе, учитывающей условия эксплуатации, где должны быть подтверждены заложенные в конструкции характеристики и показатели качества изделия.

Результаты испытания (подтверждение результатов сдаточных испытаний у изготовителя, удобство обслуживания, экологическая безопасность и др.) передаются изготовителю

и разработчику (если он не входит в состав фирмы изготовителя). В тех случаях, когда требуется продлить сроки хранения по согласованию с разработчиком и изготовителем, могут проводиться специальные испытания, по результатам которых в некоторых случаях изменяются сроки хранения или ресурс изделия [1].

Часть наукоемких изделий (например, двигатели космических объектов) не подлежат ремонту в процессе эксплуатации, а только мо-



гут быть доработаны (по согласованию с разработчиком) с целью использования полезных достижений в области качества для ранее выпущенной техники.

Другая продукция требует систематического обслуживания и ремонта для поддержания заложенного качества. Внеплановый ремонт требует изменения в конструкции (выполняет разработчик) или технологических приемах (выполняет изготовитель). Капитальный ремонт проводит, как правило, изготовитель или его подразделение. При этом накапливается информация о ремонтпригодности изделия в период эксплуатации, качестве внешних поставок, правомерности требований инструкции по эксплуатации, регулировке изделия, а также корректируются требования по сервисному обслуживанию, т.е. накапливается информация для повышения качества новых и освоенных изготовителем изделий [2].

При стабильном составе потребителей на всех этапах эксплуатации продукции у изготовителя и разработчика накапливается информация о новых требованиях со стороны заказчика, что позволяет заранее разрабатывать технические требования к новой продукции, анализировать возможности реализации, предоставить маркетинговым службам исходную информацию для проработки вопросов рекламы новых изделий.

Таким образом, для обеспечения надлежащего качества изделия в период эксплуатации необходим алгоритм управления, устанавливающий деловые связи между потребителем, изготовителем, разработчиком, а через изготовителя – с внешними поставщиками. Это создаст базу для разработки планов повышения качества новых изделий.

Одним из факторов управления является создание системы связи для передачи информации с соблюдением режимности. Современные средства обеспечивают такие требования, но необходима система контроля потоков информации у исполнителей, что должно быть оговорено в договорных обязательствах сторон.

Потребитель имеет возможность разработать пути использования изделий после выработки ресурса (при невозможности его продления). Это целесообразно делать для дорогостоящих изделий, способных выполнять новые функции (как правило, при меньших нагрузках). Примером может служить вторичное использование реактивных двигателей для поддержания внутрисплавового давления в нефтяных скважинах. Такой подход снимает с потребителя заботы об утилизации продукции и позволяет увеличить прибыль за счет реализации использованного изделия.

В других случаях требуется утилизация изделия или его элементов с соблюдением норм экологии, условий разборки или разделения, экономического обоснования средств и места утилизации продукции. Обобщенная схема технологического процесса утилизации наукоемких изделий приведена на рис. 2.

В ряде случаев изготовитель берет утилизацию на себя, так как у него имеется техническая база для демонтажа и разрезки элементов конструкции, документация, исполнители. При этом необходимо сохранить потребительские качества элементов при минимальных потерях. После анализа составляющих изделия и дефектации выявляют:

– компенсирующие элементы, ресурс которых не исчерпан и может быть продлен. Их следует демонтировать с соблюдением установленных правил. Маркетинговые службы должны найти потребителей таких объектов, что может принести ощутимую прибыль их владельцам;

– элементы, содержащие дефицитные материалы, востребованные в собственном производстве, что также выгодно для потребителя изделия;

– токсичные материалы (например ртуть), которые нужно удалять из изделия с соблюдением требований безопасности при демонтаже и последующем хранении. Такие работы целесообразно выполнять в специализированных организациях, имеющих возможность реали-

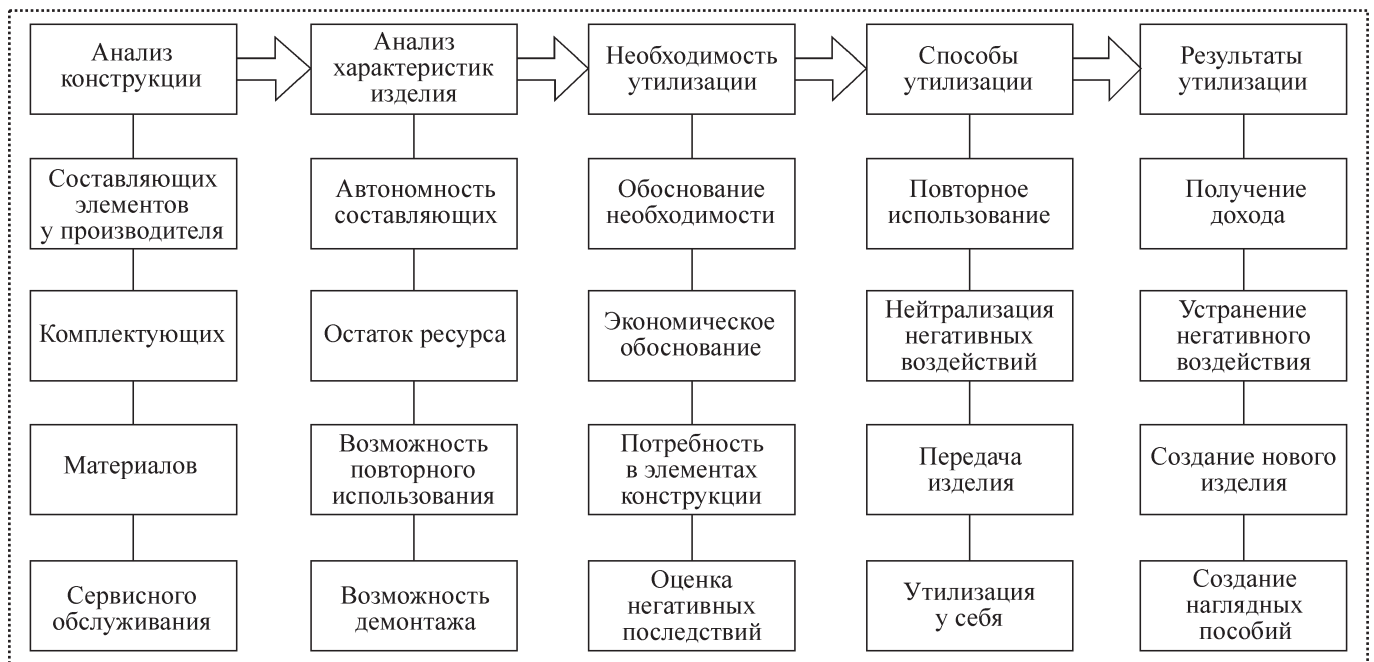


Рис. 2. Обобщенная схема технологического процесса утилизации изделий

зации ценных материалов для дальнейшего использования;

- взрывоопасные вещества или их остатки, которые утилизируют специальные фирмы (в ряде случаев за счет заказчика);

- вторичное сырье, которое после подготовки продается металлургическим, химическим предприятиям для дальнейшего использования.

