

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

12 ²⁰⁰⁹
(113)

СОДЕРЖАНИЕ

Современные технологии сборки

- Базров Б.М.** Систематизация технологического обеспечения сборки изделий 3
- Голубев С.В., Павлин В.Н.** Особенности сборки главных циркуляционных насосов для АЭС с реакторами на быстрых нейтронах 12
- Шпилёв А.М., Хвостиков А.С., Марьин Б.Н.** Методы и средства обеспечения геометрической взаимозаменяемости сборочных единиц, собираемых по отверстиям 15

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

- Медарь А.В.** Направления развития методов и средств технологического обеспечения выходных параметров точности в сборочном производстве изделий ракетно-космической техники 19
- Костюков В.Н., Костюков А.В., Казарин Д.В.** Диагностика качества сборки электрических цепей электропоездов 25
- Мельников В.П., Муртазин Д.А., Басенин М.А.** Методология испытаний авиационно-космической техники с помощью накладных шаговых систем 35
- Макушин А.А., Зубков Е.В., Илюхин А.Н.** Управление системой испытания двигателей на основе математической модели 39

Технологическая оснастка для сборки

- Аль-Даббас Х.** Эксцентриковый инструментальный зажимной патрон 45
- Маслов А.Р.** Условия многократной установки инструмента посредством термической деформации 48

Информация

- К 70-летию** кафедры "Технология машиностроения МАМИ" 51

Подготовка специалистов

- Шандров Б.В., Вартанов М.В., Булавин И.А.** Исследования кафедры "Технология машиностроения" МАМИ в области сборочного производства 53

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

Председатель редакционного совета
Ф.М. МИТЕНКОВ, академик РАН

Редакционный совет

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

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

Региональные редсоветы

БЕЛГОРОД
Н.А. ПЕЛИПЕНКО

БРЯНСК
О.А. ГОРЛЕНКО

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

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

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

КАЗАНЬ
Р.И. АДГАМОВ

КОВРОВ
Ю.З. ЖИТНИКОВ

КОЛОМНА
Ю.Д. АМИРОВ

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

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

НИЖНИЙ НОВГОРОД
С.В. ГОЛУБЕВ

ОМСК
В.Н. КОСТЮКОВ

ОРЕЛ
Ю.С. СТЕПАНОВ
Г.А. ХАРЛАМОВ

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

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

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

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

ТОЛЬЯТТИ
А.И. РЫЖКОВ
Б.Ф. ХАЗОВ

ТУЛА
В.В. ПРЕЙС

ХАБАРОВСК
В.А. ЛАШКО

Украина

КИЕВ
А.С. ЗЕНКИН
В.А. МАТВИЕНКО

ДОНЕЦК
А.Н. МИХАЙЛОВ

СЕВАСТОПОЛЬ
Е.Л. ПЕРВУХИНА

ХАРЬКОВ
Б.М. АРПЕНТЬЕВ

Беларусь

МИНСК
В.Л. БАСИНОК

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.

THE MONTHLY
NEWSMAGAZINE
FOR SCIENTISTS
AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING



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

12 ²⁰⁰⁹
(113)

CONTENTS

Modern technologies in assembly

Bazrov B.M. Ordering of technological maintenance of assemblage of products 3

Golubev S.V., Pavlin V.N. Features of assembling main circulation pumps for nuclear power plants with fast neutron reactors 12

Shpilev A.M., Hvastikov A.S., Marjien B.N. The methods and facilities for geometrical interchangeability of subunits support 15

Quality assurance. Testing. Monitoring

Medar A.V. Direction of development methods and means technological support output parameters data accuracy in assembly manufacture rocket-space technique 19

Kostyukov V.N., Kostyukov A.V., Kazarin D.V. Quality diagnostics of electric circuits assembling – the guarantee of electric trains' effective operation 25

Mel'nikov V.P., Murtazin D.A., Basenin M.A. Methodology of tests of aerospace technics by means of unprofitable step-by-step systems 35

Makushin A.A., Zubkov E.V., Iluchin A.N. The Control of explosion engines testing system on the basic of simulator 39

Technological equipment for assembly

Al-Dabbas H. Eccentric tool clamping chuck 45

Maslov A.R. Conditions volumne tool through thermal deformation 48

Information

Tu 70th anniversary of Mechanical Engineering Department of MSTU "MAMI" 51

Preparation of experts

Shandrov B.V., Vartanov M.V., Bulavin I.A. Research work in assembly production of Mechanical Engineering Department of MSTU "MAMI" 53

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

Editors

MOSCOW

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

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

Regional editors

BELGOROD

PELIPENKO N.A.

BRIANSK

GORLENKO O.A.

VLADIVOSTOK

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

VOLGOGRAD

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

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.

KOMMOMOLSK-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.

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,

Journal is distributed on subscription, which can be issued in any post office (index on the catalogue of the "Rospechat" agency 79748, the union catalogue "Pressa Rossii" 84967, the catalogue "Pochta Rossii" 60257) or directly in editorial of the journal.

Ph.: (499) 268-38-42; ph./fax: 268-85-26. Fax: (499) 269-48-97.

http://www.mashin.ru E-mail: sborka@mashin.ru; tsmm@mashin.ru

Labor Red Banner Order Public Corporation "Publishing House "Mashine Building" 107076, Moscow, Stromynsky per. 4

The reference to the Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making Journal during reprint of the materials is mandatory.

Advertisers are responsible for the content of their advertisements.

УДК 621.002; 621.757

Б.М. Базров, д-р техн. наук, профессор (ИМАШ РАН)
E-mail: modul_lab@mail.ru

Систематизация технологического обеспечения сборки изделий

Описан метод обобщения средств технологического обеспечения сборки изделий, отличающийся их распределением по предметам производства, в качестве которых выступают модули соединений, и приведено в первом приближении распределение средств технологического обеспечения.

The method of generalization of means of technological maintenance of assemblage of products is described, different their distribution in manufacture subjects, in which quality modules of connections act and distribution of means technological maintenance is resulted as a first approximation.

Ключевые слова: сборочная единица, сборочный технологический процесс, соединение, модуль соединения, комплект технологических баз, метод образования, фиксация, контроль.

Key words: assembly unit, assembly technological process, connection, the connection module, the complete set of technological bases, a formation method, fixing, the control.

Технологическое обеспечение сборки изделий отличается большим разнообразием и низким уровнем систематизации, что препятствует выбору лучших решений при разработке сборочных технологических процессов, тем самым снижая их эффективность.

Поэтому систематизация средств технологического обеспечения с последующей их классификацией представляется актуальной задачей.

Эффективность систематизации средств технологического обеспечения без привязки их к предмету производства будет мало способствовать снижению трудоемкости и повышению качества технологической подготовки сборочного производства. Поэтому первой задачей является выбор предмета производства.

Если в качестве предмета производства принять сборочную единицу, то в результате их неограниченного разнообразия нельзя создать банк средств технологического обеспечения для любых сборочных единиц и появление новых сборочных единиц потребует заново разрабатывать технологические процессы сборки.

Поэтому в качестве предмета производства следует принять не сборочную единицу, а ее элемент, причем он, с одной стороны, не должен зависеть от конструкции сборочной единицы, а с другой – всегда в ней присутствовать, при этом номенклатура этих элементов должна быть ограниченной. С целью поиска такого элемента был проведен анализ сборочных технологических процессов, который показал, что основу любого технологического процесса составляет технология соединений деталей, определяющая качество сборочных единиц. Эта технология разнообразна своими методами, способами, приемами и средствами технологического оснащения.

Действительно, любой сборочный технологический процесс представляет собой в определенной последовательности известные процессы соединения деталей.

И если систематизировать процессы соединения деталей и средства их технологического оснащения с последующим построением банка данных, то разработка сборочных технологических процессов изделий сведется к разработке маршрутного процесса, а содержание операций будет формироваться из данных банка. Это существенно упростит разработку сборочных процессов, снизит их трудоемкость и повысит качество.



Итак, исходя из сборки изделий, любую конструкцию сборочной единицы можно рассматривать как совокупность деталей, соединенных определенным образом между собой. При этом деталь изделия в зависимости от его конструкции может присоединяться к одной или нескольким деталям, образуя соответствующее соединение. Отсюда в качестве предмета производства следует принять элемент изделия – соединение, представляющее собой в конструктивном отношении совмещение поверхностей соединяемых деталей.

Как показал анализ литературы, соединения деталей делятся по целостности (разъемные–неразъемные), подвижности (подвижные–неподвижные), форме сопрягаемых поверхностей и методу образования.

По форме сопрягаемых поверхностей они делятся на плоские, цилиндрические (в форме кругового цилиндра), конические, сферические, винтовые и профильные.

По методу образования – на резьбовые, клиновые, штифтовые, шпоночные, шлицевые, сварные, паяные, клееные, скобочные, фрикционные неподвижные (клемовые, пресовые и др.), ниппельные (штуцерные), развальцованные, комбинированные и др.

Главным недостатком такой классификации соединений является отсутствие в качестве отличительных признаков конструкторских размерных характеристик и качественных показателей, поскольку именно они определяют технологию сборки соединений.

Действительно, классификация соединений по таким признакам, как подвижность, отражает соединения не по конструктивному признаку, а по их служебному назначению, которое в свою очередь предъявляет требования к их конструкции. Что касается классификации по технологической характеристике или методу образования, то она отражает лишь частично технологию сборки соединения. И только классификация соединений по сопрягаемым поверхностям отражает конструкции соединений, но лишь частично, так как учитывает только одну пару сопрягаемых по-

верхностей. Если же деталь лишается в соединении всех степеней свободы, то согласно теории базирования контакт в соединении будет не по одной паре, а по нескольким парам поверхностей.

В соответствии с изложенным становится очевидной необходимость построения классификации соединений по характеристикам конструкций соединений.

В ЕСКД и справочной литературе можно встретить следующие типовые конструкции соединений: гладкое цилиндрическое, шпоночное, шлицевое, резьбовое цилиндрическое или коническое, гладкое коническое и соединение по сферическим поверхностям.

Однако нигде не приводятся их классификации по характеристикам конструкций: относительному расположению сопрягаемых поверхностей, размерам, требованиям к точности, шероховатости.

Кроме того, не все приведенные конструкции соединений лишают присоединяемые детали всех степеней свободы, представляя собой тем самым лишь частные случаи.

В связи с этим необходимо устранить этот недостаток, установив по возможности все их конструктивные решения с перспективой последующей классификации по конструктивным и качественным характеристикам, что послужит основой систематизации средств технологического обеспечения сборки изделий.

С этой целью рассмотрим соединение деталей с позиции их базирования. Тогда соединение можно рассматривать как совмещение двух комплектов баз, где один является комплектом основных баз, принадлежащим присоединяемой детали, а другой – вспомогательным комплектом баз, принадлежащим базовой детали.

Совмещение основного и вспомогательного комплектов баз получило название "модуль соединения" (МС) [1], конструкция которого определяется составом поверхностей, реализующих базы, и их относительным расположением. Отсюда различать соединения следует, в

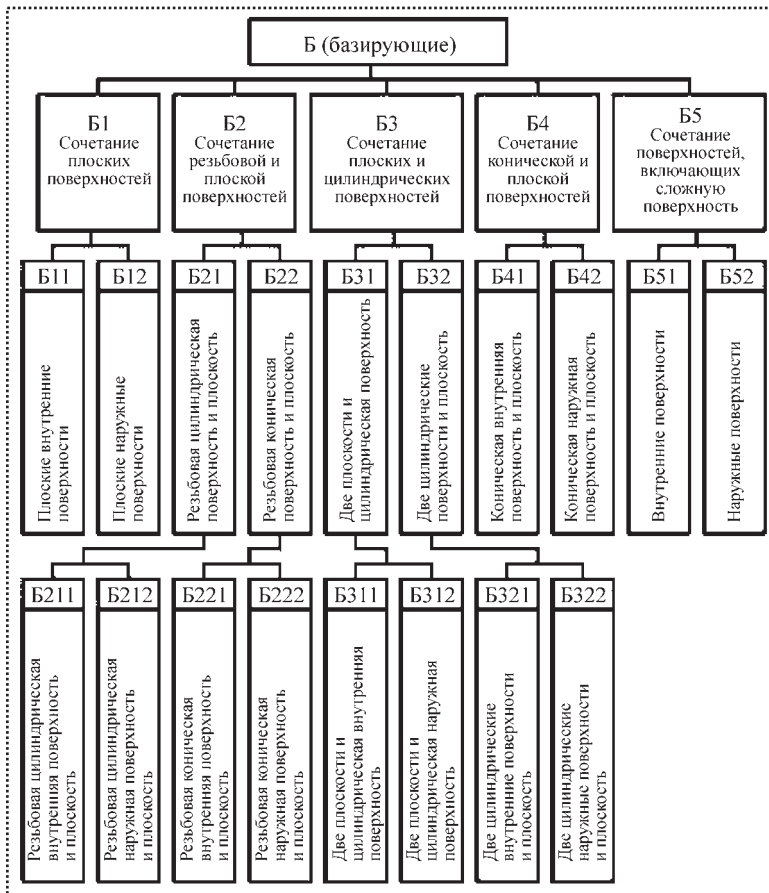


Рис. 1. Классификация базирующих модулей поверхностей

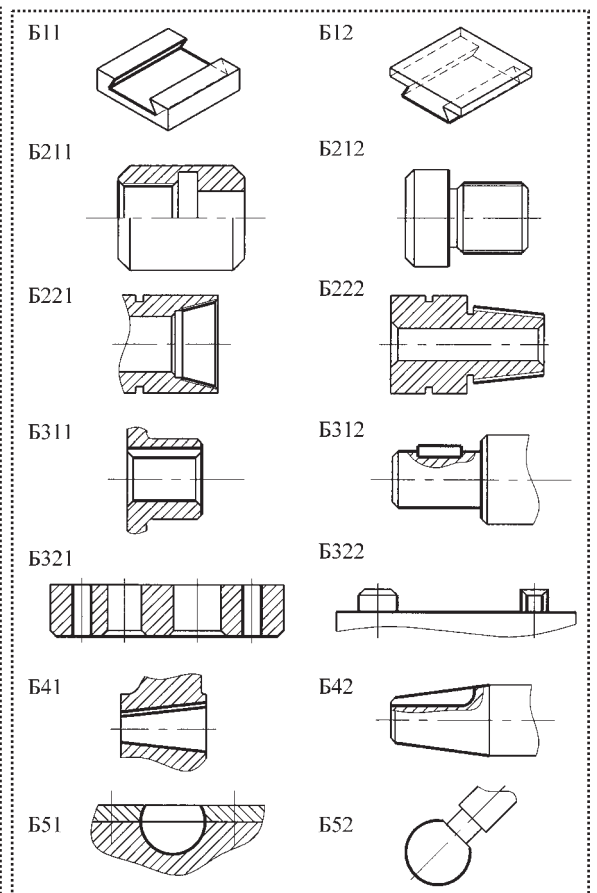


Рис. 2. Примеры базирующих модулей поверхностей

первую очередь, по паре совмещаемых комплектов баз и реализующих их поверхностей.

Все комплекты баз представляют собой соответствующие базирующие модули поверхностей (МПБ), номенклатура которых ограничена четырнадцатью наименованиями (рис. 1). На рис. 2 приведены примеры их конструкций [1].

Исходя из четырнадцати наименований базирующих модулей поверхностей, разнообразие видов модулей соединения ограничивается семью наименованиями:

$$\begin{aligned}
 &MC1 - \frac{B11}{B12}; \quad MC2 - \frac{B211}{B212}; \quad MC3 - \frac{B221}{B222}; \\
 &MC4 - \frac{B311}{B312}; \quad MC5 - \frac{B321}{B322}; \quad MC6 - \frac{B41}{B42}; \\
 &MC7 - \frac{B51}{B52},
 \end{aligned}$$

примеры которых приведены на рис. 3.

Надо отметить, что для технологии сборки соединений большое значение имеет, какая деталь выступает в роли базовой. Например, при одном и том же МС2 в одном случае винт может вворачиваться в корпус, а в другом – корпус навинчиваться на винт. Модуль один, но процессы соединения будут различаться.

Чтобы учесть это различие, условимся при записи модулей соединения комплект вспомогательных баз, принадлежащий базовой детали, указывать в знаменателе. Отсюда один и тот же модуль соединения с позиции технологии сборки может быть записан двумя вариантами, например,

$$MC1 - \frac{B11}{B12}; \quad MC1' - \frac{B12}{B11},$$

где базирующий модуль поверхности с нечетным кодом в знаменателе отмечен штрихом.

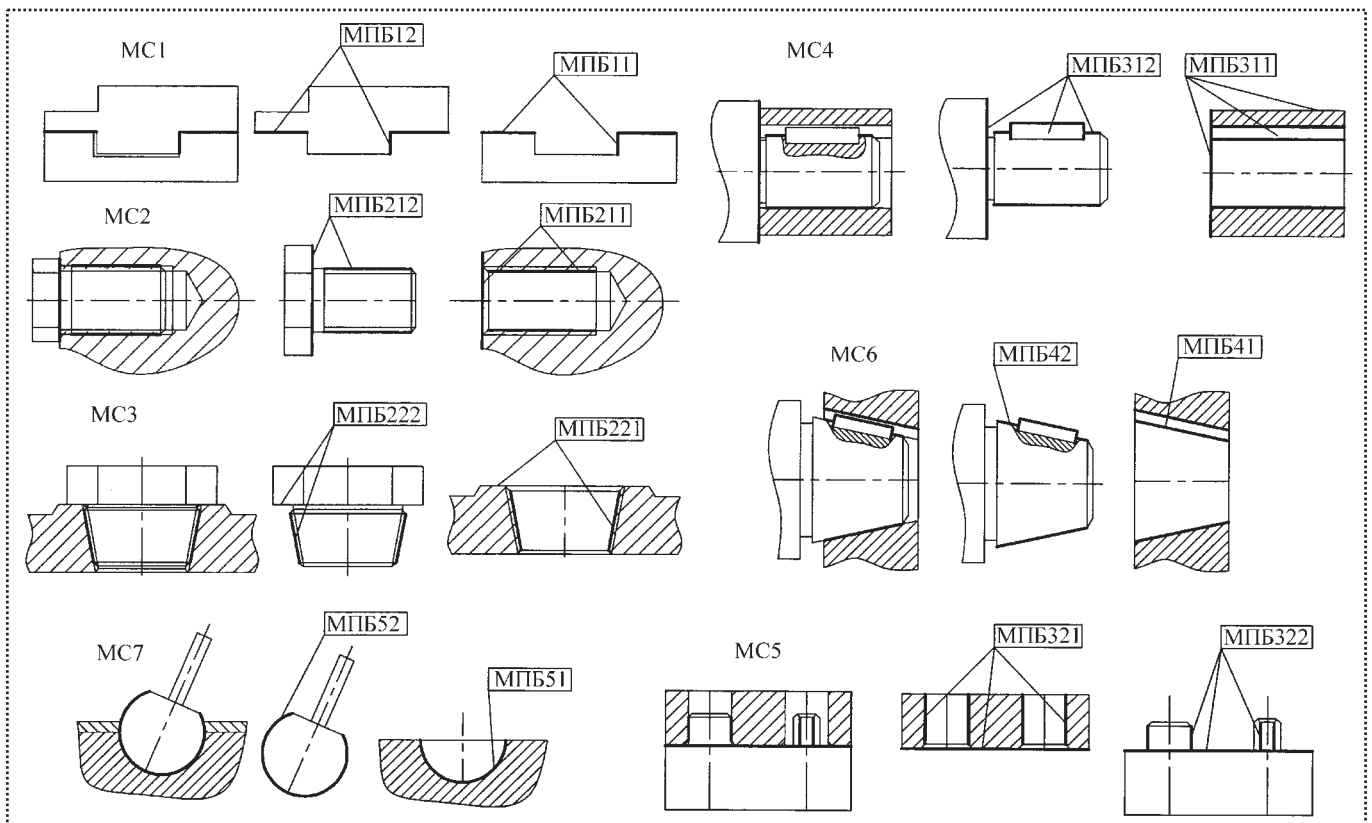


Рис. 3. Примеры модулей соединения

Модули соединений могут быть полными и неполными, что сказывается на их конструкции. Под *полным* модулем соединения будем понимать соединение, в котором присоединяемая деталь лишена всех степеней свободы, а под *неполным* — соединение, в котором присоединяемой детали оставляется одна или несколько степеней свободы. В последнем случае модуль соединения представляет собой совмещение неполных комплектов баз и является частным случаем полного модуля соединения.

Все модули соединения делятся на неподвижные и подвижные соединения, при этом подвижные всегда являются неполными. В свою очередь неподвижные и подвижные соединения в зависимости от возможности их демонтажа подразделяются на разборные и неразъемные. Как известно, под разборными соединениями понимаются те, которые могут быть разобраны без повреждения соединяе-

мых деталей; к неразъемным относятся неразбираемые соединения.

Неподвижные модули соединений — это полные модули, образованные совмещением полных комплектов основных и вспомогательных баз деталей, включая как явные, так и скрытые базы, лишаящие присоединяемую деталь всех степеней свободы.

В качестве примера применения скрытой базы можно привести соединение с натягом вала со втулкой без шпонки. В этом случае в состав комплектов баз входят две скрытые базы: по углу поворота втулки вокруг оси вала и перемещению ее вдоль оси.

Неподвижные неразъемные модули соединений являются результатом соединения деталей с натягом или когда после базирования детали достигнутое относительное положение деталей фиксируется тем или иным способом, например, сваркой, пайкой, вальцовкой и др. Примером неподвижного разборного соеди-



нения является соединение крышки с корпусом, полученное с помощью винтов.

Подвижные модули соединений – это неполные модули, образованные совмещением неполных комплектов баз.

В зависимости от того, сколько баз и какие отсутствуют в совмещаемых комплектах баз, зависит вид и число возможных движений детали в соединении.

На основе изложенного и анализа существующих соединений в таблице приведены модули соединений с указанием совмещаемых комплектов баз и реализующих их поверхностей, охватывающие подавляющее большинство возможных соединений деталей.

Ограниченная номенклатура модулей соединений и их обязательное присутствие во всех конструкциях дает основание принять их

Модуль соединения		Состав совмещаемых комплектов баз	Поверхности, используемые в качестве баз
МС1	Неподвижный	Установочная, направляющая, опорная	Плоскость, узкая плоскость, площадка поверхности
		Установочная, направляющая	Плоскость, узкая плоскость
	Подвижный	Установочная, опорная	Плоскость, площадка поверхности
		Установочная	Плоскость
МС2	Неподвижный	Установочная, двойная опорная, опорная	Плоскость (торец), витки цилиндрической резьбы с $l/d < 0,5$
		Двойная направляющая, опорная, опорная	Витки цилиндрической резьбы с $l/d < 2,5$, площадка поверхности
	Подвижный	Установочная, двойная опорная	Плоскость (торец), витки цилиндрической резьбы с $l/d \leq 0,5$
		Двойная опорная, опорная	Витки цилиндрической резьбы с $l/d < 0,5$
		Двойная направляющая, опорная	Витки цилиндрической резьбы с $l/d > 2,5$
		Двойная опорная	Витки цилиндрической резьбы с $l/d < 0,5$
Двойная направляющая	Витки цилиндрической резьбы с $l/d > 2,5$		
МС3	Неподвижный	Двойная направляющая, опорная, опорная	Витки конической резьбы с $l/d > 2,5$
		Установочная, двойная опорная, опорная	Витки конической резьбы с $l/d \leq 0,5$
МС4	Неподвижный	Установочная, двойная опорная, опорная	Плоскость (торец), короткая цилиндрическая поверхность, площадка поверхности
		Двойная направляющая, опорная, опорная	Длинная цилиндрическая поверхность, плоскость (торец), площадка поверхности
	Подвижный	Установочная, двойная опорная	Плоскость (торец), короткая цилиндрическая поверхность с $l/d < 0,5$
		Двойная опорная, опорная	Короткая цилиндрическая поверхность с $l/d < 0,5$, площадка поверхности
		Двойная направляющая, опорная	Длинная цилиндрическая поверхность с $l/d > 2,5$, площадка поверхности
Двойная опорная	Короткая цилиндрическая поверхность с $l/d < 0,5$		
Двойная направляющая	Длинная цилиндрическая поверхность с $l/d > 2,5$		
МС5	Неподвижный	Установочная, двойная опорная, опорная	Плоскость, короткая цилиндрическая поверхность с $l/d < 0,5$, площадка поверхности



Модуль соединения		Состав совмещаемых комплектов баз	Поверхности, используемые в качестве баз
МС5	Подвижный	Двойная направляющая, опорная	Длинная цилиндрическая поверхность с $l/d > 2,5$, площадка поверхности
МС6	Неподвижный	Установочная, двойная опорная, опорная	Короткая коническая поверхность с $l/d < 0,5$, площадка поверхности
		Двойная направляющая, опорная, опорная	Длинная коническая поверхность с $l/d > 2,5$, площадка поверхности
	Подвижный	Двойная направляющая	Длинная коническая поверхность с $l/d > 2,5$
		Двойная опорная	Короткая коническая поверхность с $l/d < 0,5$
МС7	Подвижный	Поверхность сложной формы, например, сфера	

Примечание: Резьбовая, коническая, сферическая поверхности объединяют в себе несколько баз.
Модули соединений, образованные совмещением одинаковых комплектов баз, различаются относительным расположением баз, входящих в комплекты.

в качестве предмета производства. Тогда все средства технологического обеспечения, связанные с их сборкой, можно распределить по каждому виду модулей соединений.

Как показал анализ технологий непосредственной сборки соединений (модулей соединений), они в общем случае состоят из трех этапов:

- образование соединения (базирование присоединяемой детали);
- фиксация достигнутого положения;
- контроль полученного соединения.

Каждый этап осуществляется соответствующими методами, способами и средствами технологического оснащения. В ряде случаев некоторые этапы могут осуществляться одновременно.

Таким образом, все основные средства технологического обеспечения сборочных процессов можно систематизировать, распределив их по видам модулей соединений, как это сделано ниже, укрупненно, в первом приближении.

Сборка МС1. Образование полного МС1 осуществляется совмещением установочных, направляющих и опорных баз соединяемых деталей последовательно или одновременно посредством относительного перемещения деталей вручную или механическим методом.

При сборке подвижного МС1, в роли которого обычно выступает пара поступательного движения, например, соединение "ласточкин хвост", образование МС1 осуществляется совмещением неполных комплектов баз.

В качестве средств технологического оснащения применяют приспособления для установки собираемых деталей и их элементы: упоры, фиксаторы, установочные пальцы; инструмент: молоток, для достижения заданного качества соединения – притиры, шаберы.

Фиксация неподвижного разъемного МС1 осуществляется методами: механическим (с помощью молотка, пресса); пайкой; склеиванием. Пайку различают по источнику нагрева: паяльником, газопламенной, индукционной, в печи и др.

Фиксация неподвижного неразъемного МС1 осуществляется методами сварки, клепки. По форме используемой энергии сварка делится на термическую (дуговая, электронно-лучевая, плазменная и др.), термохимическую (контактная диффузионная и др.), механическую (холодную, трением, ультразвуковую и др.). В качестве оснастки применяют кондукторы, шаблоны, кантователи и др.

Клепанные соединения могут быть получены непосредственным склепыванием и с применением дополнительных деталей – заклепок. Клепка может быть горячей и холодной.

Инструмент: клепальный молоток, механизированный инструмент (пневматический, электрический молоток) и др.

Клепку ведут на прессах (электромеханические, пневматические, рычажного и прямого



действия и др.) с применением специальных приспособлений.

Контроль МС1 проводят на прочность, герметичность, плотность прилегания, наличие внутренних дефектов посредством внешнего осмотра, простукивания, рентгеноскопии, ультразвукового исследования с помощью дефектоскопа.

Сборка МС2 и МС3, представляющих собой соответственно цилиндрическое и коническое резьбовое соединение. Если МС3 является только неподвижным соединением, то МС2 может быть и подвижным.

Образование МС2, МС3. Особенностью их образования является одновременное совмещение всех баз, входящих в комплекты основных и вспомогательных баз соединяемых деталей, посредством одновременно поступательного и вращательного сборочных движений. Резьбовые соединения собирают преимущественно методами приложения к соединяемым деталям внешнего крутящего момента, ударно-вращательных импульсов, осевых сил.

Способы сборки соединения силовым воздействием можно разделить на механические, электромагнитные, пневматические, гидравлические и др.

Из перечисленных способов следует выделить способ электромагнитного свинчивания деталей, отличающегося отсутствием контакта инструмента с деталью. Примером может служить способ, использующий эффект взаимодействия поля и тока, при котором соединяемые детали (гайки, винты) одновременно вращаются и совершают небольшие круговые движения, обеспечивая процесс автопоиска.

Применяемые средства технологического оснащения при образовании МС2 и МС3 зависят не только от способа соединения, но и от конструкции резьбового соединения (винт с гайкой или болтовое соединение), а также от его элементов (гайка, винт, шпилька, болт).

При механической сборке неподвижного МС2 для заворачивания гаек и болтов применяют ручные гаечные ключи с открытым зевом, кольцевые, комбинированные (с открытым и кольцевым зевом), торцовые ключи, ключи специального назначения, ударные, развод-

ные, для круглых шлицевых гаек используют соответствующие патроны.

Применяют также гайковерты различных конструкций: гидравлические, электрические, редкоударные, ударно-импульсные, многшпindelные и др. Для удержания гаек, болтов и винтов перед заворачиванием применяют различного рода головки, патроны.

Для заворачивания винтов в качестве инструмента используют отвертки, отличающиеся формой рабочей поверхности в зависимости от формы головки винта. Для завинчивания шпилек применяют ручные ключи различной конструкции, а для захватывания шпилек – патроны.

Образование подвижных МС2 осуществляется совмещением неполных комплектов баз, у которых отсутствуют опорные базы. Типовым представителем подвижного МС2 является пара "винт – гайка" в двух исполнениях винтовых поверхностей: скольжения и качения.

Фиксация МС2, за исключением случаев сборки МС2 с натягом, осуществляется методом стопорения.

Существует несколько способов стопорения резьбовых соединений:

- созданием дополнительных сил трения путем осевого или радиального давления (стопорение контргайкой, винтом, самостопоряющимися гайками);

- взаимной фиксации гайки относительно болта, одной из скрепляемых деталей, стопорение шплинтом, пружинными и деформируемыми шайбами, фиксацией нескольких гаек (винтов) проволокой;

- посредством местных пластических деформаций (накерниванием).

Контроль МС2 включает контроль силы затяжки резьбового соединения. Наибольшее распространение получили методы контроля, основанные на измерении во время завинчивания величины крутящего момента, угла поворота гайки, удлинения болта (шпильки).

Для контроля затяжки по крутящему моменту применяют динамометрические и предельные ключи. Контроль затяжки по углу поворота осуществляют обычными ключами, снабженными стрелкой и лимбом, устанавли-



ваемым на одной из стягиваемых деталей. Контроль затяжки по удлинению болта (шпильки) осуществляется с помощью приспособлений, оснащенных микрометрами или индикаторами, а также с включением в резьбовое соединение мерных элементов: полых болтов, тарированных шайб и др.

Сборка МС4. *Образование* неподвижных неразъемных МС4, к которым относятся все соединения с неподвижными и переходными посадками, осуществляется с помощью натяга. В свою очередь натяг создается тремя способами: механическим, гидропрессовым и термовоздействием.

Натяг механическим способом достигается приложением осевой силы.

Натяг гидропрессовым способом осуществляется нагнетанием масла под высоким (до 200 МПа) давлением в зону сопряжения деталей. Масло, подаваемое под давлением, растекается по поверхностям контакта, снижая в десятки раз коэффициент трения, а следовательно, и силы запрессовки и распрессовки.

Давление масла создается по двум схемам:

- масло подается через специальные отверстия, выполненные в вале или охватывающей детали, и маслораспределительные канавки, расположенные на посадочной поверхности;
- масло подводится с торца и поступает через заходную фаску охватываемой детали.

Натяг способом термовоздействия осуществляется путем нагрева или (и) охлаждения соответственно охватывающей и охватываемой деталей. Прочность собранных соединений с натягом в 1,5–2,5 раза выше по сравнению с механической сборкой деталей под действием осевой силы, при этом наибольшая прочность соединений обеспечивается при сборке с охлаждением по сравнению со сборкой с нагревом.

В качестве технологической оснастки применяют различные базирующие и ориентирующие устройства, способствующие правильной установке деталей и предотвращению деформаций.

В качестве оборудования применяют прессы: пневматические, гидравлические, пневмогидравлические, ударно-импульсные, электромагнитные, механические.

При гидропрессовании применяют ручные или механические насосы высокого давления, установки с гидроцилиндрами.

При сборке термовоздействием используют специальные механизированные стенды, станки; для нагрева деталей применяют масляные ванны, электропечи сопротивления, индукционные установки и др.

Для охлаждения деталей служат специальные установки, где в качестве хладоносителя используют твердую углекислоту (сухой лед), жидкий азот.

Фиксация МС4 осуществляется вальцеванием, механическим методом, заформовкой, пайкой.

Скрепление элементов соединения вальцеванием основано на пластичности материалов соединяемых деталей. Вальцовочные соединения выполняют с помощью соединительного элемента, форма которого позволяет обкатывать или раскатывать его вокруг оси вальцовкой. Инструментом служит вальцовка, содержащая в качестве рабочего элемента цилиндрические, конические ролики, шарики.

К другим способам вальцевания относятся магнитно-импульсное обжатие, протягивание, вальцевание взрывом.

Вальцевание осуществляют с помощью ручных, электромеханических, пневматических, пневмогидравлических, гидравлических прессов прямого действия и специальных установок.

Контроль МС4. Контролируют прочность соединения по силе запрессовки по показаниям манометра гидравлического или пневматического пресса. Для контроля ответственных соединений прессы оборудуют самопишущими приборами. Давление на поверхности контакта контролируют ультразвуковым методом.

Сборка МС5. Соединение может быть неподвижным и подвижным.

Образование МС5. Как правило, МС5 представляет собой неподвижное разъемное соединение. Особенность его состоит в том, что один из совмещаемых комплектов баз содержит модуль Б322, представляющий собой сборочную единицу. Она состоит из детали, имеющей в качестве установочной базы плоскость, и двух пальцев, один из которых срезанный.



Соединение пальцев с плоскостью осуществляется МС4 с натягом. Методы и средства образования, фиксации и контроля МС4 рассмотрены выше.

Образование самого МС5 осуществляется вручную или механическим способом.

Фиксация МС5 осуществляется, как правило, под собственным весом присоединяемой детали и механическим способом посредством болтового соединения и др.

Контроль МС5 проводят, как правило, визуально. Контролируют прилегание плоскостей; величину зазора можно контролировать по углу свободного поворота присоединяемой детали.

Сборка МС6. *Образование* неподвижного конического соединения получают приложением осевой силы, с помощью которой происходит самоцентрирование деталей, или методом термовоздействия (с нагревом охватывающей или охлаждением охватываемой детали). Образование *подвижных МС6* осуществляют вручную или механическим методом. Для достижения герметичности соединения применяют пригонку (развертывание, притирку). Фиксация неподвижных МС6 осуществляется одновременно с его образованием посредством создания натяга.

Заданный натяг в неподвижных конических соединениях, достигаемый запрессовкой, обеспечивают:

- регламентированной осевой силой;
- запрессовкой тарированным ударом;
- запрессовкой на расчетное осевое перемещение.

Первый способ не обеспечивает высокой точности ввиду значительного изменения коэффициента трения. Большую точность обеспечивает запрессовка тарированным ударом – падением груза с определенной высоты.

При запрессовке применяют специальные приспособления, а в качестве оборудования – различные прессы (для большинства усилий – гидравлические), домкраты, гидравлические гайки. Неподвижность соединения обеспечивают также коническими пружинно-затяжными коль-

цами при затяжке гайкой. В малогабаритных соединениях сила достигается затяжкой гайки.

Контроль МС6. Контролируют величину натяга при образовании неподвижного модуля соединения через измерение крутящего момента. Контроль подвижного МС6 осуществляют осмотром состояния сопрягающихся поверхностей, наблюдением утечки керосина, а также применением специальных приборов и приспособлений для измерения компрессии.

В заключение следует отметить, что основным преимуществом предлагаемого метода обобщения и систематизации средств технологического обеспечения сборки изделий является их привязка к конкретным конструктивным решениям соединений, которые, в свою очередь, через модули соединений охватывают подавляющее их большинство.

Это имеет важное значение, так как в справочной литературе по технологии сборки изделий информация о средствах технологического обеспечения, с одной стороны, в значительной степени носит описательный характер, а с другой – она излагается применительно лишь к ограниченному числу конструкторских решений, многие из которых носят частный характер.