В зависимости от места расположения изделия в ряде случаев утилизацию можно выполнить у потребителя. Иногда целесообразна ликвидация изделия на месте. Выбор способа утилизации обосновывается экономически с учетом последствий для окружающей среды.

Одним из путей вторичного применения объектов является создание тренажеров, макетов, наглядных пособий в учебных заведениях и профильных центрах переподготовки специалистов.

На всех этапах жизненного цикла ставится проблема управления воздействием на качество изделия. Причем при испытаниях и утилизации эти воздействия можно достаточно полно формализовать, а при эксплуатации ввиду случайных воздействий внешней среды это

сделать сложно. Управление воздействиями может быть однопараметрическим (например, путем регулирования какого-то составляющего режима) и многопараметрическим, заметно расширяющим технологические возможности для повышения уровня качества объектов обработки.

Значительные возможности имеют современные комбинированные методы, позволяющие одновременно формировать основные показатели качества объекта, например, при механической обработке. При этом следует рассматривать различные воздействия (по виду и интенсивности), которые позволяют достичь предельного значения одного из показателей, но слабо повысить (или понизить) другие значимые показатели качества (например, получить перенаклеп поверхностного слоя).

Поэтому необходимо найти совместный эффект используемых в методе воздействий, который обеспечивает требуемые показатели качества. В числе ограничений используют технологические, экономические факторы, минимизацию негативного воздействия на окружающую среду.



Методология проектирования суммирующих показателей качества за счет объединения нескольких внешних воздействий рассмотрена в работе [1]. Критериями выбора или проектирования технологических процессов разработки и изготовления, испытаний, эксплуатации и утилизации являются:

– достижение предельного технического показателя T_j на стадии научных исследований и с учетом ограничений в виде предельных значений T_3 , заданных для корректного объекта производства:

$$\begin{aligned} T_j &\rightarrow \max \text{ (для разработчика),} \\ T_j &\geq T_3 \text{ (для изготовителя);} \end{aligned} \quad (1)$$

– соблюдение ограничений, прежде всего экономического характера:

$$\begin{aligned} C_p &\rightarrow \min, \\ C_{ii} &\rightarrow \min, \\ P_p &\leq P_3, \end{aligned} \quad (2)$$

где C_p, C_{ii} – стоимость разработки и издержек на использование процесса;

P_p, P_3 – период разработки процесса и запуск изделия в производство.

В последнем критерии начало разработки может быть смещено на период проектирования нового изделия, тогда срок P_p расширяется.

Каждый технический показатель качества T_j формируется из множества текущих воздействий r_i , где $r_i = \overline{1; R}$, $r_i \in R$. Этот показатель (рассматривается в качестве независимой величины) зависит от множества воздействий

$$T \subset T(R), T_j(r_i) \subset r_i. \quad (3)$$

Для множества $r_i = \overline{1; R}$, учитывающих все возможные действия R , используются булевы матрицы [3]

$$\delta_{ij} = \{R \otimes T(r) = \begin{matrix} T_1 & \dots & T_j & \dots & T_m & \dots \\ \left. \begin{matrix} \delta_{1(1)} & \dots & \delta_{1(j)} & \dots & \delta_{1(m)} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \delta_{i(1)} & \dots & \delta_{i(j)} & \dots & \delta_{i(m)} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \delta_{n(1)} & \dots & \delta_{n(j)} & \dots & \delta_{n(m)} \end{matrix} \right\} \begin{matrix} r_1 \\ \vdots \\ r_i \\ \vdots \\ r_n \end{matrix} \end{matrix} \quad (4)$$

где \otimes – декартово произведение;

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{- элемент множества } r_i \\ & \text{принадлежит } T(r_i), \\ 0, & \text{если не принадлежит;} \end{cases}$$

$$T(r) \in T(r_i), r \Big|_{i=1}^n \quad (5)$$

Результат воздействия T_j зависит от сочетания элементов в (4), которые могут по-разному воздействовать на показатель T_j изделия. Здесь необходимо знать взаимодействие сочетаемых факторов, которое может выражаться математической зависимостью в виде физического, логического уравнения, уравнения регрессии, графической связью параметров.

В зависимости от показателя качества параметры воздействия R следует либо увеличивать, либо снижать.

При достижении оптимального уровня специального воздействия можно получить предельно возможные показатели качества, где ограничением могут служить, например, финансовые затраты.

Если обозначить количество возможных воздействий k , то булева матрица имеет вид

$$\delta_{kj} = \{T(r_i) \otimes T_k(r_i) = \begin{matrix} T_1 & \dots & T_j & \dots & T_m & \dots \\ \left. \begin{matrix} \delta_{1(1)} & \dots & \delta_{1(j)} & \dots & \delta_{1(m)} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \delta_{k(1)} & \dots & \delta_{k(j)} & \dots & \delta_{k(m)} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \delta_{n(1)} & \dots & \delta_{n(j)} & \dots & \delta_{n(m)} \end{matrix} \right\} \begin{matrix} T_1 \\ \vdots \\ T_k \\ \vdots \\ T_n \end{matrix} \end{matrix} \quad (6)$$



Решение (6) может быть представлено в виде

$$\delta_{kj} = \begin{cases} 1, & \text{если } T_j(r_i) \text{ принадлежит } T_k(r_i), \\ 0, & \text{если не принадлежит.} \end{cases}$$

Следовательно, при решении (6) рассматриваются только взаимосвязанные воздействия, которые определяют качество элементов и изделия в целом. Состав технических показателей ($T_{k1}, T_{k2}, \dots, T_{km}$) определяется составом j -го столбца при величине их воздействий, равных единице [4].

Воздействия по их направленности на показатели качества могут быть классифицированы в n групп при условии, что сочетание воздействий в группе не приводит к недопустимым изменениям показателей качества T_j . Следовательно, связь между допустимыми воздействиями на показатели качества может быть выражена логическим уравнением, аналогичным:

$$T_j(r_i) = \bigvee_{m=1}^m \bigwedge_{n=1}^n T_{\text{кп}}(r_i)_m, \quad (7)$$

где m, n – количество воздействий, снижающих или повышающих технический показатель;

$T_{\text{кп}}$ – показатель технологического качества воздействий:

$$T_{\text{кп}} = \begin{cases} 1, & \text{если } T_{\text{кп}} \in T(r_i), \\ 0, & \text{если } T_{\text{кп}} = 0. \end{cases}$$

Условие совместимости частных показателей $T_j(r_i)$ с общим показателем (например, качества изделия) имеет вид:

$$T_i(r_i) = \begin{cases} 1, & \text{если } T_j(r_i) = \bigvee_{m=1}^m \bigwedge_{n=1}^n T_{\text{кп}}(r_i)_m = 1, \\ 0, & \text{если условие не выполняется.} \end{cases}$$

Управление процессом улучшения показателей качества выполняется путем изменения видов, сочетания и величины воздействий $r_i = \bar{1}; \bar{R}$.