В результате информация о средствах технологического обеспечения служит лишь ориентиром при разработке сборочных технологических процессов, что в итоге практически не снижает трудоемкость их разработки.

Данная работа открывает возможность разработки банка модулей технологических процессов сборки соединений с учетом не только конструкций соединений, но и их конструкторских, размерных, качественных характеристик.

Это позволит в итоге существенно снизить трудоемкость разработки технологических процессов и повысить их качество.

Библиографический список

1. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 368 с.



УДК 621.039.533

С.В. Голубев, начальник бюро технологического отдела, **В.Н. Павлин**, начальник технологического отдела (ОАО "ОКБМ Африкантов", служебный адрес: 603074, Нижний Новгород, Бурнаковский проезд, 15, тел.: 246-95-46) E-mail: SerGo1078@yandex.ru

Особенности сборки главных циркуляционных насосов для АЭС с реакторами на быстрых нейтронах

Рассмотрены общие вопросы сборки крупногабаритных изделий высокой точности на примере сборки и испытаний главных циркуляционных насосов для атомных электростанций на быстрых нейтронах.

The paper considers general features of assembling large-size high-accuracy equipment, namely, assembling and testing main circulation pumps for nuclear power plants with fast neutron reactors.

Ключевые слова: сборка, насос, атомная энергетика.

Key words: assembly, pump, atom energy.

На Белоярской АЭС в настоящее время ведется строительство самого мощного в мире (около 900 МВт) энергоблока с ядерным реактором на быстрых нейтронах БН-800 (рис. 1, 2-я с. обложки). Автором проекта и комплектным поставщиком реакторной установки является ОАО "ОКБМ Африкантов", заказчик – концерн "Росэнергоатом".

БН-800 станет первым в российской и мировой атомной энергетике реактором такой большой мощности, работающим на уран-плутониевом топливе, получаемом путем переработки выгружаемого из АЭС отработанного ядерного топлива. Это позволит начать формирование в нашей стране наиболее экономичного и радиационно-безопасного "замкнутого" топливного цикла в атомной энергетике. Поэтому данному реактору отведена особая роль в утвержденной правительством федеральной целевой программе по развитию атомной энергетике.

За более чем полувековую деятельность в ОАО "ОКБМ Африкантов" накоплен большой опыт по разработке, изготовлению, монтажу, пусконаладке, ремонту, сервисному обслуживанию, а также модернизации при эксплуатации насосного оборудования различного назначения для основных контуров ядерных энергетических установок.

Одним из наиболее ответственных элементов реакторных установок на быстрых нейтронах с точки зрения конструкции и технологии изготовления является главный циркуляционный насос (рис. 2). Его назначение – осуществление принудительной циркуляции жидкого натрия в первом контуре реакторной установки БН-800. Насос – вертикальный центробежный с уплотнением вала по газу нижним гидростатическим подшипником в натрии. Электропривод насоса – регулируемый, с преобразователем частоты.

Краткие технические характеристики насоса:

подача – более 12000 м³/ч;

напор – более 100 м;

температура натрия на всасывании – до 360 °С;

масса насосного агрегата – до 120 т;

наибольший диаметр – более 2,5 м;

высота – более 14 м.

Массогабаритные характеристики насоса свидетельствуют об уникальности его конструкции, что с учетом высокой точности изделия делает уникальной и технологию его изготовления.

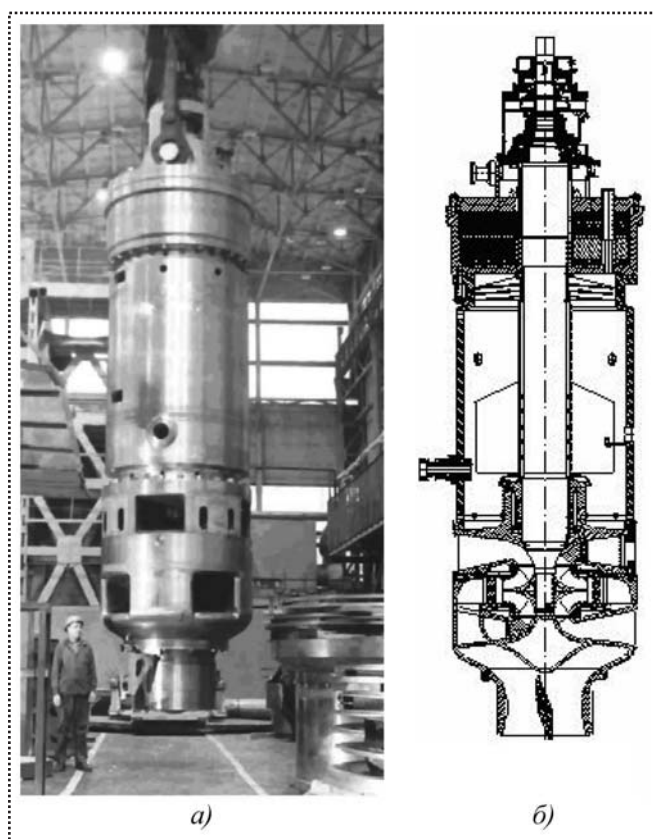


Рис. 2. Насос ГЦН-1:
а – общий вид;
б – выемочная часть

Для сборки изделия изготовлено более 70 единиц специальной технологической оснастки, включая сложные технологические постаменты и грузоподъемные приспособления. Наиболее трудная задача при сборке подобных изделий – обеспечение точности сопрягаемых поверхностей. Посадочные поверхности подборок выполнены с высокой точностью (кавалитет 6...7). В процессе сборки необходимо совместить оси подборок, при этом допускаемая конструкторской документацией несоосность не превышает 0,05 мм.

Замер соосности поверхностей выполняется с помощью специально разработанного приспособления с электроструной, обеспечивающего точность измерения 0,005...0,01 мм при любых габаритных размерах изделия.

Сборка насосного агрегата осуществляется на специальном технологическом постаменте, изготовленном с высокой точностью. Для ре-

гулировки соосности ослабляется крепление узла и с помощью технологических упоров подборки смещаются друг относительно друга до получения необходимой точности. С помощью этого приема удается выполнить регулировку соосности всех устанавливаемых узлов, например, поверхностей крышки выемочной части и корпусной обечайки ($\varnothing 2200$ и $\varnothing 2050$ мм), с точностью до 0,05 мм при общей массе узла более 42 т. Далее весь процесс сборки и регулировки осуществляется на этом технологическом постаменте.

Сборка крупногабаритных изделий большой массы невозможна без применения грузоподъемных и сборочных приспособлений. При изготовлении и сборке насосных агрегатов максимально используется стандартная оснастка, а спроектированные специальные приспособления, обеспечивающие высокую точность и удобство сборки, multifunctional.

Специфика сборки насосного агрегата ГЦН-1 заключается в необходимости установки большей части крупногабаритных элементов, таких как гидростатический подшипник, улитки, направляющий аппарат и др., снизу в стесненных условиях. Это привело к необходимости разработки универсального подъемного установочного приспособления, позволяющего выполнять сборку с высокой точностью. Для облегчения процессов установки и съема таких узлов насосного агрегата, как рабочее колесо, пята, втулка подшипника и др., спроектирована и изготовлена технологическая оснастка.

Один из наиболее ответственных элементов насосного агрегата – ротор (масса около 6 т). Для удобства сборки, строповки и кантовки вала ротора и во избежание повреждений точно обработанных поверхностей (6-го качества точности) изготовлены грузоподъемные приспособления.

На рис. 3 приведена схема кантовки выемочной части насосного агрегата с помощью

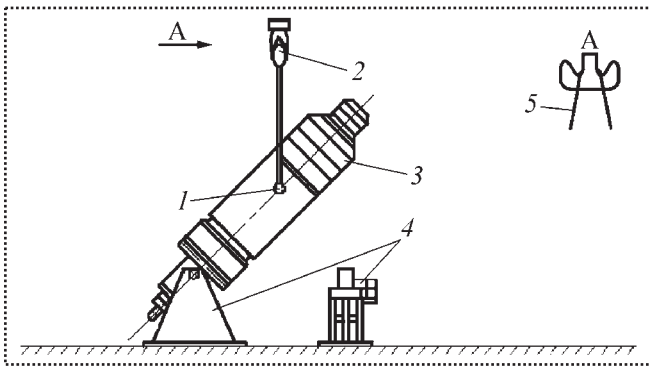


Рис. 3. Схема кантовки выемочной части насоса с помощью специального приспособления:

- 1 – цапфы (2 шт.);
- 2 – крюк грузоподъемностью 160 тс;
- 3 – выемочная часть;
- 4 – приспособление для кантовки;
- 5 – строп УСК1 (2 шт.) в четыре ветви грузоподъемностью 32 тс

грузоподъемного крана и кантовочного приспособления.

Качество изготовления изделия подтверждается испытаниями полостей на прочность, плотность и герметичность. Для облегчения проведения пневматических испытаний по-

лостей, заданных конструкторской документацией, разработан универсальный стенд. Переключение доступа азота в полости при испытаниях производится с помощью клапанов. На рис. 4 приведена принципиальная схема пневматических испытаний полостей насосного агрегата.

Необходимо отметить, что не только сам насосный агрегат, но и каждый из его узлов по-своему уникален. Такие элементы агрегата, как ротор, рабочее колесо, гидростатический подшипник, направляющий аппарат, уплотнение вала, верхняя и нижняя улитки, крышка, отличаются не только крупными габаритами и высокой точностью изготовления, но и наличием большого количества сложных и труднодоступных для обработки поверхностей. При изготовлении деталей и сборке узлов насосного агрегата применено немало нестандартных технологических решений, позволяющих выполнить большой объем работ в кратчайшие сроки с обеспечением всех требований конструкторской документации.

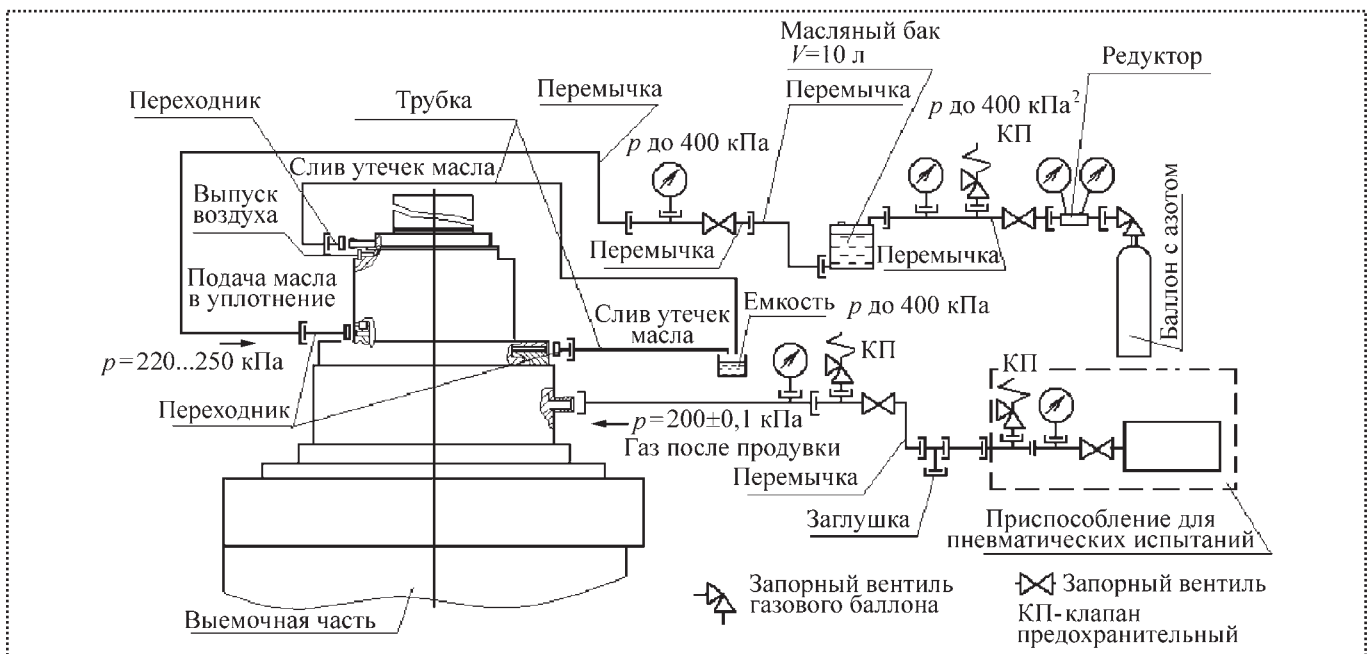


Рис. 4. Схема испытаний насоса:

p – давление



Приемы и методы, используемые при сборке насосов, применимы при сборке других крупногабаритных изделий с высокой точностью в условиях мелкосерийного производства. В настоящее время ОАО "ОКБМ Африкантов" изготавливает для установки БН-800 также насосы II контура (ГЦН-2), которые по сложности конструкции и габаритным размерам не уступают ГЦН-1. Все указанные мето-

ды и технологические приемы применимы при изготовлении и этих насосов.

На протяжении последних лет ОАО "ОКБМ Африкантов" ведет работы по созданию насосного оборудования АЭС с внедрением новых конструкторско-технологических решений с целью повышения технического уровня, надежности и качества оборудования.

УДК 621.717

А.М. Шпилёв, д-р техн. наук, **А.С. Хвостиков**, канд. техн. наук,
Б.Н. Марьин, д-р техн. наук, профессор (Комсомольский-на-Амуре ГТУ)
 E-mail: hvostikov_knastu@mail.ru

Методы и средства обеспечения геометрической взаимозаменяемости сборочных единиц, собираемых по отверстиям

Представлены методы обеспечения геометрической взаимозаменяемости сборочных единиц, а также приведены рекомендации по выбору оптимальной методики. Подробно рассмотрен расчетно-плазовый метод увязки как переходный к комплексной автоматизации и более прогрессивный, чем шаблонный.

The methods for geometrical interchangeability of subunits support are presented; also the guidelines for optimal technology are given. The calculation-spiling method of coordination as transitional technique to complex automation is considered in details. This method is more progressive than template method but it has not reached complex automation yet.

Ключевые слова: база, сборка, сборочная единица, базовое отверстие, увязка, шаблон.

Key words: base, assembly, subunit, base hole, coordination, template.

Опыт ряда предприятий показывает, что достижению высокого технико-экономического уровня агрегатно-сборочного производства и оптимизации показателя "цена – качество" способствует применение современных методов сборки с использованием отверстий в качестве установочных и сборочных баз.

Параметрами геометрической взаимозаменяемости сборочных единиц, собираемых по базовым отверстиям, являются:

- поверхности (плоскости стыков);
- линии (контуры сопряжения деталей, контуры соединения, сборочные отверстия, базовые отверстия и контуры свободных поверхностей (сечения));
- оси сборочных единиц (оси симметрии, оси деталей и т.п.);
- взаимное расположение поверхностей, линий и осей, размеры между ними.

Эти элементы выбирают в качестве технологических сборочных баз при узловой и агрегатной сборке. Состав баз определяют в зависимости от принятого, удовлетворяющего требованиям точности метода сборки. Различают внешние и внутренние сборочные базы. Внешние создаются с помощью взаимоувязанных базовых элементов сборочной оснастки, на которых выполняются базовые поверхности, контуры или отверстия. Носителями внутренних сборочных баз являются сопрягаемые детали узлов.

Взаимозаменяемость достигается с помощью увязки, под которой понимают процесс



согласования геометрических параметров технологической оснастки деталей и сборочных единиц. Увязка проводится с целью обеспечения установки деталей и сборочных единиц во взаимоправильное положение (выполнение условия собираемости), замены деталей и сборочных единиц в эксплуатации и при ремонте без подгонки по разъемам и стыкам.

Наиболее сложны и трудоемки с точки зрения увязки детали криволинейной формы, изготавливаемые механической обработкой и пластическим деформированием, поэтому именно для таких деталей, широко используемых в авиационном, кораблестроительном, нефтехимическом машиностроении и др., следует в первую очередь применять современное высокоточное оборудование с ЧПУ. Рост потребности в точных методах увязки связан с тем, что при увеличении размеров возрастает допуск на изготовление деталей сборочных единиц.

Для элементов технологической оснастки, деталей и сборочных единиц наиболее перспективны независимые методы увязки, которые заключаются в согласовании их геометрических параметров независимо для каждого элемента путем расчета на основе общего источника увязки. Классификация независимых методов увязки представлена на рисунке.

Для увязки геометрических параметров технологической оснастки деталей и сборочных

единиц в целях обеспечения их геометрической взаимозаменяемости разрабатываются схемы увязки, представляющие собой графическое изображение в виде условных обозначений содержания и последовательности процесса согласования геометрических параметров.

Полный переход на независимые методы увязки в настоящее время сдерживается рядом объективных факторов, например, недостаточной технической и кадровой оснащенностью производства.

Можно выделить три группы методов увязки:

- методы, базирующиеся на применении только жестких носителей формы и размеров;
- методы, базирующиеся, с одной стороны, на использовании аналитического описания поверхностей, а с другой — на применении конструктивных плазов и жестких носителей формы и размеров (шаблонов) для увязки элементов конструкции;
- методы, основанные на бесплазовом изготовлении оснастки.

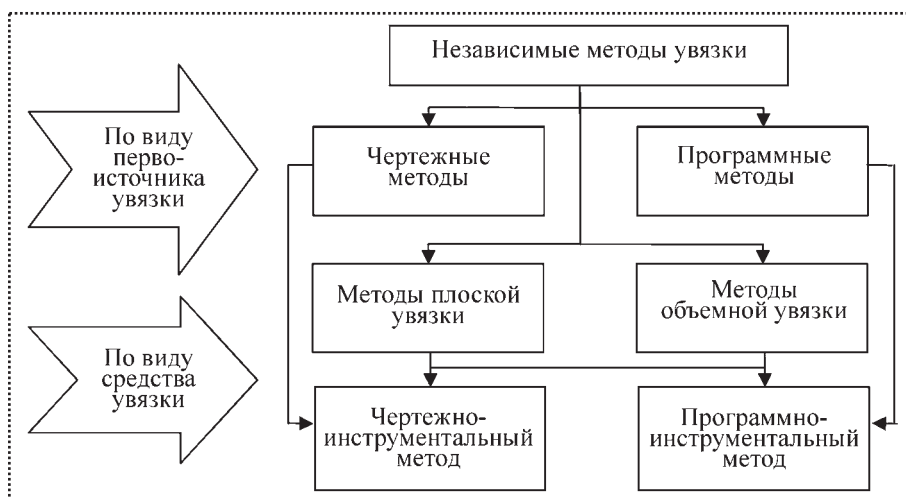
В основе методов увязки первой и частично второй групп лежит шаблонный метод, включающий в себя две основные разновидности:

- координатный метод с использованием плоских первоисточников увязки размеров и универсальных плоских и пространственных координатных стенов. Увязка контуров различных элементов осуществляется посредством фиксиру-

ющихся и базовых отверстий, выполненных на координатной сетке с ячейками 50×50 мм;

- метод, основанный на применении пространственных первоисточников увязки размеров, таких как эталоны.