Модель обеспечения предельно достижимого уровня качества изделия технологического воздействия при испытаниях, эксплуатации и утилизации может быть описана в виде

$$T \in \{R, T(r), T(R), [R \otimes T(r)], [R \otimes T(R)], [R \otimes R(T)]\}. \quad (8)$$

Эта модель открыта для пополнения новыми технологическими воздействиями, к которым можно отнести не только режимы испытаний, эксплуатации и утилизации, но и вновь разработанные методы и средства технологического воздействия. Выбор выполняется с ограничениями (положительный характер воздействия, совместимость с технологической системой и др.).

В процессе проведения испытательных и эксплуатационных работ по совершенствованию изделий технологическими методами воздействий происходит замена используемых приемов на новые, меняются режимы обработки, что требует исключения из (8) некоторых воздействий. Последнее влияет на сложившиеся взаимодействия в системе, нарушает достоверность отчетов. Алгоритм исключения приведен в [4].

При обосновании воздействий рассматриваются следующие случаи:

– возможные, но технически не разработанные воздействия (способы, методы, средства технологического воздействия), которые по этой причине не могут реализоваться в процессах:

$$T(r)_{n1} = \bar{T}(r)_{n-1} \wedge \bar{T}(r_n);$$

– разработанные воздействия, которые не востребованы или неэффективны в рассматриваемых технологических способах:

$$T(r)_{n2} = T(r)_{n-1} \wedge \bar{T}(r_n);$$

– разработанные и используемые воздействия:

$$T(r)_{n3} = T(r)_{n-1} \wedge T(r_n).$$



В качестве исходных данных при оценке пригодности известного или проектируемого нового испытательного или другого процесса для использования в рассматриваемой модели воздействий являются:

– возможности разработчика технологического процесса по достижению уровня качества на определенной операции (предельного, требуемого для конкретного объекта, экономически обоснованного и др.);

– перечень возможных видов воздействий с достижимыми показателями уровня качества и ограничениями (экономическими, техническими, организационными и др.) [2];

– математические, экспериментальные или логические связи между выбранными видами воздействий на изучаемый показатель качества.

Настоящую методологию управления обеспечением высокого качества изготовления ракетно-космической техники на множестве этапов жизненного цикла изделий применяли при повышении надежности двигателей лета-

тельных аппаратов на этапах создания, механической обработки, сварки, сборки и хранения изделий.

Вывод

Научно-обоснованный подход к управлению качеством на этапах жизненного цикла изделия позволяет повысить уровень востребованности продукции, прибыль, снизить негативные воздействия на природу и человека.

Библиографический список

1. **Бондарь А.В.** Качество и надежность. – М.: Машиностроение, 2007. 320 с.
2. **Мельников В.П., Смоленцев В.П., Схиртладзе А.Г.** Управление качеством. Учебник для сред. спец. обр. 5-е изд. – М.: ОИЦ "Академия", 2008. 325 с.
3. **Бондарь А.В.** Управление качеством изделий на этапе их изготовления. Сб. тр. международной научно-технической конф. Ч. 1. – М.: Машиностроение, 2007. С. 281–285.
4. **Митрофанов В.Г., Соломенцов Ю.М., Шептунов С.А.** Разработка модели интегрированного управления производством на базе GALS-технологии // Проблемы GALS-технологий. Сб. научн. тр. – М.: Изд-во "Янус-К", 1998. С. 13–22.



ИСПЫТАНИЯ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ: учебник для вузов

В.А. Григорьев, С.П. Кузнецов и др.

Под общ. ред. **В.А. Григорьева, А.С. Гишварова**

2009. – 504 с.: ил. ISBN: 9-785-94275-435-8

Цена 550 р.

Изложены современные способы и методы испытаний авиационных двигателей различных типов. Наряду с традиционными вопросами измерений физических величин, видов испытаний и оборудования, их обеспечивающего, рассмотрены методы определения основных технических данных двигателей, специальные испытания, испытания для подтверждения ресурса, проанализированы пути совершенствования экспериментальной базы для испытаний.

Особое место занимают вопросы автоматизации научных исследований и испытаний авиационных двигателей.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Двигатели летательных аппаратов», а также для специалистов авиадвигательных предприятий.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Стромьинский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU



УДК 621.717

В.С. Антонюк, д-р техн. наук, **С.П. Вислоух**, канд. техн. наук,
М.В. Филиппова, **И.Н. Диордица** (Национальный технический университет Украины
 "Киевский политехнический институт", vp@users.ntu-kpi.kiev.ua)

Система загрузки обобщенных производственных систем сборки на основе статистического управления сложными технологическими процессами

Предложена система, которая может быть использована для выбора последовательности работы оборудования производственных систем сборки и контроля процесса готовых изделий. Она позволяет уменьшить время выбора оптимального технологического процесса, сократить сроки производства, повысить эффективность использования производственных систем и улучшить качество готовых изделий.

The system which behaves to the swap of the production systems area and can be utilized for the choice of sequence of work of equipment of the production systems of assembling and control of process of the finished products is offered in the article. Allows to decrease time at choice optimum technological process, to reduce the terms of production, promote efficiency of the use of the production systems and improve quality of the finished products.

Ключевые слова: производственная система, управление, загрузка оборудования, сборка.

Key words: production system, management, load of equipment, assembling.

Одна из основных задач современной промышленности — переход от управления качеством продукции к управлению качеством технологических процессов.

Статистические методы управления качеством технологического процесса в сравнении со сплошным контролем продукции обладают таким важным преимуществом, как возможность обнаружения отклонения от технологического процесса не после изготовления всей партии деталей, а на этапе, когда можно своевременно вмешаться и скорректировать процесс.

Однако ни один из известных методов статистического управления технологическими процессами не позволяет достичь желаемого результата в полной мере. Возможности их использования ограничиваются сложностью технологических процессов, которые являются одним или несколькими комплексами подпроцессов низшего уровня, или же в методе управления учитывается только весомость ключевого подпроцесса и не учитывается корреляция показателей качества подпроцессов и выходов технологического процесса.

В связи с этим появляется потребность в разработке методики, которая использует корреляцию показателей качества подпроцессов друг на друга и направлена на оптимизацию современных подходов к статистическому управлению сложными технологическими процессами для повышения конкурентоспособности предприятий [1].

На основании проведенного исследования методов и систем управления качеством было установлено, что в основном используется процессный подход или его модификации.