Ранее в машиностроительном производстве все сложные детали изготавливали по шаблонам. С внедрением вычислительных средств (ЭВМ, чертежных автоматов, систем



Классификация независимых методов увязки



ЧПУ) появилась возможность отказаться от этого трудоемкого процесса. Однако в настоящее время машиностроение методологически и технически не готово перейти к комплексной автоматизации процессов технологической подготовки производства на базе программно-инструментальных методов увязки и независимого изготовления деталей и технологической оснастки, поэтому широкое распространение получил переходной метод геометрической увязки и формообразования – расчетно-плазовый.

Расчетно-плазовый метод – комбинированный способ увязки, более прогрессивный, чем шаблонный, но еще не достигший комплексной автоматизации. Ему присущи все черты будущего метода автоматизированного формообразования: широкое применение математического аппарата, комплексная нормализация и типизация конструкторского и технологического процессов, их естественное совмещение и развитие, широкое использование различных по мощности вычислительных средств и оборудования с ЧПУ во всех звеньях основного производства и его подготовки. С другой стороны, группы элементов конструкции и оснастки при этом методе проектируют, увязывают и изготавливают по традиционной, но модернизированной технологии шаблонного метода.

Сущность расчетно-плазового метода заключается в таком построении системы конструкторско-технологической подготовки производства, при котором, с одной стороны, обеспечивается единство исходной информации, используемой в процессе проектирования управляющих программ обработки деталей на станках с ЧПУ, а с другой – создается плазово-шаблонная и объемная оснастка. Это достигается:

- разработкой и применением единой исходной геометрической информации в виде математических, информационных и графических моделей коллективного пользования;
- более полным проставлением размеров на чертежах с записью в них сведений, необ-

ходимых и достаточных для однозначного их чтения различными исполнителями;

- внедрением широко варьируемой схемы параллельно-последовательного формообразования объектов производства и их геометрической увязки, позволяющей согласовывать форму и размеры деталей в процессе их параллельного изготовления различными способами.

Особенности проектирования и задания поверхностей при расчетно-плазовом методе заключаются, прежде всего, в широком применении современных вычислительных и технических средств, что позволяет выдать в производство любое число точных и полноценных по объему информации расчетных таблиц.

Важное звено процесса формообразования деталей – увязка поверхностей, которая представляет собой их взаимное согласование по геометрическим параметрам. Увязка является одним из основных факторов моделирования геометрических объектов, обеспечивающих получение правильной информации. Графо-аналитическая увязка при расчетно-плазовом методе – наиболее распространенный и рациональный способ согласования формы и размеров элементов конструкций.

Важный источник согласования стыкуемых участков поверхностей – информационные модели, которые представляют собой таблицы координат точек и других геометрических параметров. Также широко используется возможность получения с ЭВМ расчетных таблиц, управляющей информации для вычерчивания геометрической модели.

При расчетно-плазовом методе сокращается общее число операций по переносу формы и размеров, тем самым уменьшаются потери точности, неизбежные при графических и визуальных способах передачи и оценки геометрической информации.

Кроме того, автоматизируется процесс изготовления основных обводообразующих шаблонов на базе математических моделей, ЭВМ и станков с ЧПУ, что также сокращает количество вспомогательной оснастки. Точность изготовления шаблонов, качество их взаимной



увязки все больше зависят от объективных факторов, поддающихся учету и регулированию.

Расчетно-плазовый метод создает широкие перспективы для автоматизации технологических процессов не только в области подготовки производства, но и в сфере основного производства – заготовительного, сборочного и особенно механообработки. Технический и экономический эффекты достигаются благодаря:

- сокращению сроков подготовки производства;
- уменьшению технологического цикла изготовления опытных и серийных деталей;
- повышению качества увязки и точности воспроизведения внешних форм всех элементов каркаса;
- улучшению геометрической взаимозаменяемости деталей и узлов агрегата.

Сокращение сроков подготовки производства и уменьшение производственного цикла обуславливается не только применением высокопроизводительного оборудования, но и возможностью заранее, еще до запуска очередного изделия, провести большую работу по разработке прикладного программного обеспечения.

Наряду с вышеперечисленным внедрение расчетно-плазового метода позволяет получить и другие положительные результаты:

- ликвидацию тяжелых работ и сокращение общей доли физического труда в процессе подготовки основного производства;
- стирание грани между физическим и умственным трудом, ведущее к появлению смешанных специальностей, например, инженера-настройщика, техника-оператора и др.;

- разностороннее интеллектуальное развитие рабочего, занятого обслуживанием новейшей программно-управляемой и электронно-вычислительной техники;

- создание высокой культуры производства, лучших условий труда на участках, оснащенных новым автоматическим оборудованием.

Одна из характерных особенностей расчетно-плазового метода – возможность широкой кооперации на всех стадиях проектирования и производства новых образцов техники, а также гибкость, возможность варьирования организации технологического процесса в целях максимального использования производственных мощностей и, в первую очередь, современного оборудования с ЧПУ.

Расчетно-плазовый метод является связующим звеном между двумя принципами формообразования и базой для последовательного перехода от традиционного, но устаревшего плазово-шаблонного метода к методу автоматизированного формообразования.

Выполнение сборки с помощью базовых отверстий ведет к сокращению ее себестоимости и увеличению точности размеров и формы сборочной единицы.

Таким образом, применение плазово-шаблонного метода с использованием фиксирующих и базовых отверстий позволяет повысить точность сборки сложных (криволинейных и крупногабаритных) контуров. Однако необходимо стремиться к переходу на бесплазовый метод увязки посредством развития CAD/CAM/CAE-среды и созданию необходимых для этого средств технологического оснащения.

УДК 629.7:658.562:658.515:621.91

А.В. Медарь, д-р техн. наук, начальник отделения
("НПО "Техномаш", 127018, Москва, 3-й пр. Марьиной Рощи, д. 40. Тел. 8(495)689-95-11)
E-mail: technomash@mtu-net.ru

Направления развития методов и средств технологического обеспечения выходных параметров точности в сборочном производстве изделий ракетно-космической техники

Сформулированы направления научных исследований, поисковых и перспективных разработок в области технологического обеспечения выходных параметров точности (ВПТ), связанные с диалектикой технологии сборочного производства и развитием конструкций собираемых изделий ракетно-космической техники (РКТ). Представлена обобщенная структура приоритетных направлений исследований в области совершенствования технологического обеспечения ВПТ в сборочном производстве изделий РКТ.

Formulated direction scientific research searching advanced development in the sphere of technological support output parameters data accuracy (OPDA), associated with dialectics technology assembling production and development construction assembling production rocket-space technique (RST). Represented generalized structure first-priority research directions in and around improvement technological support OPDA in assembly manufacture RST production.

Ключевые слова: сборочное производство, выходные параметры точности (ВПТ), ракетно-космическая техника (РКТ), технологическое обеспечение.

Key words: assembly manufacture, output parameters data accuracy (OPDA), rocket-space technique (RST), technological support.

Технологическая подготовка производства в значительной мере определяет эффективность обеспечения качества изделий, формирование действительных значений количественных характеристик которого происходит в сборочном производстве.

Технико-экономическое понятие "качество изделия" в отличие от философского понятия "качество" охватывает только те свойства изделия, которые связаны с возможностью обеспечения максимального соответствия численных значений технических характеристик изделия, являющихся показателями его качества, заданным в техническом задании и конструкторской документации.

К основным параметрам качества, которые формирует технологическая система сборочного производства, относятся геометрические параметры и масс-инерционные характеристики, точнее их отклонения от номинальных в рамках допустимых значений (предельных отклонений), вызванные технологическими погрешностями изготовления и сборки составляющих сборочных единиц и изделия в целом. Это прежде всего непрямолинейность действительных продольных осей, погрешность положений центров масс, геометрический эксцентриситет центров и закрутки осей стабилизации базовых сечений сборочных единиц изделия, погрешность массы и моментов инерции изделия и другие величины, называемые выходными параметрами точности изделия. Степень соответствия этих параметров номинальным значениям, заданным в конструкторско-технологической документации, и определяет пригодность изделия к выполнению возложенных на него функций в соответствии со своим назначением [1, 2].



Обеспечение качества изделий путем управления реальными процессами формирования их точностных характеристик предусматривает решение двух основных задач – своевременного получения информации требуемой точности о технологических погрешностях изготовления и сборки составляющих элементов изделий и своевременной корректировки в процессе технологического проектирования разрабатываемых технологических процессов и реализующих их средств технологического оснащения.

В общем случае нахождение количественных показателей качества изделий (выходных параметров точности) в допустимых пределах обеспечивают три группы методов:

- *1-я группа* – методы, основанные на предварительном получении информации о точностных возможностях технологии и оборудования предприятия-изготовителя и точностных характеристиках сборочных единиц изделий с последующим вычислением ожидаемых выходных параметров точности изделий, требуемой корректировкой технологии и доработкой средств технологического оснащения и осуществлением этих изменений;

- *2-я группа* – методы, основанные на получении информации о входных и выходных параметрах точности сборочных единиц изделий в процессе их изготовления и сборки с внесением необходимых корректирующих воздействий непосредственно в производственные процессы;

- *3-я группа* – методы, основанные на измерении выходных параметров точности собранных опытных образцов изделий с последующим внесением корректировок в технологические процессы и реализующее их оборудование.

В соответствии с принципом непрерывности формирования качества в процессе взаимодействия трех основных компонентов технологической системы сборочного производства "изделие – технология – оборудование" в настоящее время реализована концепция системного подхода, включающего декомпозицию (анализ)

процесса формирования выходных параметров точности изделия по сборочным операциям и последовательную композицию (синтез) технологических процессов сборки, функциональных и физических структур, конструктивно-компоновочных схем средств технологического оснащения [3, 4].

Это позволило создать единую теоретическую основу технологического проектирования на базе точностного анализа и единую практическую основу на базе технологического синтеза, совместно решающих проблему создания рациональных по временным и материальным затратам методов и средств технологического обеспечения повышенных требований к выходным параметрам точности изделий в сборочном производстве [1–4].

Точностной анализ – метод научного исследования, базирующийся на выявлении закономерностей формирования параметров качества изделий в производстве, математическом моделировании этих процессов и целенаправленном формировании управляющих воздействий через средства технологического оснащения сборки и контроля для решения своей основной задачи – повышения эффективности производства в части достижения заданных количественных норм выходных параметров точности изделий с меньшими трудовыми и материальными затратами.

Точностной анализ в общем случае включает следующие разделы:

- организационно-технический анализ исходных данных;

- размерный анализ вариантов технологического процесса;

- расчетно-точностной анализ окончательно собранного изделия.

Технологический синтез процессов и оборудования включает комплекс мероприятий по разработке на базе точностного анализа технологических процессов, функциональных и физических структур оборудования и, в конечном счете, рабочей технологической и конструкторской документации на проведение процессов сборки, контроля изделий, а также



Рис. 1. Структура технологического проектирования в сборочном производстве:

$E = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ij} a_{ij} x_j \rightarrow \min$ – целевая функция минимизации

выходных параметров точности изделия при заданных допусках на входные параметры точности (технологические погрешности изготовления и сборки составляющих элементов и изделия в целом);

$E = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m a_{ij} x_j \rightarrow \max$ – целевая функция оптимизации тех-

нологических параметров производственного процесса при заданных ограничениях на выходные параметры точности изделия;

x_j – входной параметр точности;

c_{ij} – коэффициент влияния j -го входного параметра на i -й выходной параметр точности;

a_{ij} – количество j -х входных параметров точности, формирующих i -й выходной параметр;

b_i – предельное значение i -го выходного параметра точности; d_j, D_j – минимальное и максимальное значения j -го входного параметра точности;

n – количество входных параметров точности;

m – количество технологических операций

изготовления реализующих их в производстве средств технологического оснащения.

Данная система представляет собой сложную многоуровневую структуру, состоящую из подсистем, блоков и элементов, на разных уровнях которой осуществляется оптимизация и присутствуют итерационные циклы (рис. 1, 2).

Разработанная система позволяет достаточно уверенно обеспечивать качество изделий ракетно-космической техники, однако работу в этой области нельзя считать полностью завершённой. Предстоит выявить новые и уточнить известные методы и средства точностного анализа и технологического синтеза в проектировании и разработке технологии и оборудования сборочно-го производства. Это связано как с диалектикой технологии сборки и контро-

ля, так и с развитием конструкций собираемых изделий ракетно-космической техники.

На современном уровне развития техники, характеризующемся интенсификацией теоретических разработок и прикладных исследований по созданию эффективных методов проектирования и оптимизации системы техноло-

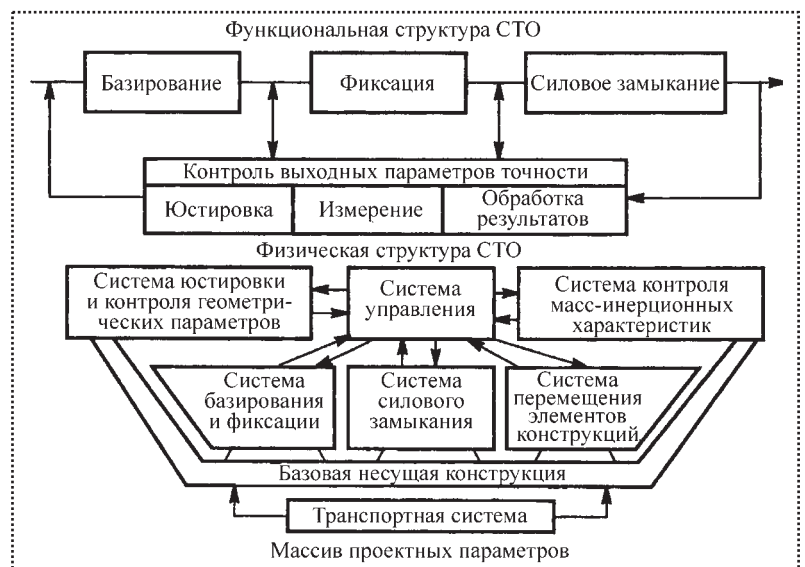


Рис. 2. Блок-схема разработки технологических процессов и стендового оборудования сборочного производства:

СТО – средства технологического оснащения



гической подготовки сборочного производства изделий, основное внимание уделяется следующим категориям исследований и разработок:

– *научные исследования* – все фундаментальные и прикладные исследования, направленные на расширение знаний о явлениях природы и окружающей среды, на решение различных технологических (принципиальных) проблем для обеспечения долгосрочных научно-технических потребностей отрасли, например, исследование влияния деформаций элементов конструкций (обусловленных малой жесткостью агрегатов и узлов из композиционных материалов и вызываемых факторами, воздействующими на изделие в процессе перегрузки, транспортировки, в режиме длительного хранения и т.п.) на геометрические параметры стыковочных (посадочных) поверхностей сборочных единиц изделий;

– *поисковые разработки* – исследования, направленные на расширение технических знаний и разработку узлов, агрегатов и систем, которые могут найти применение при создании или модернизации элементов и изделий, например, исследование реальных процессов формирования выходных параметров точности изделий в сборочном производстве и разработка методов и средств рационального определения точностных требований к конструктивно-технологическим параметрам изделий, а также средствам технологического обеспечения сборочных и контрольно-измерительных работ;

– *разработка перспективных технологий и оборудования*, направленная на исследование осуществимости различных концепций технологии производства изделий, а также разработку конструктивно-схемных решений в области производства составляющих элементов.

В ходе практической реализации перечисленных категорий исследований и разработок должны решаться следующие основные задачи:

- исследование и разработка новых технологических предложений и концепций;

- разработка технологии сборки перспективных образцов ракетного вооружения;
- подтверждение, обоснование и демонстрация осуществимости перспективных концепций;
- определение уровня риска применения новой технологии и путей его снижения;
- определение экономических показателей перспективных концепций.

Основу исследований и разработок, проводимых для формирования научно-технического задела, составляют, как правило, постоянно действующие (долговременные) программы (программные элементы). Наиболее важные и перспективные работы, выполняемые в рамках этих программ, связаны с разработкой новых аналитических методов для улучшения математического обеспечения при создании перспективной технологии сборки, с автоматизацией и механизацией сборочных и контрольно-измерительных работ в сборочном производстве, с разработкой совмещенных технологий и др.

Необходимо отметить рациональность выполнения программ развития сборочного производства изделий отрасли в рамках модульной структуры разработок на базе концепции "свободы выбора", что предусматривает параллельные исследования и разработку альтернативных вариантов технологии и средств их реализации, вплоть до отработки сборки экспериментальных образцов, и обеспечивает быструю адаптацию к конкретным условиям и требованиям производственно-технической ситуации, а также сокращение сроков разработки.

Обобщенная структура этих направлений для всего класса изделий ракетно-космической техники представлена на рис. 3.

В соответствии с предложенными направлениями к разделу научных исследований относятся фундаментальные работы по определению функциональных и аналитических взаимосвязей между физическими факторами, обуславливающими изменение характеристик материалов изделий во времени и действующими

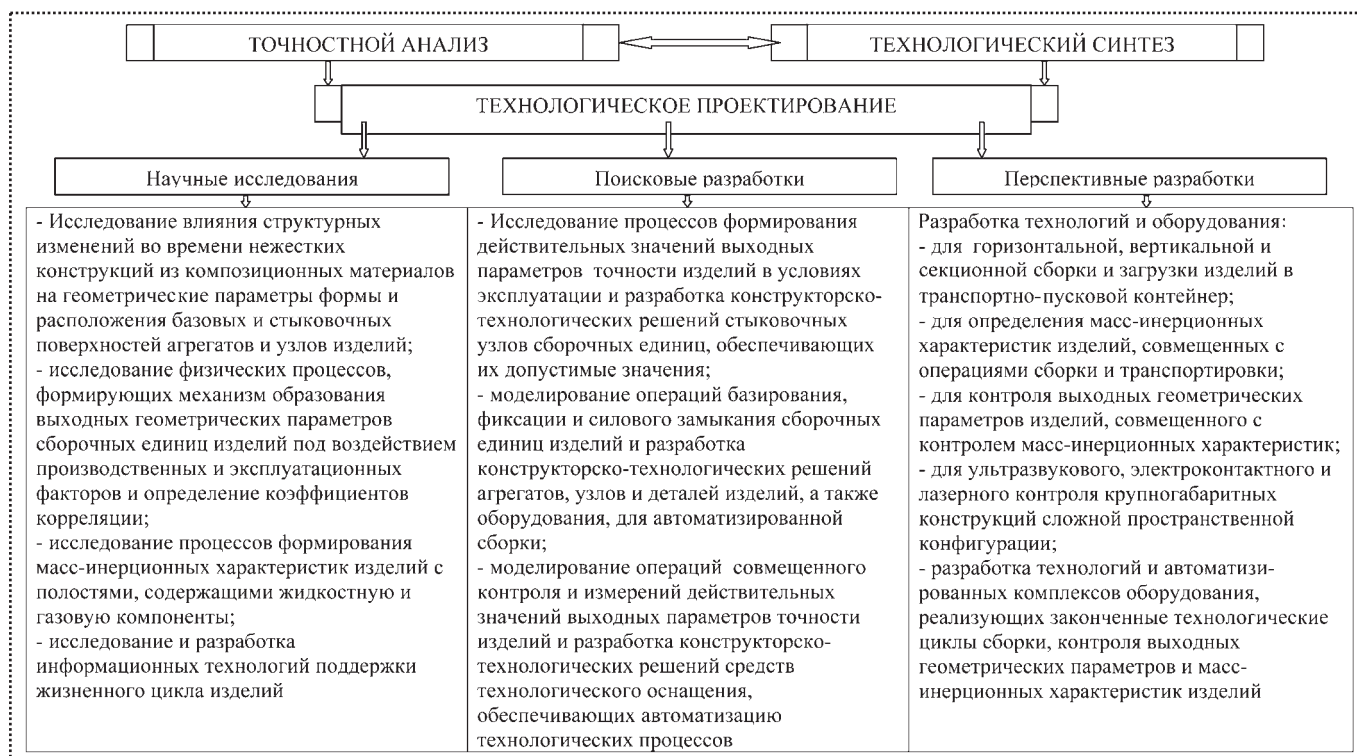


Рис. 3. Направления исследований и разработок в сборочном производстве изделий ракетно-космической техники

щими в процессах их производства и эксплуатации, и выходными геометрическими параметрами сборочных единиц и деталей изделий, а также исследования динамических процессов изменения масс-инерционных характеристик изделий, содержащих в замкнутых полостях жидкостные и газовые компоненты, в условиях эксплуатации или максимально к ним приближенных. Проведение данных работ позволит развить и дополнить теоретические основы точностного анализа.

Поисковые разработки включают исследования по анализу и синтезу конструктивных решений узлов стыковки и выставки сборочных единиц, прежде всего крупногабаритных космических конструкций, реализующих технологии сборки, обеспечивающие заданные количественные нормы выходных параметров точности изделий в условиях их постоянного функционирования. Значительное место в рамках поисковых исследований занимают вопросы создания математических моделей сборки изделий и контроля выходных пара-

метров их точности, обеспечивающих синтез конструктивных решений как сборочных единиц изделий, так и средств технологического обеспечения сборки и контроля, реализующих автоматизированные технологии. Проведение данных работ позволит развить и дополнить теоретические разделы технологического синтеза.

Разработка перспективных технологий и оборудования предусматривает создание гаммы технологических процессов и реализующих их средств технологического обеспечения для совмещенных технологий контроля выходных геометрических параметров, масс-инерционных характеристик и сборки изделий, практической реализации концепций автоматизации в сборочном производстве, освоения новых технологий секционной и вертикальной сборки, высокоточных методов лазерного и ультразвукового контроля крупногабаритных конструкций.

Перечисленные задачи и направления развития методов и средств обеспечения качества



изделий в сборочном производстве затрагивают только часть многофакторной проблемы технологического обеспечения выходных параметров точности изделий ракетно-космической техники в сборочном производстве. Рост технического совершенства и удельных характеристик двигательных установок, увеличение габаритно-весовых характеристик и повышение плотности компоновки изделий, применение маложестких материалов в конструкциях сложной пространственной конфигурации определяют актуальность данной проблемы для ее будущих исследователей и разработчиков, ученых и специалистов.

Выводы

Сформулированы направления научных исследований, поисковых и перспективных разработок в области технологического обеспечения вы-

ходных параметров точности изделий в сборочном производстве.

Представлена обобщенная структура приоритетных направлений исследований в области совершенствования технологического обеспечения выходных параметров точности в сборочном производстве.

Библиографический список

1. Медарь А.В. Обеспечение качества изделий в сборочном производстве. — М.: ГОНТИ-2, 1988. 58 с.
2. Медарь А.В. Размерно-точностной анализ в проектировании технологических процессов. — М.: ГОНТИ-2, 1987. 46 с.
3. Медарь А.В. Направления развития теории проектирования средств технологического оснащения сборочного производства. — Технология производства. Сер. XIII. 1987. Вып. 3. С. 179–182.
4. Медарь А.В. Обеспечение технического уровня средств технологического оснащения сборочного производства. — Технология производства. Сер. XIII. 1987. Вып. 10. С. 109–113.

Отзыв на книгу А.В. Мельника "Торцовые уплотнения валов" (Библиотека конструктора)

М.: Машиностроение, 2008 г. 320 с. Цена 484 р. с НДС

Недавно вышедший справочник "Торцовые уплотнения валов" представляет собой пособие, включающее широкий охват материалов по применению торцовых уплотнений валов, с качественными иллюстрациями по тематике применения и удобным поиском нужных сведений.

Полезными для разработчиков изделий являются сведения о механизме работы уплотнений, расчетах и конструировании узлов, а также описание применения их в высоконагруженных машинах по частотам вращения, давлениям и различным средам.

Издание такой книги – полезный вклад издательства в развитие отечественной техники, особенно насосостроения.

В.Ю. Пиунов, зам. Генерального конструктора ГКНПЦ
им. М.В. Хруничева



УДК 629.423.24:629.488.27:681.518.5

В.Н. Костюков, д-р техн. наук, **А.В. Костюков**, канд. техн. наук,
Д.В. Казарин, научный сотрудник (НПЦ "Динамика", г. Омск)
 E-mail: post@ynamics.ru http: www.dynamics.ru

Диагностика качества сборки электрических цепей электропоездов

Изложены некоторые результаты разработки и применения систем комплексного диагностирования качества сборки и ремонта оборудования электропоездов, широко используемых на предприятиях ОАО "Российские железные дороги" и перспективных для железнодорожной отрасли в качестве пути повышения надежности, максимального полного использования ресурса оборудования электропоездов при одновременном снижении издержек на ремонты и как средство скорейшей реконструкции системы ремонта на безопасной ресурсосберегающей основе.

Some results of development and use of systems for complex quality diagnostics of electric trains' equipment assembling and repair are presented. These systems are commonly used at enterprises of «Russian railways» and very promising for railway branch as a way of reliability increase, maximum full use of electric train equipment resource with simultaneous decrease of expenses for repairs, and as a way of the rapid reconstruction of repair system based on safe resource-saving principles.

Ключевые слова: диагностика, электропоезд, технологический цикл ремонта, методика диагностирования.

Key words: diagnostics, electric train, technological cycle of repair, methodology of diagnostics.

Безопасность и бесперебойность железнодорожных пригородных пассажирских перевозок зависит от надежной работы каждого звена и в существенной степени от эксплуатационной надежности более 7,5 тыс. секций электропоездов. В настоящее время для поддержания требуемого уровня надежности мотор-вагонного подвижного состава (электропоездов) предусмотрена система технических обслуживаний и текущих ремонтов, основанная на плано-предупредительном принципе, устанавли-

вающим объем и перечень обязательных контрольно-измерительных и ремонтно-восстановительных операций [1].

При такой системе технологический цикл подъемного ремонта (рис. 1) включает снятие с электропоезда до 75 – 85 % узлов и аппаратов, их очистку, разборку и дефектацию с целью выявления имеющихся повреждений и

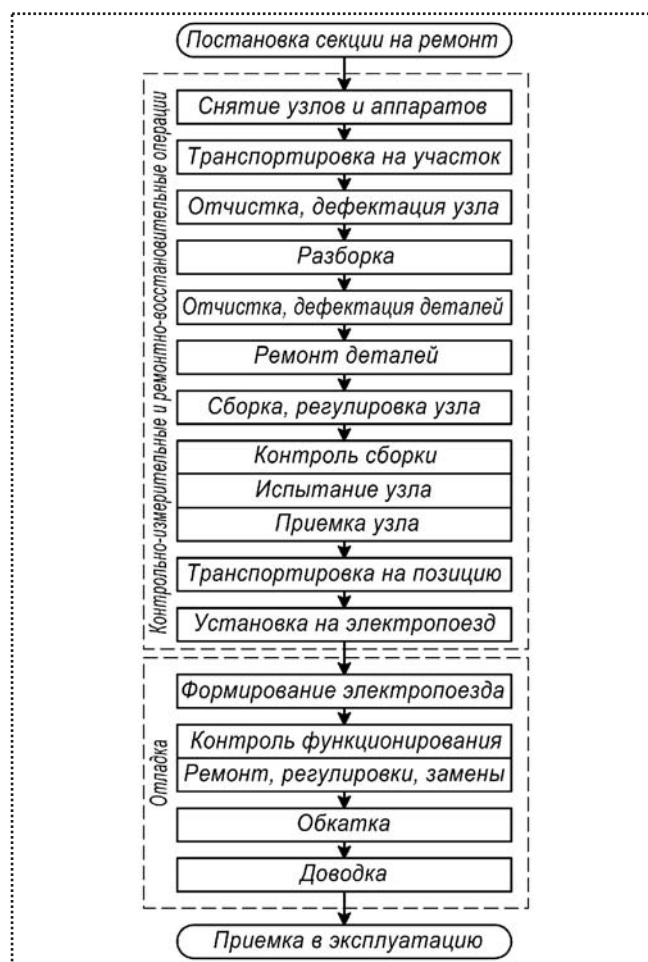


Рис. 1. Технологический цикл подъемного ремонта электропоезда



неисправностей, по результатам которого выработывается дальнейшая стратегия ремонта. После ревизии и, если выявлен дефект, после ремонта проводят сборку узла и его контроль, включающий в себя комплекс испытаний, направленных в основном на определение работоспособности узла в целом и позволяющий оценить качество ремонтных и сборочных работ.

В некоторых случаях контроль сборки может быть частично перенесен на процесс обкатки и регулировки узла. Например, в ходе обкаточных испытаний тяговых двигателей могут быть измерены параметры вибрации, температура нагрева, сопротивление изоляции, параметры настройки коммутации, несущие объективную информацию о качестве сборки узла.

С ремонтных и испытательных участков все осмотренные и отремонтированные узлы и аппараты транспортируются на позицию сборки электропоезда. Объединение узлов и элементов между собой образует сложные по своей структуре и топологии системы, имеющие многочисленные механические и электрические связи. Наиболее сложными из таких систем являются электрические цепи, включающие низковольтные цепи управления, высоковольтные силовые и вспомогательные цепи, а также часть пневматической сети электропоезда.

Исправность и работоспособность отремонтированного оборудования не является объективной гарантией его правильной работы в составе той или иной системы электропоезда, поскольку в результате ошибок монтажа могут быть нарушены взаимосвязи между элементами, аппаратами и узлами, возникнуть повреждения при транспортировке, в процессе сборки и последующей отладки. Возникновение дефектов на данной стадии технологического цикла ведет не только к увеличению продолжительности ввода электропоезда в эксплуатацию (периода отладки), но и, в случае пропуска дефекта, к браку и отказам на линии.

Высокая повреждаемость оборудования электропоездов в эксплуатации, в частности электрических цепей, на долю которых по данным статистической отчетности ОАО "Российские железные дороги" приходится свыше 55 % брака и отказов, в 80 % случаев – результат недостатков качества сборки. Субъективность оценки качества сборки систем электропоезда, обусловленная отсутствием современных средств контроля, является главной причиной неудовлетворительного качества ремонта в депо (согласно классификации ОАО "Российские железные дороги" принятой для анализа причин повреждения оборудования) [2].

Контроль качества сборки, как правило, проводят во время отладки путем опробования оборудования под контактным проводом в нескольких различных режимах функционирования либо в депо при помощи простейших контрольных ламп, при этом затрачивается значительное время.

Так, отладка, имеющая цель установить работоспособность оборудования в составе систем электропоезда и довести его до требований основных инструкций, составляет до 30 % времени технологического цикла, при этом в ожидании отладки, в зависимости от ремонтных мощностей депо, каждая отремонтированная секция простаивает в среднем 50–200 % чистого времени технологического цикла, поскольку для опробования оборудования, проводимого, как правило, за пределами сборочного цеха под контактным проводом, необходим сформированный поезд из трех – шести секций.

Повышение качества ремонта мотор-вагонного подвижного состава при одновременном сокращении продолжительности и трудоемкости отладки возможно на основе автоматических систем комплексного диагностирования качества ремонта и сборки наиболее сложных и ответственных систем электропоездов, обеспечивающих достоверную количественную и качественную оценку их технического состоя-

ния в соответствии с требованиями основных руководящих документов [3].

Методика диагностирования электрических цепей электропоездов

Функционирование электрических цепей электропоездов в штатных режимах осуществляется при помощи контроллера машиниста и других органов управления поездом, посредством которых происходит подача электрических управляющих воздействий на поездные провода. Аппараты цепей управления, подсоединенные к поездным проводам, получая питание, отработывают возложенные функции по сбору или переключению в высоковольтных схемах. При подключении к контактному проводу напряжение контактной сети преобразуется оборудованием высоковольтных цепей:

- в полезную работу — тягу или торможение, характеризуемое силой, скоростью и ускорением;
- в выработку электроэнергии генераторами и передачу ее на секционные провода цепей управления для питания двигателя подвагонного компрессора и аппаратов в пределах секции;
- в создание запаса сжатого воздуха, необходимого для работы цепей управления, тормозной системы и другого оборудования с пневматическим приводом во всем поезде.

Электрические цепи электропоезда с указанием входных, выходных и внутренних сигналов можно представить в виде структурной диагностической модели (рис. 2) [4].

Входными являются сигналы, соответствующие рабочим воздействиям, подаваемым при помощи органов управления на поездные провода цепей управления X_{Upi} , а также сигналы, соответствующие напряжению контактной сети X_{Ucci} , подаваемому на высоковольтные цепи каждой секции, где i — номер секции.

Выходными сигналами, по которым, как правило, проводят оценку качества функционирования электрических цепей электропоезда при отладке, являются сигналы, характеризующие способность электропоезда в целом выполнять полезную работу:

v — скорость движения;

B — тормозной эффект;

Z_{Uuyi} — параметры электроэнергии (напряжение, частота), вырабатываемой генераторами и преобразователями;

p — давление в пневматической сети;

Z_{Uci} — сигналы цепей сигнализации.

Внутренними сигналами, несущими наибольшую информацию о техническом состоянии, качестве сборки и функционировании цепей, но не оцениваемыми объективно на этапе обычной отладки, являются сигналы, имеющие механический (Y_{ni} — замыкания контактов, сбор схем) и электрический (Z_{Upi} , Z_{Usi} — напряжения на поездных и секционных проводах цепей управления) характер.

Последовательная структура электрических цепей электропоезда и отсутствие резервирования ведет к тому, что при отказе, например, в секции 1, вызванном обрывом поездного

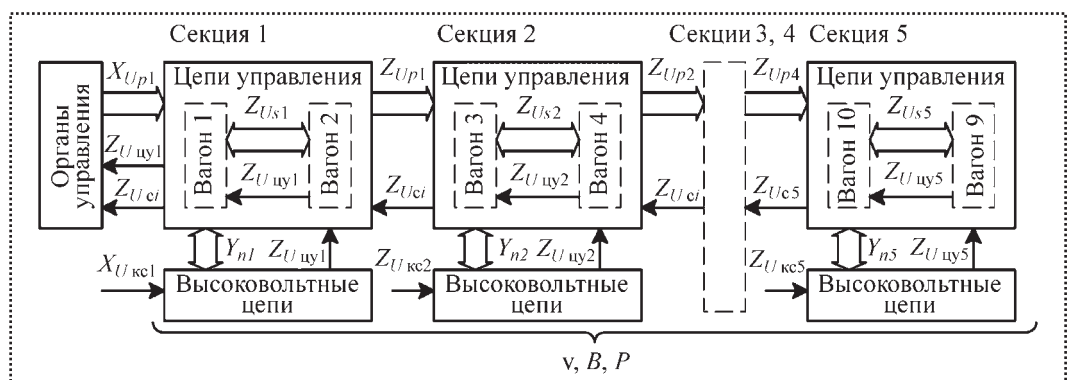


Рис. 2. Структурная диагностическая модель электрических цепей электропоезда



провода, рабочее воздействие не достигнет входа секции 2 и всех последующих секций, в результате их электрические цепи не выполняют заданных функций.

При отказе элемента или аппарата цепей управления в одной секции, ведущем к функциональному нарушению, не будет осуществлен сбор высоковольтной схемы на неисправной секции, в то время как на других секциях высоковольтные схемы соберутся. Отказ в высоковольтной цепи, не вызывающий срабатывание защиты, не оказывает влияния на работу цепей управления как в этой, так и в других секциях.

Последовательность структуры электрических цепей и возможность формирования электропоездов различных составов делают технически сложно реализуемой задачу диагностирования качества сборки и ремонта всего поезда целиком в объеме, предусмотренном соответствующими руководящими документами.

Наиболее эффективным в части достижения необходимой глубины, полноты и достоверности при одновременном снижении продолжительности диагностирования, сокращении непроизводительного простоя секций является принцип, основанный на посекционном диагностировании качества сборки электропоездов. В основу принципа положена структурная и функциональная законченность секции как подвижной единицы, имеющей полный комплект оборудования (за исключением органов управления) и предусмотренной для работы по системе многих единиц в составе электропоезда.

Диагностирование качества сборки электрических цепей секций электропоездов осуществляется путем измерения электрических параметров, несущих объективную информацию о состоянии всех структурных и функциональных взаимосвязей, с вычислением в режиме реального времени характерных диагностических признаков, являющихся количественной и качественной характеристикой технического состояния элементов, аппаратов и узлов.