Поэтому возникла потребность в разработке модели системы загрузки обобщенных производственных систем сборки на основе статистического управления сложными технологическими процессами (рис. 1), которая включает методы формализации и оптимизации объектов производства, а также необходимые методы и инструменты для эффективного внедрения разработанной модели, что позволяет повысить ее экономичность, объективность и качество результатов работы производствен-

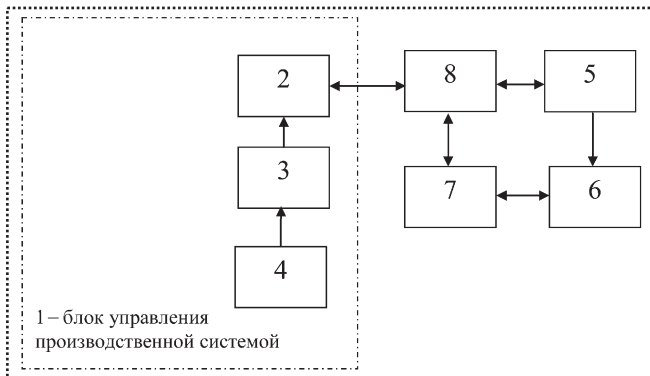


Рис. 1. Схема управления производственной системой:
 1 – блок управления производственной системой;
 2 – блок статистического управления сложными технологическими процессами;
 3 – блок оператора;
 4 – блок информации о производственных заданиях;
 5 – блок "обобщенная производственная система";
 6 – блок готовых изделий;
 7 – блок контроля готовых изделий;
 8 – блок контроля производственной системы

ной системы, а также осуществлять контроль готовых изделий [2, 3].

Данная система содержит блок управления производственной системой, в который входит блок оператора (его вход подключен к выходу блока информации о производственных заданиях, а выход – к входу блока статистического управления сложными технологическими процессами, который имеет связь с блоком "обобщенная производственная система"), и последовательно соединенные через связь вход – выход блок "обобщенная производственная система", блок контроля производственной системы, блок контроля готовых изделий и блок готовых изделий.

В предложенной системе все проектирование осуществляется на основе диалога оператора и блока статистического управления сложными технологическими процессами, где формируется или выбирается оптимальный технологический процесс, имеющий связь с производственной системой и блоком ее контроля.

На рис. 2 показан блок статистического управления сложными технологическими

скими процессами, который включает в себя:

- блок 9 принятия решения о внедрении;
- блок 10 проведения декомпозиции сложного технологического процесса;
- блок 11 анализа необходимости отображения отдельных подпроцессов;
- блок 12 определения показателей качества сложного технологического процесса и составляющих его подпроцессов;
- блок 13 сбора данных о показателях качества сложного технологического процесса и выходов его подпроцессов и их предварительной обработки;
- блок 14 исследования корреляции между показателями качества и его выявления на выходе сложного технологического процесса;
- блок 15 выявления ключевых показателей качества и управления сложным технологическим процессом через изменение их значений;
- блок 16 регулярного мониторинга показателей качества.

В блоке 9 для внедрения методики статистического управления сложными технологи-

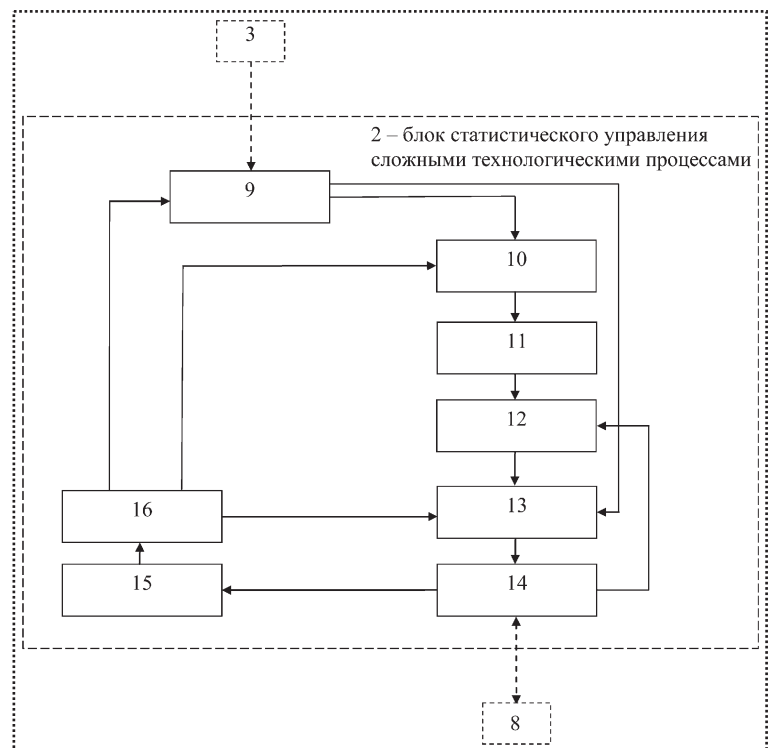


Рис. 2. Блок статистического управления сложными технологическими процессами сборки



ческими процессами необходимо сформировать межфункциональную команду, которая будет проводить последующие работы в соответствии с методикой управления [1]. Выбор технологического процесса проводится на основе анализа результатов:

- мониторинга действующих технологических процессов;

- использования методики статистического управления сложными технологическими процессами.

Для проведения декомпозиции (блок 10) необходимо опираться на принципы статистического управления сложными технологическими процессами. После декомпозиции следует провести анализ адекватности полученной модели сложного технологического процесса с целью выявления недостающих входов, выходов, подпроцессов и взаимосвязей между ними.

Анализ необходимости отображения отдельных подпроцессов (блок 11) проводится с целью оптимизации трудоемкости работ и исключения подпроцессов, которые не приносят прибавленную ценность. Данный анализ устанавливает:

- необходимость отображения подпроцессов, которые могут реализовываться или не реализовываться в зависимости от особенностей конкретного заказа;
- необходимость отображения "обособленных" подпроцессов, которые предоставляют минимальное действие на показатели качества выходов сложного технологического процесса;
- подпроцессы, которые не приносят прибавленную стоимость, для последующего прекращения их реализации.

Для оптимизации определения показателей качества разработаны два инструмента: анализ необходимости измерения показателей качества и древовидная диаграмма показателей качества [1].

Анализ необходимости измерения показателей качества проводится на основе экспертных оценок (по шкале от 0 до 9 баллов) рангов значимости S и измеримости I . Ранг значимости показывает необходимость измерения показателей качества, ранг измеримости – возможность и трудоемкость их измерения.

По результатам проведенных оценок рассчитывают взвешенную среднеарифметическую оценку по каждому рангу [1]:

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^n h_{ij}}{n}, \quad (1)$$

где R_i – значение оцениваемого ранга (S или I) для i -го показателя качества;

h_{ij} – оценка в баллах i -го показателя качества j -м экспертом;

n – количество экспертов.