Для оценки целостности поездных проводов, выявления ошибок монтажа и корпусных замыканий используют сигналы, соответствующие напряжениям на контактах межсекционных электрических соединений $\{Z_{Upi}\}$, используемых для работы секций по системе многих единиц. Оценка правильности функционирования аппаратов и ветвей цепей управления, целостности секционных проводов и отсутствия ошибок их монтажа осуществляется на основе сигналов, соответствующих напряжениям на контактах межвагонных электрических соединений $\{Z_{Usi}\}$, используемых для соединения вагонов в секцию, и токов, характеризующих проводимость каждой ветви цепей управления $\{Z_{In}\}$.

Оценку технического состояния, а также качества ремонта, сборки и регулировки аппаратов, элементов и узлов проводят путем вычисления сопротивлений участков цепей управления $\{R_n\}_{\text{цв}}$ и анализа временных параметров работы многопозиционных коммутационных аппаратов (силовых пневматических контроллеров).

Оценку качества сборки силовых и вспомогательных цепей проводят без подачи в них высокого напряжения путем пропускания постоянного тока малого напряжения $\{X_U\}_{\text{вц}}$ и измерения тока $\{I_{Xu}\}$ и напряжений на участках цепи $\{Z_U^{\text{KT}}\}$ с одновременным расчетом их сопротивлений $\{R_n\}_{\text{вц}}$. Это обеспечивает неповреждаемость участков цепей в случае их неправильной сборки. Участки выделены в результате назначения контрольных точек, в которых измеряются электрические потенциалы.

При выборе участков контроля и назначении контрольных точек учтены следующие требования:

- доступность контрольных точек и простота подключения к ним;
- минимизация количества участков и контрольных точек при обеспечении полного покрытия рассматриваемой цепи;
- возможность однозначного различения места дефекта, неисправного блока или узла;



– минимальная погрешность при измерениях;

– соответствие получаемых параметров требованиям руководящих документов.

Автоматизация процесса диагностирования и, как следствие, повышение достоверности оценки качества сборки электрических цепей на различных этапах технологического цикла обеспечивается путем вовлечения в процесс максимального количества штатных аппаратов и устройств.

Посредством подачи последовательности внешних воздействий $\{X_U\}_{ив}$, номинал которых соответствует штатным рабочим воздействиям $\{U_{XU}\}$, на контакты межвагонных электрических соединений поездных и секционных проводов реализуется специальный тестовый режим функционирования цепей управления (T_s) (здесь $s = \overline{1, q}$ – интервал функционирования), обеспечивающий возможность оценки выбранной совокупности диагностических признаков и организующий отработку силовыми и вспомогательными цепями всего диапазона возможных комбинаций, определяемых положениями силового пневматического контроллера и других высоковольтных коммутационных аппаратов.

В различных комбинациях высоковольтных цепей (сборках) проводятся измерение и расчет диагностических признаков силовых и вспомогательных цепей, чем достигается удовлетворение требованиям руководящих документов. Специальный тестовый режим функционирования обеспечивает возможность определения тока каждого элемента (ветви) цепей управления $\{Z_{In}\}$ при минимуме числа датчиков путем выделения динамической составляющей суммарного тока потребления цепями управления на каждом интервале функционирования $\{Z_{I\Sigma}(T_s)\}$, характеризующей включение данного элемента (ветви) в работу.

Внешние воздействия, подаваемые на контакты поездных и секционных проводов $\{X_U\}_{ив}$, обеспечивают штатное функциониро-

вание двигателя компрессора, трансформатора управления и других устройств, позволяя достичь автономность процесса диагностирования, т.е. независимости от внешних устройств воздухообеспечения и преобразования электрической энергии.

Одновременность диагностирования цепей управления, силовых и вспомогательных цепей с вовлечением в процесс пневматической системы и устройств питания цепей управления позволяет сохранить все структурные и функциональные взаимосвязи, за счет чего достигается высокая достоверность, глубина и полнота диагностики качества ремонта, сборки и регулировки аппаратов, узлов и электрических цепей секции электропоезда в целом при минимальных временных затратах.

Для распознавания технического состояния электрических цепей как единой системы использовано множество E_i ее технических состояний, где $i = \overline{0, n}$. Элементами данного множества являются исправное (работоспособное) e_0 и неисправные (неработоспособные) e_i (при $i \neq 0$) состояния, вызванные наличием дефектов в элементах цепей и недостатками качества ремонта, сборки и регулировки. Процедура формирования вектора диагностических признаков, на основании анализа которого делается заключение о соответствии электрических цепей электропоездов предъявляемым требованиям, представлена на рис. 3.

Описанная методика, в настоящее время используемая для диагностирования качества сборки электрических цепей электропоездов 15 различных серий, эксплуатирующихся на железных дорогах Российской Федерации, реализована в виде прикладных программных модулей, работающих в составе программного обеспечения системы диагностики и мониторинга КОМПАКС®-Экспресс [5].

Исполняемые в модулях алгоритмы диагностирования обеспечивают обнаружение и однозначное различение не менее 90 % возможных дефектов при минимальном числе элементарных проверок. Все алгоритмы имеют

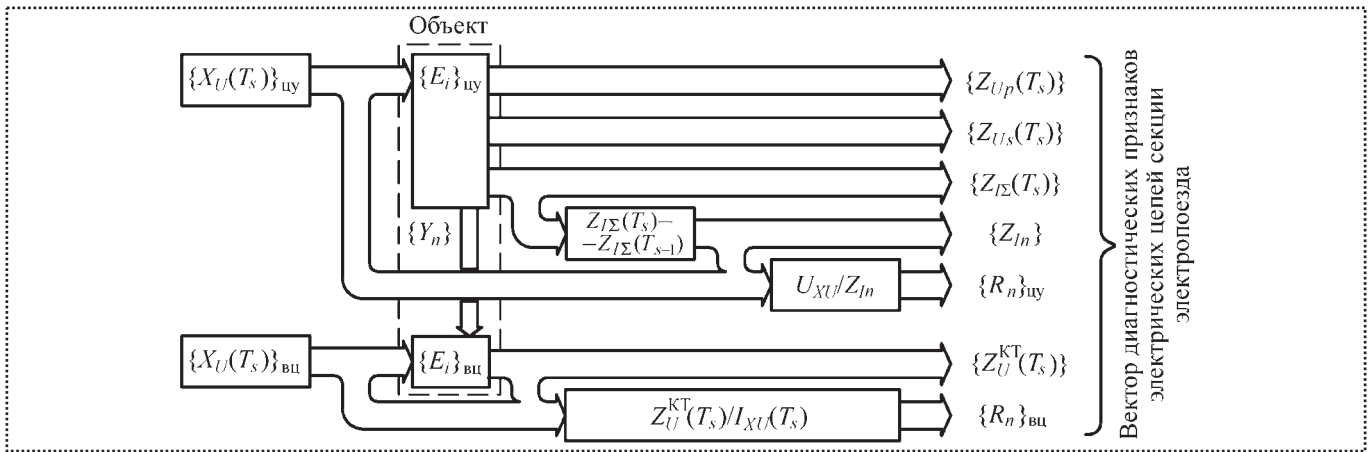


Рис. 3. Алгоритм формирования вектора диагностических признаков:

$\{X_U(T_s)\}_{ци}$ – вектор внешних воздействий, подаваемых в цепи управления на каждом интервале функционирования;
 $\{X_U(T_s)\}_{вц}$ – вектор внешних воздействий, подаваемых в высоковольтные цепи на каждом интервале функционирования;
 $\{E_i\}_{ци}$ – множество технических состояний цепей управления;
 $\{E_i\}_{вц}$ – множество технических состояний высоковольтных цепей;
 $\{Y_n\}$ – вектор внутренних неэлектрических сигналов;
 $\{Z_{U_p}(T_s)\}$ – вектор выходных сигналов, соответствующих напряжениям на контактах поездных проводов цепей управления на каждом интервале функционирования;
 $\{Z_{U_s}(T_s)\}$ – вектор выходных сигналов, соответствующих напряжениям на контактах секционных проводов цепей управления на каждом интервале функционирования;
 $\{Z_{I_Σ}(T_s)\}$ – вектор суммарных токов потребления цепями управления на каждом интервале функционирования;
 $\{Z_{I_n}\}$ – вектор токов элементов (ветвей) цепей управления;
 $\{R_n\}_{ци}$ – вектор сопротивлений элементов (ветвей) цепей управления;
 U_{XU} – величина напряжения внешнего воздействия;
 $\{Z_U^{KT}(T_s)\}$ – вектор выходных сигналов, соответствующих напряжениям в контрольных точках высоковольтных цепей на каждом интервале функционирования;
 $\{R_n\}_{вц}$ – вектор сопротивлений элементов (участков) высоковольтных цепей;
 $I_{XU}(T_s)$ – величина тока, протекающего в высоковольтных цепях при подаче внешнего воздействия на каждом интервале функционирования

гибкую расширяемую циклическую структуру, позволяющую без существенных трудозатрат добавлять новые элементарные проверки, что является особенно актуальным при освоении новых серий и типов железнодорожного подвижного состава.

Подсистема диагностирования электрических цепей

Ядром подсистемы диагностирования электрических цепей, входящей в состав системы комплексного диагностирования качества сборки и ремонта оборудования электропоездов, является оригинальный промышленный безвентиляторный IBM-совместимый диагностический контроллер и распределенная полевая сеть управляющих модулей, модулей сбора и передачи диагностической информации [6].

Система комплексного диагностирования качества сборки и ремонта оборудования электропоездов является одной из модификаций системы компьютерного мониторинга для предупреждения аварий и контроля состояния – КОМПАКС[®], построенной с соблюдением следующих принципов:

- достаточности;
- информационной полноты;
- инвариантности и коллективного распознавания;
- самодиагностики и автоматизированной проверки;
- структурной гибкости и программируемости;
- коррекции неидеальностей измерительных трактов вычислительными методами;



– дружелюбности интерфейса при максимальной информационной емкости экрана представления данных и многоуровневой организации.

Система включает в себя подсистемы диагностирования:

- колесно-моторных блоков;
- изоляции высоковольтных электрических цепей;
- пантографа;
- пневматической тормозной системы;
- электрических цепей (цепей управления, силовых и вспомогательных цепей).

Подсистема имеет стационарное исполнение, позволяющее проводить многочисленные измерения в удаленных контрольных точках при минимуме временных затрат. Местом расположения оборудования подсистемы является участок испытаний – ремонтное стойло депо, на котором размещается секция электропоезда.

Структурная схема подсистемы, представленная на рис. 4 (3-я с. обложки) содержит [7]:

– диагностический пост (ДП) 1, в состав которого включены ЭВМ 2 с принтером 3, блок беспроводного интерфейса 4 и блок связи с полевым оборудованием 5;

– беспроводной терминал 6;

– подсистему управления электропневматическими цепями (ПУЭПЦ) 7, в состав которой включены блоки пневматики 8 и 12, блоки измерения МЭС 9 и 11, блок питания, измерения и управления 10, межвагонные или межсекционные электрические соединители (МЭС) 15 цепей управления, соединитель с блоком реле ускорения 25, электрозонды 14, пневмозонды 13 и 16 и соединитель высоковольтного блока 21 для питания двигателя компрессора.

Поз. 17, 27 на рис. 4 – питательная (напорная) пневмомагистраль; 18, 28 – тормозная пневмомагистраль; 19, 26 – стыковочные устройства блоков измерения МЭС; 20 – вспомогательные электрические цепи; 22, 23 – соединители МЭС.

Сплошными линиями на рисунке показаны проводные соединения между элементами

подсистемы, пунктирными – соединения элементов подсистемы с электрическими цепями секции электропоезда.

Включение в состав ПУЭПЦ блока 10 обеспечивает при диагностировании формирование управляющих, питающих и тестовых воздействий от штатной трехфазной сети депо и их оперативное подключение к цепям управления, силовым и вспомогательным электрическим цепям, двигателю подвагонного компрессора, а также измерение выбранной совокупности параметров и сигналов. Соединители МЭС обеспечивают быстрое, надежное и безопасное подключение блока к цепям управления через штатные межвагонные электрические соединения секции, а электрозонды – гибкое и надежное соединение с контрольными точками силовых и вспомогательных цепей.

Включение в состав ПУЭПЦ двух одинаковых блоков измерения МЭС обеспечивает в процессе диагностирования измерение параметров и сигналов цепей управления с внешних сторон секции, в том числе для контроля целостности поездных проводов. Два одинаковых блока пневматики, подключаемых посредством пневмозондов, обеспечивающих быстрое и надежное соединение к пневматическим магистралям, путем совместной работы управляют газодинамическими процессами в пневматической сети секции, формируют необходимые для правильного функционирования аппаратов и устройств электрических цепей пневматические воздействия.

Беспроводной терминал предназначен для удаленного управления процессом испытаний из любой точки участка испытаний и позволяет одному оператору без помощников проводить диагностирование головных секций электропоездов, включая кнопки управления, кран и контроллер машиниста, без увеличения трудоемкости и дополнительных временных затрат.

Структура и состав подсистемы диагностирования электрических цепей обеспечивают в условиях депо на единой аппаратно-про-



граммной базе совместную автоматическую оценку качества ремонта, сборки и регулировки аппаратов и устройств цепей управления, высоковольтных силовых и вспомогательных электрических цепей секций электропоездов различных серий, обуславливая высокую полноту и достоверность диагностирования.

Реализация подсистемы

Подсистема реализована и внедрена в составе систем комплексного диагностирования качества сборки и ремонта оборудования электропоездов КОМПАКС® – ЭКСПРЕСС-ТРЗ в 11 мотор-вагонных депо на пяти дорогах ОАО "Российские железные дороги".

Конструктивное исполнение блока ПУЭПЦ выполнено в виде трех шкафов, стационарно устанавливаемых в выбранных местах участка испытаний. Каждый шкаф имеет два отсека, в одном из которых содержится измерительно-управляющая аппаратура, в другом – выносные соединительные элементы и обслуживаемые узлы.

Оригинальная конструкция соединителей МЭС обеспечивает высокую оперативность при одновременном снижении трудоемкости подключения блока питания, измерения и управления к поездным и секционным проводам цепей управления секции электропоезда. Связь между всеми элементами подсистемы обеспечивается проводными соединениями, для защиты которых от внешних воздействий используется электротехнический короб или трубная защита.

Стационарное размещение оборудования подсистемы на участке испытаний и принятое конструктивное исполнение обеспечивают однотипное, оперативное, требующее минимальных трудовых усилий соединение с электрическими цепями секций электропоездов различных серий, минимальные длины кабельных трасс и линий связи с объектом.

Взаимодействие оператора с программным обеспечением подсистемы осуществляется в интерактивном режиме. Путем выбора соответствующего пункта меню оператор вводит

исходные данные – серию электропоезда, тип секции, номера вагонов, вид ремонта, фамилию и имя оператора, после чего нажатием кнопки "Пуск" дает команду ЭВМ на автоматическое диагностирование электрических цепей.

ЭВМ в соответствии с заданным алгоритмом осуществляет идентификацию типа секции и серии электропоезда, проводит управление блоком питания, измерения и управления и блоками пневматики, которые путем совместной работы создают поездное давление в тормозной магистрали и поддерживают его из питательной магистрали в течение всего процесса диагностирования. В ходе выполнения алгоритма ЭВМ осуществляет управление блоком питания, измерения и управления, который через соединители МЭС и БРУ организует функционирование электрических цепей в режиме диагностирования.

При отработке аппаратами цепей возложенных функций блок питания, измерения и управления измеряет напряжения на контактах секционных проводов, токи потребления цепями управления, напряжения на участках силовых и вспомогательных цепей, блоки измерения МЭС измеряют напряжения на контактах поездных проводов цепей управления.

В заданные моменты времени ЭВМ получает от блоков ПУЭПЦ результаты измерений, рассчитывает вектор диагностических признаков, на основе заложенных правил формирует экспертные сообщения и проводит автоматическую оценку технического состояния. При диагностировании головной секции ЭВМ в заданные моменты времени выдает указания оператору, который выполняет их, после чего дает ЭВМ команду подтверждения.

Все получаемые результаты диагностирования в режиме реального времени отображаются на экране монитора с окрашиванием элементов в цвета, характеризующие качество ремонта, сборки и регулировки:

■ *красный* – качество ремонта и сборки не соответствует основным требованиям руково-



дящих документов, эксплуатация электропоезда недопустима и небезопасна;

■ *желтый* – требуется принятие мер по доводке элементов и узлов электрических цепей до требований руководящих документов, электропоезд может быть допущен в эксплуатацию с незначительными ограничениями;

■ *зеленый* – качество ремонта, сборки и регулировки находится на высоком уровне, оборудование соответствует основным требованиям руководящих документов, а электропоезд может быть допущен в эксплуатацию без ограничений.

В окне сообщений автоматически выдаются целеуказующие предписания о неисправностях, обнаруженных при диагностировании, и действиях, которые необходимо предпринять ремонтному персоналу для устранения выявленных дефектов и доводки оборудования.

Окончательная оценка качества сборки проводится по завершению процесса диагностирования после появления соответствующего сообщения в информационной строке экрана, при этом ЭВМ автоматически формирует акты испытаний с диагнозом и заключением о пригодности секции электропоезда к эксплуатации. По команде оператора ЭВМ выводит результаты диагностирования на принтер в виде актов технической готовности, в которых указываются обнаруженные дефекты с количественной оценкой и степенью опасности.

После получения акта технической готовности оператор совместно с ремонтным персоналом проводит работы по устранению обнаруженных дефектов и приведению оборудования электропоезда в соответствие с основными требованиями. После этого диагностирование может быть повторено для проверки качества проведенных ремонтных работ. Процесс совместного автоматического диагностирования электрических цепей секции электропоезда занимает не более 25 мин.

Некоторые результаты промышленного использования системы

В ходе внедрения систем и при последующей их эксплуатации было выявлено свыше

150 различных неисправностей электрических цепей, среди которых такие, которые, по мнению наиболее опытного ремонтного персонала, практически не встречаются на практике и, как следствие, не могут быть быстро обнаружены и устранены. К таким неисправностям относятся:

– обрыв резистора реле заземления (Сундукова И.А. Зри в узел. "Гудок". № 175 от 26.09.2008);

– невключение блокировочных контактов высоковольтного выключателя вследствие неверной его установки;

– попадание электроизоляционного лака на блокировочные контакты реле;

– нарушение регулировки вала силового реостатного контроллера и, как следствие, невключение его контакта на одной из позиций (рис. 5, 3-я с. обложки);

– отсутствие минусового провода цепи управления на электропневматическом вентиле тормозного переключателя;

– наличие металлического болта в штепселе межсекционного соединения цепей управления;

– подсоединение цепи печного отопления к контактору калориферной группы, и наоборот.

За время эксплуатации систем в отдельных депо выявлены систематические ошибки и недостатки монтажа электрических схем, среди которых двухсторонний перехлест проводов цепей управления реверсивным переключателем на рейках с зажимами, а также отключение калориферной группы отопления путем отсоединения высоковольтного кабеля от соответствующего контактора.

Время, затрачиваемое на выявление и устранение перечисленных неисправностей без помощи системы, согласно экспертной оценке в 10 и более раз превосходит время, достигаемое с ней. Кроме того, ряд неисправностей с высокой долей вероятности не мог быть выявлен ремонтным персоналом. Возможными сценариями развития некоторых неисправностей могли быть нарушения графика движе-



ния, а также возгорание вагона электропоезда в пути следования.

Достоверность диагностирования составила не менее 98 %, что полностью подтверждено сверкой показаний системы с результатами проведенных ревизий и ремонтов. Полнота выявляемых неисправностей при этом превысила 90 %, что также подтверждено результатами отладки, обкатки и первого периода эксплуатации электропоездов на линии после ремонта (Сундукова И.А. Неподкупная проверка. "Гудок". № 115 от 29.06.2009).

Выводы

Благодаря использованию подсистемы диагностирования электрических цепей, входящей в состав системы КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС-ТРЗ, появилась возможность:

- оперативно с высокой степенью достоверности выявлять явные отказы и скрытые повреждения оборудования электрических цепей электропоездов, обусловленные недостатками качества ремонта, сборки и регулировки;
- выявлять элементы и аппараты, ведущие к снижению КПД и повышению расхода электроэнергии электропоездом;
- выявлять элементы и аппараты, ведущие к ухудшению условий работы электрических машин и коммутационной аппаратуры;
- обеспечить целенаправленную работу ремонтного персонала по ликвидации дефектов и недостатков качества сборки;
- сократить более чем в 6 раз время, затрачиваемое на обязательный послеремонтный контроль и отладку электропоезда;
- практически полностью исключить брак, отказы в поездной работе и неплановые ре-

монты по электрическим цепям ввиду значительного сокращения их главной причины – неудовлетворительного качества ремонта в депо;

– максимально полно использовать ресурс диагностируемых узлов и аппаратов при сохранении их ремонтпригодности и тем самым снизить потребность в необоснованных ремонтах, т.е. осуществить сдвиг от действующей системы планово-предупредительных ремонтов к прогрессивной системе – ремонту по фактическому техническому состоянию на безопасной ресурсосберегающей основе.

Библиографический список

1. **Распоряжение** ОАО "РЖД" от 06.04.2006 № 622р "О планово-предупредительной системе технического обслуживания и ремонта мотор-вагонного подвижного состава".
2. **Технический** анализ порч, неисправностей и непланового ремонта электропоездов за 2006 г. / ОАО "РЖД". Управление пригородных пассажирских перевозок. – М., 2007.
3. **Сизов С.В., Аристов В.П., Костюков В.Н., Костюков А.В.** Непрерывный мониторинг состояния мотор-вагонного подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2008. № 6. С. 41–42.
4. **Казарин Д.В.** Диагностика состояния электрических цепей электропоездов // Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности: тезисы докл. Восьмой междунар. конф. – М., 2009. С. 150–151.
5. **Комплексная** система диагностики электропоездов КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС-ТРЗ / В.Н. Костюков, А.В. Костюков, Д.В. Казарин и др. // Железнодорожный транспорт. 2008. № 5. 4-я с. обложки.
6. **Костюков В.Н.** Мониторинг безопасности производства. – М.: Машиностроение, 2002. 224 с.
7. **Stationary** complex diagnostic system for electric trains / Alexey V. Kostyukov, Alexandr A. Lagaev, Denis V. Kazarin // The Sixth International Conference on Condition Monitoring and Machinery Failure Prevention Technologies / Ireland, Dublin, 2009. P. 1105–1109.



УДК 629.7.018

В.П. Мельников, д-р техн. наук, **Д.А. Муртазин**, канд. техн. наук,
М.А. Басенин, аспирант (МАИ, ФГУП "НПО" "Техномаш", Москва)
 E-mail: anotmvp2009@rambler.ru

Методология испытаний авиационно-космической техники с помощью накладных шаговых систем

Рассмотрен универсальный подход к процессам измерений физических величин как при лабораторных работах, так и при полетных и послеполетных испытаниях, основанный на элементах и методологии теории накладных шаговых систем, которые не зависят от габаритных размеров, формы, положения и состояния объектов измерения.

In article the universal approach to processes of measurements of the specified physical sizes is considered, both at laboratory works, and at flight, post-flight tests can be found by means of elements and methodology of the theory of unprofitable step-by-step systems which do not depend on overall dimensions, the form, position and a condition of objects of measurement.

Ключевые слова: испытания, накладные шаговые системы, шпангоуты, напряжения, деформации.

Key words: tests, unprofitable step-by-step systems, frames, pressure, deformations.

В настоящее время нет универсальных подходов в проведении испытаний конструкций авиационно-космической техники на прочность, герметичность, деформации и т.д. При этом надо учитывать, что экспериментальные исследования прочности летательных аппаратов играют большую роль в процессе разработки и эксплуатации современных авиакосмических конструкций. Эти исследования, как правило, выполняют в лабораторных условиях, во время космических испытаний и даже после них для определения возможности повторного использования летательного аппарата.

Нагрев самолета при полете на сверхзвуковой скорости, увеличение уровня нагрузок, необходимость обеспечения безопасности по-

лета требуют непрерывного совершенствования методики испытаний в лабораториях и во время полета, при этом исследователю придется сталкиваться с широким кругом задач. Решение многих из них в значительной степени зависит от правильного выбора методики измерений [1].

К измерительным устройствам, применяемым в процессе испытаний конструкций летательных аппаратов, предъявляются особые требования:

- обеспечение высоких метрологических характеристик каждого отдельного измерения при условии, что на объект испытаний может быть установлено при традиционном подходе несколько тысяч первичных преобразователей, а измеряемые величины изменяются в весьма широких пределах;
- обеспечение высоких метрологических качеств измерительной аппаратуры в течение длительного времени в связи с большой продолжительностью лабораторных испытаний.

Современная измерительная аппаратура, включающая первичные аналогово-цифровые преобразователи, коммуникаторы, устройства обработки и представления информации, позволяет получать большие объемы информации о напряженно-деформированном состоянии конструкции летательного аппарата. Для обработки и анализа полученных данных используют универсальные и специализированные ЭВМ.

Универсальный подход к процессам измерений указанных физических величин как при лабораторных, так и при полетных и послеполетных испытаниях, может быть найден с помощью элементов и методологии теории на-

кладных шаговых систем, которые не зависят от габаритных размеров, формы, положения и состояния объектов измерения [2].

При проведении прочностного эксперимента необходимо:

- определить усилия, возникающие в отдельных сечениях элементов и конструкции в целом;
- найти распределение напряжений, возникающих в элементах конструкции при различных видах ее нагружения;
- определить динамические напряжения, причиной которых являются колебания, удары и т.д.;
- найти жесткость отдельных элементов и конструкции в целом;
- определить остаточные напряжения в элементах конструкции.

Экспериментальную оценку напряжений и усилий проводят как на натурных конструкциях, так и на моделях. Внешние силы, действуя на твердое тело, вызывают его деформацию, измеряемую тензометром. Зная относительное

удлинение элемента, определенное тензометром, можно найти величину механического напряжения σ на данном участке конструкции. Эта зависимость для большинства металлов в области упругих деформаций определяется соотношением [1]

$$\sigma = E\varepsilon,$$

где E – модуль упругости;

ε – относительная деформация.

В тех случаях, когда необходимо измерить нормальную деформацию участка поверхности либо деформацию поверхности в целом, применяют специальные накладные шаговые устройства, которые позволяют на одном шаге измерения или на множестве шагов по всей поверхности определить форму ее деформированного состояния [3].

Таким способом проводили измерения геометрической формы поверхности изделия БОР, которое побывало в космосе и возвратилось на Землю сильно деформированным, обожженным температурным нагревом при входе в плотные слои атмосферы.

С помощью одноопорного накладного шагового устройства (НШУ) МАИ-207-4 по схеме, приведенной на рис. 1, были проведены измерения изделия, установленного в монтажном стапеле. При этом определяли превышения точек 1, 2, 3, ..., 14 поперечных сечений шпангоутов одноопорным шаговым способом [3] с перемещением шагового устройства в продольном направлении и таким же способом – дискретно по сечениям шпангоутов 0, 5, 8, 11 и 14 влево и вправо (вдоль оси Y) от плоскости симметрии $Z_k O_k X_k$ в поперечном направлении.

В результате получены дискретные профилограммы реальных профилей изделия в плоскости симметрии $Z_k O_k X_k$ (рис. 2) и совмещенных сечений по плоскостям шпангоутов 0, 5, 8, 11 и 14 (рис. 3). Они позволи-

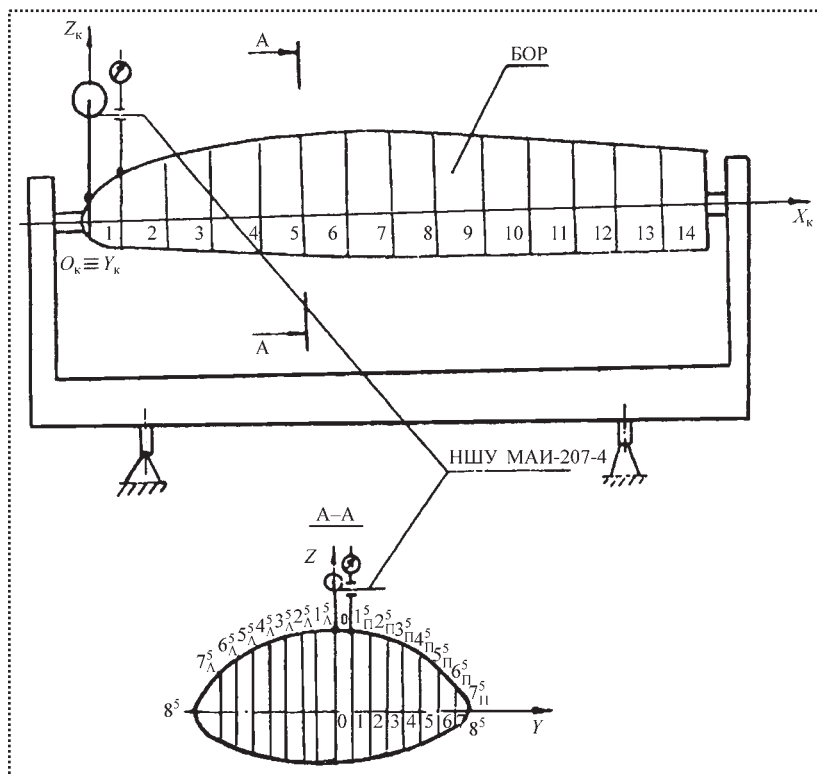


Рис. 1. Схема измерений изделия БОР одноопорным НШУ (МАИ-207-4)

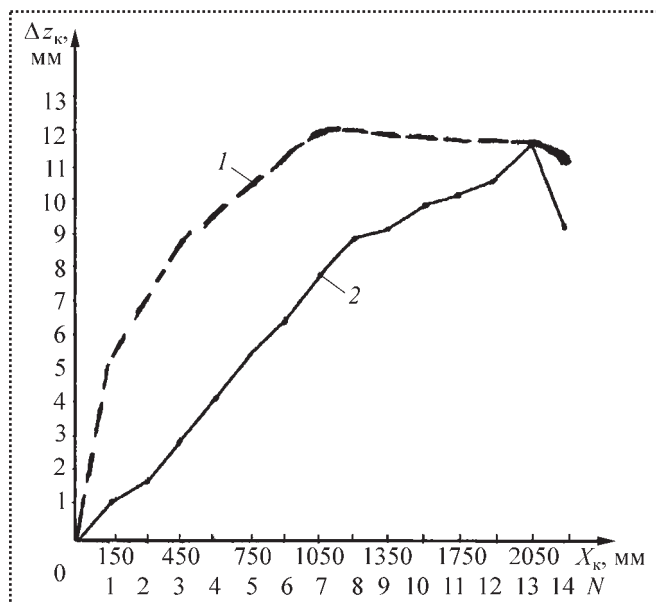


Рис. 2. Приращения координаты Δz_k продольного сечения изделия БОР по результатам измерения НШУ:

1 – контур до полета; 2 – контур после полета; N – номера сечений на рис. 1

ли оценить изменения геометрической формы БОРа после полета. Предельная погрешность измерения составила $\pm 0,1$ мм.

В несколько измененном виде проводили измерение деформаций конструкции в локальной зоне кабины изделия "Буран". Целью этих измерений является определение в процессе ступенчатого надува кабины величин перемещений заднего гермоднища по шпангоуту 5 и линейных деформаций обшивки между шпангоутами 5 и 4 для установлений их действительных значений в радиальном направлении в месте наибольшего напряженного состояния.

Измерительный комплекс состоит из одноопорного накладного шагового устройства (рис. 4), содержащего направляющую 3, электродвигатель с ходовым винтом 4, датчик ИДП линейных перемещений, концевые выключатели 5 и 6, установленные на концах направляющей 3, и кронштейн 1 крепления шагового устройства к герморазъемам заднего гермоднища с помощью под-

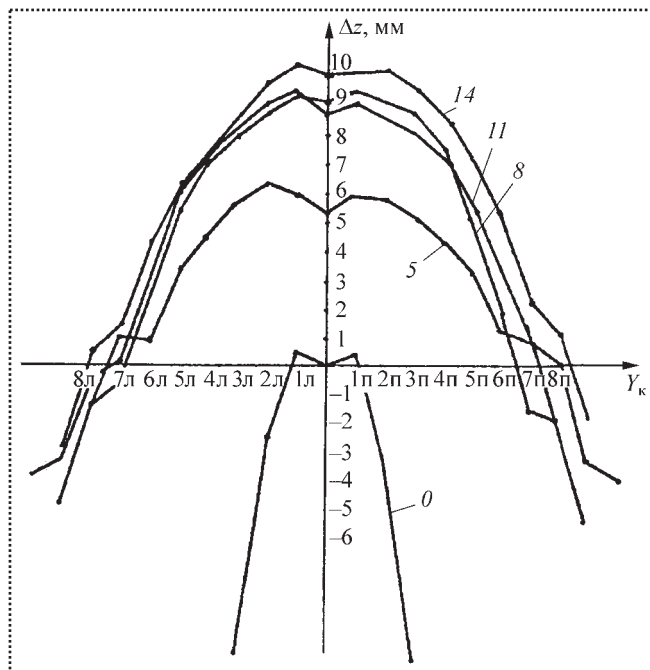


Рис. 3. Действительные формы поперечных сечений изделия БОР, построенные по результатам измерений НШУ:

0, 5, 8, 11, 14 – номера шпангоутов; на оси Y_k указаны номера продольных сечений изделия; "п" и "л" – правая и левая стороны

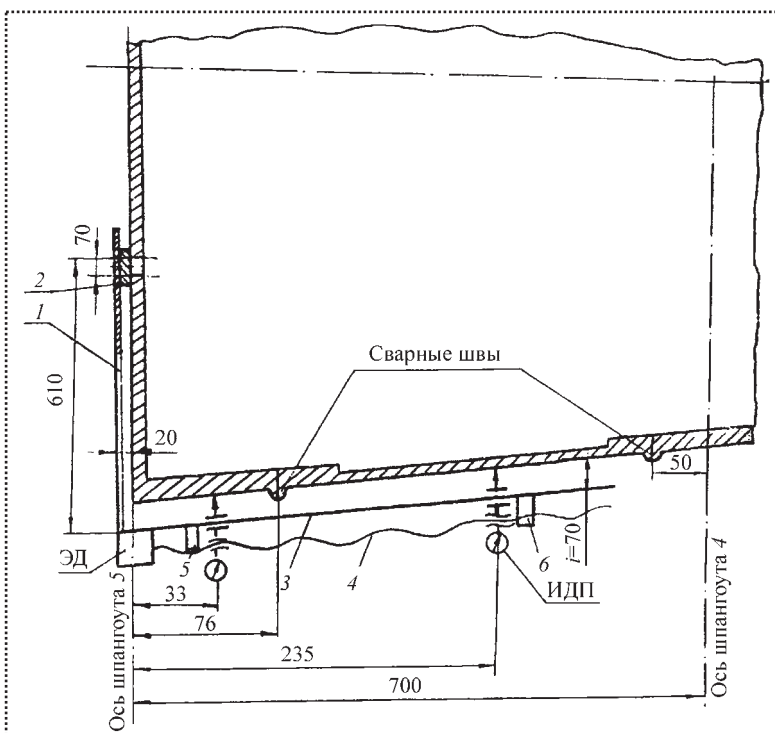


Рис. 4. Схема измерений одноопорным НШУ деформации стенки кабины "Буран" при прочностных испытаниях

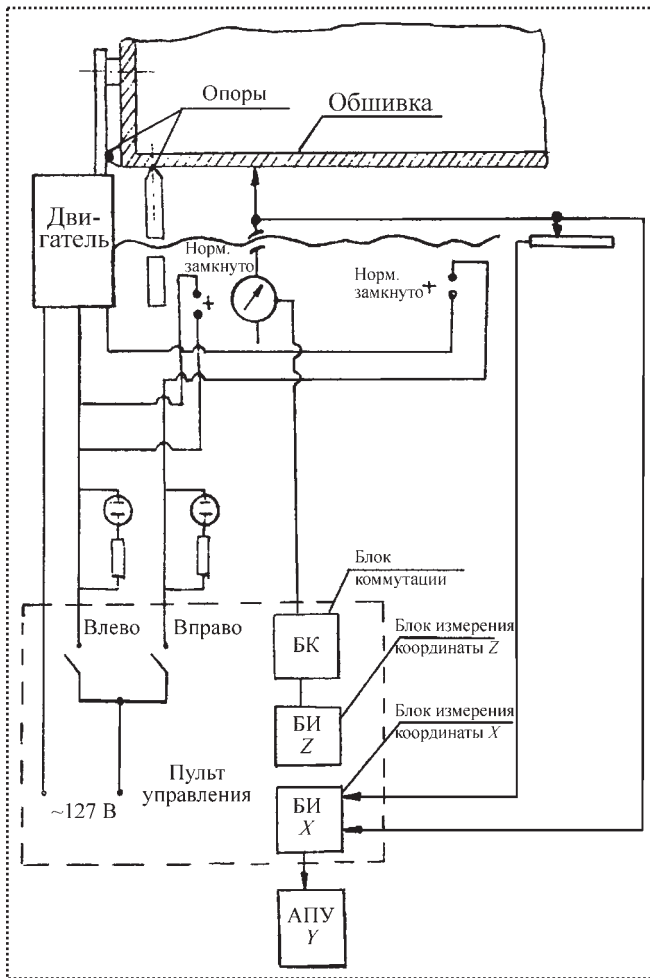


Рис. 5. Схема управления измерительным комплексом на базе одноопорного НШУ при измерениях кабины изделия "Буран"

кладки 2 и резьбового соединения. Направляющая 3 установлена параллельно образующей обвода на расстоянии 70 мм.