Оценку необходимости измерения показателя качества N рассчитывают по формуле

$$N = \sqrt{R_s R_i}. \quad (2)$$

Этап сбора данных о показателях качества сложного технологического процесса включает:

- подготовку к сбору данных;
- сбор данных;
- проверку статистической стойкости значений показателей качества с помощью контрольных карт;
- определение законов распределения значений показателей качества;
- определение основных параметров распределения значений показателей качества;
- определение интервалов и действительных значений этих параметров.

Для уменьшения трудоемкости на этом этапе не проводится сбор и предыдущая обработка данных по показателям качества управляющего влияния. Корреляцию между показателями качества сложного технологического процесса находят на основе расчета коэффициентов вложения K_B в зависимости от исследуемого параметра и рассчитывают по формулам [1]:

$$K_{MB} = \frac{M_{xi} a_i + b_i}{M_x} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

$$K_{GB} = \frac{\sigma_{xi} a_i}{\sigma_x} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где K_{MB} – коэффициент вклада математического ожидания;

K_{GB} – коэффициент вклада дисперсии;



M_x — математическое ожидание значения показателя качества, который предшествует показателю качества выхода сложного технологического процесса;

x — показатель качества выхода сложного технологического процесса;

x_i — показатель качества, который предшествует показателю качества выхода сложного технологического процесса;

σ — среднее квадратичное отклонение;

a_i — коэффициент регрессии показателя x_i ;

b_i — постоянная величина.

Коэффициент прироста коэффициентов вложения рассчитывают по формуле [1]:

$$K_{\text{прир}l_f} = K_{\text{в}l_f} \left(1 - \frac{\sum K_{\text{в}(l-1)g}}{\sum K_{\text{в}l_f}} \right), \quad (5)$$

где l — уровень в иерархии показателей качества x_i ;

f — порядковый номер x_i на уровне l ;

g — порядковый номер показателя качества уровня $l-1$, непосредственно связанного с x_{lf} .

В ходе реализации этого этапа определяют показатель качества с максимальным коэффициентом прироста. Если он является показателем качества выхода подпроцесса, то следует проверить неравенство [1]

$$\sum_{g=1}^n K_{\text{в}(l-1)g} + \sum_{u=1}^v K_{\text{в}u} < 0,8 K_{\text{в}l_f}, \quad (6)$$

где u — порядковый номер показателя качества действия управляющего влияния для показателя качества выхода подпроцесса с максимальным значением коэффициента прироста.

Если наибольший коэффициент прироста отвечает показателю качества *входа* сложного технологического процесса, то он является ключевым показателем качества, если показателю качества *выхода* сложного технологического процесса, то ключевой показатель качества — один из показателей качества его управляющего влияния. В этой ситуации необходимо проанализировать управляющее влияние и определить показатели качества управляюще-

го влияния, которые оказывают значительное влияние:

— на соотношение сигнал — шум;

— на среднее значение при условии минимального влияния на соотношение сигнал — шум.

Выходами сложных технологических процессов управляют с помощью изменения значений ключевых показателей качества.

Мониторинг показателей качества сложного технологического процесса (блок 16) проводится с целью:

• наблюдения за ходом реализации сложного технологического процесса и соответствующих подпроцессов;

• оценки результативности действий, которые проводятся в рамках употребления методики статистического управления сложными технологическими процессами;

• определения момента обнаружения ключевых показателей качества, которые не обеспечивают значительное влияние на показатели качества выходов сложного технологического процесса, для определения новых ключевых показателей качества.

Для расчета результативности действий, проводимых в рамках употребления методики статистического управления сложными технологическими процессами, разработаны коэффициенты прироста результативности [1]:

$$K_{\text{сп}} = \left(1 - \frac{\sigma_{t_2}}{\sigma_{t_1}} \right) \cdot 100 \%, \quad (7)$$

$$K_{\text{мп}} = \left(1 - \left| \frac{M_{t_2} - \mu_0}{M_{t_1} - \mu_0} \right| \right) \cdot 100 \%, \quad (8)$$

где $K_{\text{сп}}$ — коэффициент результативности дисперсии;

$K_{\text{мп}}$ — коэффициент результативности математического ожидания;

M_t — математическое ожидание времени оценки показателя качества выхода сложного технологического процесса;

μ_0 — номинальное значение показателя качества выхода сложного технологического процесса;



t_1 — время оценки показателя качества выхода сложного технологического процесса до проведения разработанных мероприятий;

t_2 — время оценки показателя качества выхода сложного технологического процесса после проведения разработанных мероприятий — номинальное значение показателя качества выхода сложного технологического процесса.

Система загрузки обобщенных производственных систем сборки на основе статистического управления сложными технологическими процессами работает следующим образом.

Для загрузки оборудования оператор 3 получает производственное задание от блока 4 информации о производственных заданиях и через блок 2 статистического управления сложными технологическими процессами задает параметры производства, которые попадают в блок 9 принятия решения о внедрении, выбора технологического процесса и создания межфункциональной команды.

Блок 9 имеет выход на блок 10 проведения декомпозиции сложного технологического процесса и блок 13 сбора данных о показателях качества сложного технологического процесса и выходов его подпроцессов. При этом выясняется, исследовался ли процесс раньше и не возникли ли в нем изменения в технологии.

Блок 16 регулярного мониторинга показателей качества сложного технологического процесса имеет вход из блока 15 выявления ключевых показателей качества и управления сложным технологическим процессом через изменение их значений и выход к блоку 9 (при этом осуществляется выбор нового сложного технологического процесса), к блоку 10 (при этом выполняется изменение в технологии исследуемого процесса) и к блоку 13, который имеет выход на блок 14 исследования корреляции между показателями качества и его выявления на выходе сложного технологического процесса.

В блоке 14 учитывается коэффициент уровня влияния, которое имеет вход — выход блока 8 контроля производственной системы и выход на блок 12 определения показателей качества сложного технологического процесса и составляющих его подпроцессов, а также выход к блоку 15 выявления ключевых показателей качества и управления сложным технологическим процессом через изменение их зна-

чений. У блока 10 есть выход на блок 11 анализа необходимости отображения отдельных подпроцессов, который имеет выход к блоку 12 с выходом на блок 13, из которого есть выход к блоку 14.

Выбранный технологический процесс передается через блок контроля 8 в блок обобщенной производственной системы 5, которая реализует его при изготовлении, в блок готовых изделий 6 с последующим их контролем в блоке 7. Затем осуществляется итерационный процесс анализа правил выбора конструктивных решений.

В случае отказа работы производственной системы (оборудования) или аварийной ситуации, а также получения на выходе бракованной продукции блоки контроля 7, 8 подают сигнал на блок оператора 3, который корректирует производственный процесс, т.е. выясняет причину отказа или получения бракованной продукции и передает эту информацию в блок 2 статистического управления сложными технологическими процессами, где процесс корректируется (в случае выхода бракованных изделий) или передается информация на ремонт (замену) оборудования.

Область применения предложенной системы — загрузка производственных систем, а также выбор последовательности работы оборудования производственных систем с контролем как их работы, так и качества готовых изделий.

Применение такой системы позволяет уменьшить время выбора оптимального технологического процесса, сократить сроки производства, повысить эффективность использования производственных систем и улучшить качество готовых изделий.

Библиографический список

1. Пашков П.И. Разработка методики статистического управления технологическими процессами на основе исследования взаимодействия показателей качества. Дисс. ... канд. техн. наук. — Москва: МАТИ, 2008. 22 с.
2. Капустин Н.М., Кузнецов П.М. Формирование виртуальной производственной системы для выпуска изделий в распределенных производственных системах // Машиностроитель. — 2002. № 6. С. 42–46.
3. Декларационный патент на полезную модель. В23q 41/08 Система загрузки и контроля работы обобщенных производственных систем сборки / С.П. Вислоух, М.В. Филиппова, О.В. Волошко, И.М. Диордица, О.В. Филиппов, А.М. Диордица. № 39621. Заявл. 02.07.2008. Опубл. 10.03.2009. Бюл. № 5. 2009.

Указатель статей, опубликованных в 2009 году

Поздравления

	№
Васильеву Александру Сергеевичу 60 лет.....	2
Новакову Ивану Александровичу 60 лет.....	8
Митенкову Федору Михайловичу 85 лет.....	11
Холодкова Альбертина Григорьевна.....	11
Поздравляем с присуждением премии Правительства Российской Федерации 2009 г. в области образования.....	11
Юбилей кафедры "Технология машиностроения" МГТУ "МАМИ".....	12

Ресурс машин и конструкций

Болотин В.В. Прогнозирование и нормирование ресурса машин.....	7, 8, 9
Головкин В.В., Шуваев В.Г., Шуваев И.В., Ромашкина О.В. Повышение усталостной прочности резьбовых деталей при ультразвуковом резбонарезании.....	7
Митенков Ф.М., Кайдалов В.Б., Коротких Ю.Г., Панов В.А., Пичков С.Н. К оценке ресурса ядерных энергетических установок.....	6
Черненко А.Г., Кожушко Г.Г., Савинова Н.В. Диагностика несущих металлоконструкций мостовых кранов-перегрузателей.....	7

Экономика и организация сборочного производства

Базров Б.М. Единый подход в построении расчетных моделей изделия как механической системы.....	5
Ламин И.И. Оптимизация структуры парка и параметров сборочного оборудования автомобильного производства.....	7
Мальшев Е.Н., Бысов С.А. Эффективность автоматизированной системы сборки шаговых электродвигателей в серийном производстве.....	5
Журавлев А.Н. Разработка алгоритма синхронизации взаимодействия роликов в опорах буровых долот при структурно упорядоченной сборке.....	5

Технологичность конструкции

Безязычный В.Ф., Надеждин И.В. Проектирование узлов топливной аппаратуры дизельных двигателей с учетом особенностей технологии автоматической сборки.....	4
Волков Г.Ю., Курасов Д.А. Рациональное конструирование зубчатых подшипников с учетом требований их изготовления и сборки.....	11
Проектирование технических средств обработки данных с учетом требований автоматизации сборки.....	8

Современные технологии сборки

Базров Б.М. Систематизация технологического обеспечения сборки изделий.....	12
Безязычный В.Ф. Технологическое обеспечение комплекса параметров качества поверхностного слоя и точности обработки на стадии технологической подготовки производства.....	3
Безязычный В.Ф., Непомилуев В.В. Некоторые проблемы современного сборочного производства и перспективы их преодоления.....	8
Воркуев Д.С. Определение угла затяжки резьбовых соединений с учетом деформации уплотнения.....	7
Гаер М.А., Шабалин А.В. Геометрическая классификация деталей при анализе сборок с пространственными допусками.....	7
Голубев С.В., Павлин В.Н. Особенности сборки главных циркуляционных насосов для АЭС с реакторами на быстрых нейтронах.....	12
Григорьева Н.С. Гибкие модульные сборочные технологии.....	4

Давыдова Е.В., Прейс В.В. Аналитическая модель производительности бункерного загрузочного устройства с радиальными гнездами и кольцевым ориентатором.....	11
Давыдова Н.С., Коновалов Д.А., Симаков А.Л. Анализ законов изменения углов отклонения входных звеньев дельта-робота при поисковом совмещении соединяемых деталей по спирали Архимеда.....	10
Данилова Л.Н. Обеспечение качества гладкорезьбовых соединений.....	6
Житников Б.Ю., Симаков А.Л., Демьянова Е.В. Способ доориентации жестких уплотнений при их автоматизированной установке на сопрягаемую поверхность узла.....	7
Житников Ю.З., Воркуев Д.С. Обоснование способа обеспечения и контроля качества затяжки групповых резьбовых соединений.....	9
Журавлев А.Н. Разработка методологии структурно упорядоченной сборки сложных механических систем на основе декомпозиции взаимодействий соединений.....	9
Комаишко С.Г., Кулик Г.Н., Моисей М.В., Суздаль К.В. Сборка колена реактора установки для изготовления полиэтилена высокого давления.....	11
Мишра А., Неверов А.Н. Применение продольных ультразвуковых колебаний для сборки резьбовых соединений.....	1
Непомилуев В.В., Майорова Е.А. Исследование возможности повышения качества изготовления высокоточных изделий машиностроения путем учета компенсирующей способности деталей при использовании метода индивидуального подбора.....	9
Папшев В.А., Шуваев В.Г. Сборка прессовых соединений с применением методов тестовой диагностики.....	9
Прилуцкий В.А. Автоматизация сборки зубчатых передач.....	8
Семенов А.Н. Методология системного подхода к проектированию сборки высокотехнологичных изделий.....	3
Симаков А.Л., Симаков Д.А. Согласование этапов ориентации присоединяемой детали при движении по поисковой программной траектории совмещения.....	6
Толоконников С.В. Моделирование точно-капельных процессов в зависимости от погрешности сборки узла штуцера тепловых подогревателей.....	7
Труханов В.М., Крыхтин Ю.И. Технология изготовления и сборки заготовок фрикционных дисков с комбинированной поверхностью трения методом автоматизированного плазменного напыления.....	4
Учаев П.Н., Жесткова И.Н. Конусные соединения.....	5
Чумаков Р.Е. Синтез структуры технологической системы для сборки резьбовых соединений в условиях неопределенности.....	2
Шандров Б.В., Булавин И.А., Груздев А.Ю. Новые технологии сборки редукторов ведущих мостов автомобилей. Технологическая оснастка и оборудование.....	6
Шиляев В.М., Пьянков И.И., Горшков Г.Н. Опыт сборки центробежного компрессора серии НЦ 16.....	2
Шпилев А.М., Хвостиков А.С., Марьин Б.Н. Методы и средства обеспечения геометрической взаимозаменяемости сборочных единиц, собираемых по отверстиям.....	12
Шпилев А.М., Хвостиков А.С., Марьин Б.Н. Технология выполнения высокоресурсных болтовых соединений.....	8

Сборочное оборудование и его элементы

Аббасов В.М., Бухтеева И.В., Елхов П.Е. Предварительный выбор и оптимизация надежности автоматического сборочного оборудования.....	5
Березин С.Я., Курбатова Л.С. Анализ принципа действия компенсирующих механизмов завинчивающих патронов.....	10
Божкова Л.В., Воловов М.В. Оптимизация программного управления сборочным роботом с пассивной адаптацией.....	8



Давыдова Е.В., Преис В.В. Аналитическая модель процесса ориентирования деталей с неявно выраженной асимметрией торцов в бункерном загрузочном устройстве	9
Давыдова Н.С., Симаков А.Л. Угловая адаптация положения детали при использовании устройств с параллельными кинематическими цепями для автоматизированной сборки	9
Житников Ю.З., Житников Б.Ю. Обоснование предельной скорости соударения исполнительного органа сборочного устройства с незакрепленной заготовкой	6
Житников Ю.З., Житников Б.Ю., Воркуев Д.С. Определение сечения дросселя для управления скоростью подвода к узлу исполнительного органа сборочного оборудования	5
Журомский В.М., Трушкин Н.С. Включение индуктивной нагрузки по схеме последовательного резонанса	11
Кислов С.Ю., Кутырев Ал.П., Кутырев Ан.П. Особенности геометрии полуобкатных конических передач	7
Куранов В.Г., Лукашова Н.В. Возникновение схватывания в бомбинированном роликоподшипнике из-за разворота ролика под влиянием гирокоспического эффекта	7
Пеева И.В., Виглимов В.Д. Пассивно-активное относительное ориентирование в условиях автоматической сборки	6
Пшмагин А.А. Предельная частота вращения шпинделя при натяжке резьбовых соединений	7

Технологическая оснастка для сборки

Агапов С.И., Солтан С.П., Корпелянский О.Ф. Применение ультразвуковых колебаний при сборке и разборке соединений с натягом	11
Аль-Даббас Х. Эксцентриковый инструментальный зажимной патрон	12
Божкова Л.В., Варганов М.В., Кольчугин Е.И. Экспериментальная установка для роботизированной сборки на основе пассивной адаптации и низкочастотных колебаний	1
Воркуев Д.С. Обоснование условий надежного снятия разрезных резьбовых кулачков с завинченных шпилек при групповой автоматизированной сборке	3
Воркуев Д.С. Четырехшпindelный гайковерт	6
Евдокимов А.П. Обеспечение точности сборки и автоматическая балансировка шкивов клиноременных передач путевых машин	6
Житников Ю.З., Воркуев Д.С. Обоснование кинематики и параметров работы многошпindelных гайковертов нового класса на основе муфт предельного момента и механизмов свободного хода	2
Житников Б.Ю., Воркуев Д.С. Разработка кинематической схемы многошпindelного гайковерта на основе муфты предельного момента, дифференциальных механизмов и механизмов свободного хода для четного числа шпindelей	8
Маслов А.Р. Условия многократной установки инструмента посредством термической деформации	12
Матвеев А.С. Устройства для сборки шарнирных узлов	11
Шуваев В.Г., Папшев В.А. Устройство пространственного ориентирования деталей при автоматизированной сборке путем формирования сложного колебательного движения	11
Шуваев В.Г., Папшев В.А., Шуваев И.В. Ультразвуковой инструмент для сборки и разборки резьбовых соединений	3

Сборочно-сварочные работы. Пайка

Ковтунов А.И., Семистенов Д.А., Филатов А.М., Чермащенко Т.В. Особенности формирования зоны термического влияния при аргонодуговой сварке тонколистовой стали, покрытой алюминием	10
Ковтунов А.И., Чермащенко Т.В., Семистенов Д.А. Влияние алюминиевых покрытий на свойства сварных соединений при аргонодуговой сварке сталей	5
Кулик В.И., Хмылов Г.И., Благутина Л.Л. Пайка конструкций из высокопрочных сталей с сотовым наполнителем	9
Кулик В.И., Созонович Н.И., Гудков А.В., Ильинский А.М. Особенности электрононо-лучевой сварки деталей из перспективных алюминиевых сплавов, легированных литием и скандием	11

Романов И.О., Макиенко В.М., Строителев Д.М. Использование циркониевого минерального сырья в качестве основы самозащитных порошковых проволок	9
Штеников В.Н. Влияние защитного покрытия паяльного стержня на температуру пайки	9
Штеников В.Н. Некоторые аспекты лазерной пайки электронных приборов	5

Сборка с использованием клеев

Воячек И.И., Кочетков Д.В. Повышение функциональных характеристик резьбовых соединений при сборке с анаэробными материалами	6
Гончаров А.Б., Тулинов А.Б. Исследование свойств анаэробных материалов в жидкостных и агрессивных средах	1
Князев Д.В. Сборка цилиндрических соединений с натягом комбинированным клеетепловым методом	5
Тулинов А.Б., Гончаров А.Б. Исследование эксплуатационных характеристик анаэробных клеев и герметиков	3

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Басинюк В.Л., Мардосевич Е.И., Басинюк Я.В. Комплексный автоматизированный контроль качества изготовления и сборки трансмиссий на основе передач зацеплением по виброакустическим параметрам	9
Басинюк В.Л., Мардосевич Е.И., Усс И.Н. Автоматизированный экспресс-анализ качества изготовления и сборки насосов в цеховых условиях и гидроприводов навесных устройств в составе трактора	10
Васильев А.С., Кондаков А.И. Прогнозирование изменений показателей качества при изготовлении деталей наукоемких изделий	4
Виноградова О.В., Шишкин В.Н. Системообразование структурно-параметрических моделей в задачах совершенствования эксплуатационных характеристик авиационного ГТД	4
Дмитриев С.В., Хлюпин В.Б. Сборка стенда для исследования показателей дизеля при впрыскивании воды во впускной коллектор	1
Зайдес С.А., Протасов А.В. Повышение качества соединений с гарантированным натягом при сборке узлов крупнотоннажных кривошипных валов газовых компрессоров	1
Кончиц А.В. Поиск несоответствующего компонента при обнаружении причин несоответствий в автомобильном производстве	2
Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В., Молтенинов А.В., Булчевский Ю.В., Карпов С.Ю., Двухжилов Д.В., Щелканов А.В. Стендовая система входной вибродиагностики подшипников качения	4
Костюков В.Н., Костюков А.В., Казарин Д.В. Диагностика качества сборки электрических цепей электропоездов	12
Костюков В.Н., Науменко А.П. Решения проблем безопасной эксплуатации поршневых машин	3
Кравченко В.И., Костюкович Г.А., Кипнис М.Е., Красневский Л.Г., Адашкевич В.И. Модернизация стенда для испытания шлицевых соединений карданных валов	3
Ланщиков А.В., Селиверстов А.А. Диагностическое обеспечение операций сборки резьбовых соединений	4
Ломанова М.В. Состояние вопроса о влиянии наклепа на эксплуатационные свойства деталей	1
Макушин А.А., Зубков Е.В., Бахвалов В.С. Имитационное моделирование ДВС в рамках автоматизированной системы испытаний	6
Макушин А.А., Зубков Е.В., Илюхин А.Н. Управление системой испытания двигателей на основе математической модели	12
Макушин А.А., Зубков Е.В., Илюхин А.Н. Применение нечеткой логики для моделирования режимов испытаний двигателей внутреннего сгорания	8
Мальшев Е.Н., Бысов С.А. Реализация комплекса операций обработки и сборки на одном станке	1
Матросов А.Е. Устройство автоматизированного неразрушающего контроля физико-механических свойств изделий из пористых материалов перед сборкой	1



Медарь А.В. Направления развития методов и средств технологического обеспечения выходных параметров точности в сборочном производстве изделий ракетно-космической техники.....	12
Мельников В.П., Муртазин Д.А., Басенин М.А. Методология испытаний авиационно-космической техники с помощью накладных шаговых систем	12
Первухина Е.Л., Сопин П.К., Голикова В.В. Оценка состояния машиностроительных изделий в ходе производственных испытаний после сборки.....	10
Печагин А.П., Смоленцев В.П., Найденов А.И. Повышение точности сборных корпусных деталей путем искусственного старения методом магнитомпульсной обработки	6
Плотников А.Л., Ханов Г.В., Крылов Е.Г. Обеспечение надежности работы сборного многолезвийного твердосплавного инструмента на автоматизированном станочном оборудовании	3
Семенов А.Н., Наумова С.А. Влияние условий эксплуатации и сборочного взаимодействия элементов трубопроводных клапанов на показатели их качества.....	6
Тынок А.Н., Медарь А.В. Контрольно-измерительное оборудование в сборочном производстве бортовых кабельных сетей.....	10
Хазиев Э.Л., Дмитриев С.В. Золотниковый газораспределительный механизм двигателя внутреннего сгорания с приводом от шагового двигателя	2
Хейфец М.Л., Премент Г.Б. Технологическое управление эксплуатационными параметрами качества при механической обработке гильзы цилиндра и сборке двигателя	11
Хейфец М.Л., Лысов А.А., Кусакин Н.А., Премент Г.Б. Управление наследованием показателей качества при восстановлении, обработке, сборке и эксплуатации деталей машин	4
Шабайкович В.А. Опережающая оценка качества и конкурентоспособности изделий при гибкой автоматической сборке.....	4
Шахова К.И., Акопов Е.Ю. Повышение качества погружных центробежных насосов путем упрочнения комплектующих деталей	11
Шашурин В.Д., Осипков А.С. Контроль качества термоэлектрических модулей на этапе их сборки	9
Шеховцева Е.В. Исследование контактной усталости цилиндрических зубчатых колес.....	4
Штеников В.Н. Рекомендации по обеспечению требуемых режимов конвекционной пайки.....	4
Шуваев В.Г. Применение ультразвука для обеспечения качества сборки.....	6
Питание сборочных линий.	
Комплектация. Складирование. Упаковка	
Корниенко В.М. Гибкий производственный модуль склада промышленного предприятия	11
Рабинович Л.А., Брискин Е.С., Макаров А.М. Автоматизация подачи мешков из ткани на рабочие позиции фасовочного оборудования.....	11
Разборка. Ремонт	
Арефьев И.В., Савинов А.В., Лапин И.Е., Лысак В.И., Потапов А.Н. Снижение уровня макро- и микронапряжений в наплавленном металле при восстановлении крупногабаритных конструкций	10

Макиенко В.М., Строителев Д.В., Романов И.О. Разработка сварочно-наплавочных порошковых проволок на основе минерального сырья Дальневосточного региона.....	10
Румянцева Н.В. Способ ремонта лопаток для обеспечения требуемых характеристик и надежности ГТД.....	1

В порядке обсуждения

Медарь А.В. Точностной анализ в технологическом проектировании сборочных процессов.....	1, 2
---	------

Нормативная документация

Болты, винты и шпильки. Материалы по ГОСТ Р 52627–2006	11
Болты, винты и шпильки. Механические свойства по ГОСТ Р 52627–2006	8
Вибрация. Станки балансировочные. Характеристики и методы их проверки (по материалам ГОСТ 20076–2007)	1, 2
Гибкие производственные модули окрасочные. Нормы надежности и общие требования к методам их контроля (по материалам ГОСТ 28355–89).....	1
Система технического обслуживания и ремонта автомобильной техники.....	2

Зарубежный опыт

Кушнир А.П. Виртуальный контроль сборки изделия на стадии проектирования	5
--	---

Информация

Джанахмедов А.Х., Амиров Ф.Г. Состояние и перспективы использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии	10
Козырев Ю.Г. Выставка "Робототехника – 2008".....	2
К 70-летию кафедры "Технология машиностроения" МАМИ.....	12
Указатель статей, опубликованных в 2008 г.	1

В помощь конструктору, технологу

Гольдин А.С. Тепловой дисбаланс ротора	4
Черменский О.Н., Федотов Н.Н. Монтаж, демонтаж и обслуживание подшипников качения	5, 7, 8

Подготовка специалистов

Садовников В.И., Кучеров В.Г., Подлеснов В.Н., Андросюк Е.Р. Анализ и оценка технологичности сборки конструкций в курсовых и дипломных проектах	2
Шандров Б.В., Вартанов М.В., Булавин И.А. Исследования кафедры "Технология машиностроения" МАМИ в области сборочного производства	12

Справочный материал

Старжинский В.Е., Антонюк В.Е., Кане М.М., Шалобаев Е.В., Шилько С.В. Словарь-справочник по зубчатым передачам русско-английско-немецко-французский.....	3
--	---

Соединение деталей машин

Крайнев А.Ф. Подвижные соединения и механизмы (функциональная целесообразность и технологичность)	5, 6, 9
---	---------

ООО "Издательство Машиностроение", 107076, Москва, Стромьинский пер., 4
Учредитель ООО "Издательство Машиностроение".

Адрес электронной почты издательства: E-mail: mashpubl@mashin.ru;
редакции журнала: sborka@mashin.ru; tsmm@mashin.ru http://www.mashin.ru
Телефон редакции журнала: (499) 268-38-42; тел./факс (499) 268-85-26; факс 269-48-97.
Технический редактор Журкина С.А. Корректоры Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.

Сдано в набор 11.11.09 г. Подписано в печать 11.01.10 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 6,86. Уч.-изд. л. 5,73. Заказ 11. Свободная цена.

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Издательство Машиностроение".
Отпечатано в ООО "Подольская Периодика", 142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, д. 15.