Для отсчета положения датчика линейных перемещений ДП-20 по длине штанги на ней, рядом с электродвигателем, установлен тросовый датчик больших линейных перемещений, который соединен тросом через барабан с кареткой датчика линейных перемещений.

Электродвигатель, тросовый датчик, концевые выключатели и датчик ИДП электрически связаны через пульт управления с информационной системой считывания и переработки

информации. Пульт управления состоит из кнопочного переключателя перемещения каретки ИДП, блока коммутации ЦТ М-5, блоков измерений координат Z, X и АЦПУ.

Структурная схема управления и переработки информации измерительного комплекса представлена на рис. 5. Измерения проводили дискретно по точкам 0, 1, 2, ..., 10 с шагом 28 мм, который выдерживали интервалом времени работы двигателя перемещения каретки ИДП: для точек 1, 2, 7, 8, 9, 10 $\Delta t = 1$ мин, для точек 3, 4, 5, 6 – 30 с. Конечные перемещения ИДП в точках 0 и 10 фиксировались автоматически при срабатывании концевых выключателей 6 (см. рис. 4).

Результаты измерений печатались на АЦПУ и затем заносились в таблицу для обработки. При этом определялись абсолютные и среднеарифметические значения $\Delta_{\text{ср}}$ отклонений точек поверхности обшивки при нагружении с $p_{\text{изб}} = 0; 10; 20; 30$ кПа. По цифровым данным построены зависимости $\Delta_{\text{ср}} = F(L)$, где L – измеряемая длина для всех случаев нагружения (рис. 6).

Таким образом, проведенные с помощью одноопорного накладного шагового устройства измерения линейных деформаций обшивки изделия дали возможность оценить их величины, получить зависимость $\Delta_{\text{ср}} = F(L)$ при раз-

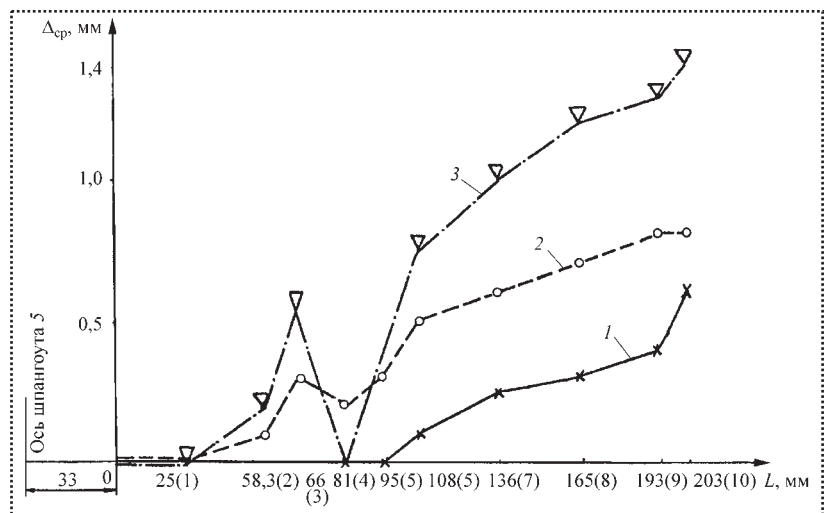


Рис. 6. Результаты измерений деформаций передней стенки кабины изделия "Буран" при испытаниях с $p_{\text{изб}} = 10$ (1), 20 (2) и 30 кПа (3); в скобках по оси абсцисс указаны номера точек измерения



личных циклах нагружения и сравнить их с результатами измерений перемещений стенки и напряжений в обшивке.

Выводы

Измерительный комплекс на основе одноопорного накладного шагового устройства с дистанционным управлением обеспечивает надежный и стабильный съем отсчетов с погрешностью не более $\pm 0,05$ мм.

Линейные деформации обшивки изделия в радиальном направлении на длине 0 – 230 мм от торца кабины (шпангоут 5) увеличиваются с изменением $p_{изб}$ от нуля до 30 кПа.

На расстоянии 86 – 108 мм от шпангоута 5 наблюдаются резкие перепады деформаций до 0,07 мм вследствие наличия в этом месте сварного шва и утонения обшивки с 6,6 до 2 мм,

что может привести к критическим напряжениям в обшивке.

Наибольшие перемещения гермоднища на длине 500 мм от торца шпангоута 5 составляют 3,15; 1,7 и 1,35 мм при значении $p_{изб}$, равном соответственно 30, 20 и 10 кПа.

При прохождении полного цикла нагружения кабины остаточные деформации в местах измерений имеют допустимые для эксперимента значения (до 4 % измеряемой величины).

Библиографический список

1. Мельников В.П. Автоматизация прочностного эксперимента с помощью накладных шаговых устройств. Сборник докладов симпозиума "Автоматизация прочностных испытаний". – Новосибирск: СИБНИА, 1987. С. 87–91.
2. Мельников В.П. Теория накладных шаговых систем. – М.: Издательство МАИ-ПРИНТ, 2009. 344 с.
3. Серьезнов А.Н. Измерения при испытаниях авиационных конструкций на прочность. – М.: "Машиностроение", 1976. 224 с.

УДК 621.43.001.573

А.А. Макушин, Е.В. Зубков, канд-ты техн. наук,
А.Н. Илюхин (Камская государственная инженерно-экономическая академия),
 E-mail: alma9494@mail.ru,
 тел. 8(927)671-66-69

Управление системой испытания двигателей на основе математической модели

Проведена декомпозиция процесса управления автоматизированными стендами испытания двигателей внутреннего сгорания (ДВС) на основе нечеткой логики. Предложена схема управления регулятором топливного насоса высокого давления. Построена структурная схема автоматизированной системы управления ДВС на основе нечеткой логики.

The computer-aided explosion engines test bench control proceses decomposition was executed. The controlling scheme of Fuel Booster Pump regulator was proposed. The structure scheme of computer-aided explosion engine control system on the basic of fuzzy logic was developed.

Ключевые слова: испытания, образ, система, модель, характеристика, нечеткая логика, эксперимент, нагрузка, управление.

Key words: tests, imitation an image, system, model, the characteristic, fuzzy logic, experiment, loading, control.

На всех стадиях жизненного цикла двигатели подвергаются различного рода испытаниям,

объем и трудоемкость которых, как показывает практика, непрерывно возрастают. И это вполне объяснимо: улучшить их параметры можно лишь при тщательном изучении происходящих в них процессов, так как легкодоступные резервы совершенствования их конструкции уже практически исчерпаны.

Однако такое скрупулезное изучение возможно только с помощью математического моделирования. Именно оно позволяет проанализировать протекание отдельных рабочих процессов и всего рабочего цикла, прогнозировать основные показатели и свойства двигателя, представляющие интерес для целей конкретного исследования. Причем делать все это желательно с помощью автоматизированной системы испытаний (АСИ).

Однако здесь есть определенные проблемы. Главная из них — сложность создания программного обеспечения для АСИ. Дело в том, что системы испытаний функционируют в реальном масштабе времени, следовательно, имеют временные ограничения на реакцию и обработку разнообразных входных сигналов и ситуаций.

Во-вторых, такие системы должны одновременно реализовывать различные циклограммы управления агрегатами объекта испытаний (двигателя) и стендового оборудования, например, воздействовать на управляющие частотой вращения коленчатого вала исполнительные механизмы, регулирующие температуру охлаждающей жидкости, масла и т.д.

В-третьих, программный комплекс АСИ должен обеспечивать выполнение достаточно большого числа разнообразных исследовательских, доводочных и серийных испытаний многих типов и модификаций ДВС. Наконец, если АСИ задать режимы испытаний в виде требуемых характеристик, которыми в нашем случае являются выходные параметры двигателя, то она сама должна выработать управляющие воздействия [1].

Как видно, требований, предъявляемых к АСИ ДВС, достаточно много. При этом во время испытания необходимо учитывать большое число различных параметров, что приводит к усложнению модели двигателя, составление и расчет которой является довольно сложной процедурой. В этом случае особый интерес вызывают системы, построенные на новых, интеллектуальных принципах, позволяющих на основе экспериментальных данных получить модель двигателя, которая учитывает все необходимые характеристики. В этих системах использованы наработки таких направлений искусственного интеллекта, как нечеткая логика, экспертные системы, генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети.

Декомпозиция процесса управления. Целесообразность применения нечеткой логики распространяется на объекты, которые характеризуются большим числом неопределенно-

стей, например, неточность информации, поступающей с датчиков, или неточность модели объектов контроля. Результаты построения имитационной модели будут считаться адекватными, если они попадают в заданный интервал значений. Применение нечеткой логики в моделировании работы объектов позволяет оценить совокупное влияние каждого параметра на конечный итог вычислений, а в случае применения других методов происходит пренебрежение неосновными параметрами, что приводит к ошибочному результату.

Процесс создания испытаний ДВС на основе нечеткой логики представляет собой последовательность этапов, представленных на рис. 1.

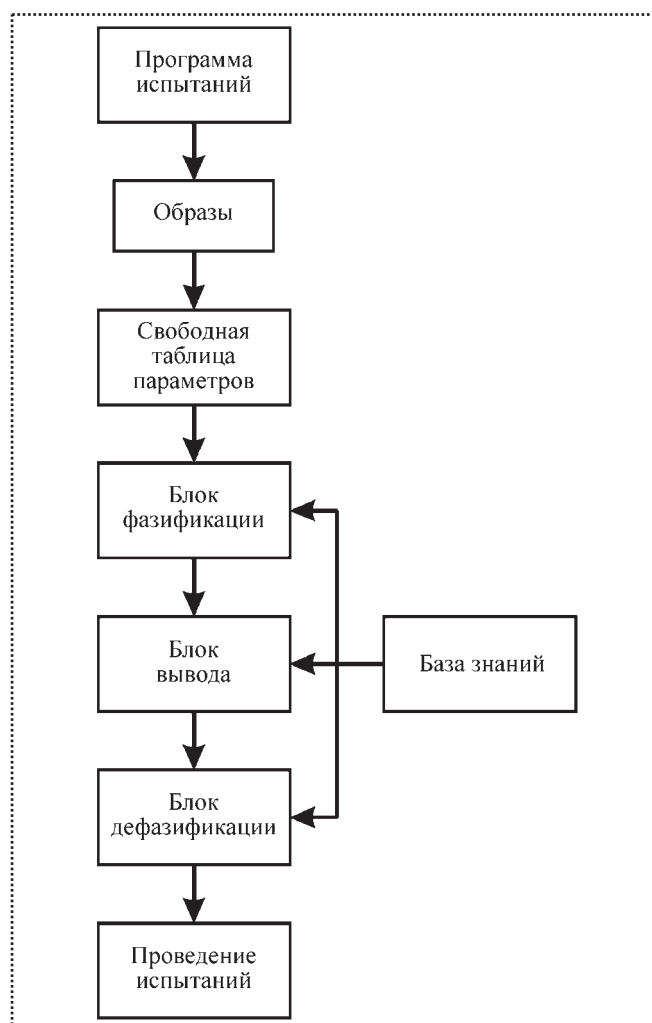


Рис. 1. Блок-схема создания системы испытаний двигателей

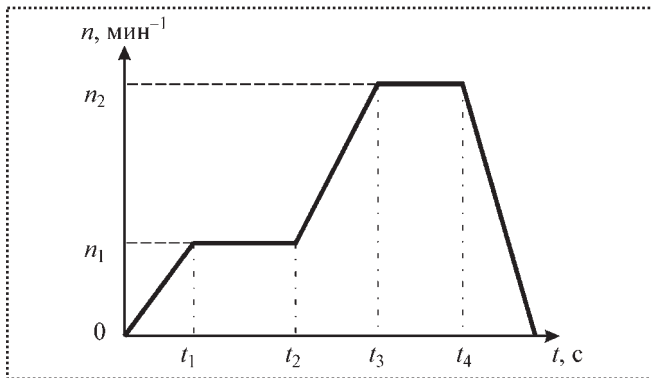


Рис. 2. Образ испытаний по частоте вращения двигателя

Верхний уровень представляет собой программу испытаний [2]. Ее разрабатывает технолог с учетом интересующих его параметров двигателя. При создании программы испытаний используется обратная задача, при этом технологю необходимо задать характеристики двигателя, которые он хотел бы получить на выходе, а АСИ ДВС сама подберет оптимальные параметры управления для реализации данных режимов.

На следующем этапе производится представление данной программы испытаний в виде образов. Образ – это последовательность изменяющихся режимов, каждый из которых можно представить в виде отрезка, проекция которого на ось абсцисс соответствует времени выполнения режима, а проекция на ось ординат характеризует изменение измеряемого параметра за этот интервал времени.

Пример образа изменений работы по частоте вращения двигателя представлен на рис. 2.

При создании образа используется когнитивная графика, позволяющая технологю само-

му задавать режимы работы двигателя, не прибегая к помощи программистов. К достоинствам когнитивной графики также относится наглядность, благодаря которой технологю лучше представить проводимые испытания и уже на этапе их проектирования исключить ошибки.

Использование графического представления данных удобно для человека, а для машины предпочтительны числовые данные. Поэтому на следующем этапе образы преобразуются в сводную таблицу параметров. Для этого все время проведения испытаний разбивается на интервалы времени t_{\min} , на которых будет производиться управление ДВС. Выбор этого значения должен быть как можно меньше, так как это ведет к увеличению точности управления и исключению аварийных режимов, но при уменьшении интервалов требуется увеличение ресурсов вычислительной техники. На основании этих величин определяется количество S точек управления во время проведения испытаний:

$$S = t_{is} / t_{\min},$$

где t_{is} – общее время испытания.

Затем для каждого промежутка времени определяются величины измеряемых параметров $A_{1i}, A_{2i}, A_{3i}, \dots, A_{mi}$, где A_i – значения параметра в определенный момент времени, которые получаются из соответствующих m образов. Эти данные сохраняются в сводной таблице параметров (табл. 1).

На следующем этапе проводят фазификацию, т.е. преобразование четких значений входных переменных A_i в нечеткие B_i .

1. Сводная таблица параметров

Точки	Время испытаний	Образ 1	Образ 2	Образ 3	...	Образ m
1	$t = 0$	A_{11}	A_{21}	A_{31}	...	A_{m1}
2	$t = t_{\min}$	A_{12}	A_{22}	A_{32}	...	A_{m2}
3	$t = t + t_{\min}$	A_{13}	A_{23}	A_{33}	...	A_{m3}
...
S	t_{is}	A_{1s}	A_{2s}	A_{3s}	...	A_{ms}



Система нечеткого управления основывается на значениях параметров, которые может реализовывать объект управления. Они называются множеством базовых значений объектных переменных и обозначаются $X = \{x\}$, где X – совокупность точек, обозначаемых через x .

Тогда нечеткое множество A , определенное на X , есть совокупность пар

$$A = \{x, \mu_A(x)\}, \quad x \in X,$$

где $\mu_A(x)$ – представляет собой степень принадлежности x к A .

В любой ситуации признак объекта проблемной области имеет одно и только одно четкое значение из согласованного множества базовых и одно или более чем одно нечеткое значение из соответствующего множества нечетких значений. Интуитивное отношение между базовым и нечетким значениями объектной переменной выражается более точно, а значит, и количественно с помощью функции

принадлежности μ . Функция $\mu(x, T)$ отображает базовое значение x и нечеткое значение T в интервале $[0; 1]$. По определению $0 < \mu(x, T) < 1$ для x и T [3].

Такое преобразование фактически является своего рода нормированием, необходимым для перевода заданных данных в субъективные оценки. Итогом работы на этом этапе – преобразованная сводная таблица параметров, в которой вместо четких значений приведены нечеткие метки. В общем виде результат данного этапа представлен в табл. 2.

Следующий этап – формирование в блоке вывода приближенного нечеткого результата. Для этого применяются нечеткие правила, хранящиеся в базе знаний нечеткой логики. На основе этих правил формируется таблица нечеткого управления (табл. 3).

Затем проводят этап дефазификации, под которой понимают процедуру преобразования нечетких величин, получаемых в результате

2. Входные нечеткие метки

Точки	Время испытаний	Нечеткие метки				
		образа 1	образа 2	образа 3	...	образа m
1	$t = 0$	B_{11}	B_{21}	B_{31}	...	B_{m1}
2	$t = t_{\min}$	B_{12}	B_{22}	B_{32}	...	B_{m2}
3	$t = t + t_{\min}$	B_{13}	B_{23}	B_{33}	...	B_{m3}
...
S	t_{is}	B_{1s}	B_{2s}	B_{3s}	...	B_{ms}

3. Выходные нечеткие метки

Точки	Время испытаний	Нечеткие метки				
		образа 1	образа 2	образа 3	...	образа k
1	$t = 0$	C_{11}	C_{21}	C_{31}	...	C_{m1}
2	$t = t_{\min}$	C_{12}	C_{22}	C_{32}	...	C_{m2}
3	$t = t + t_{\min}$	C_{13}	C_{23}	C_{33}	...	C_{m3}
...
S	t_{is}	C_{1s}	C_{2s}	C_{3s}	...	C_{ms}



4. Управляющие параметры

Точки	Время испытаний	Четкие значения				
		управления 1	управления 2	управления 3	...	управления j
1	$t = 0$	f_{11}	f_{21}	f_{31}	...	f_{k1}
2	$t = t_{\min}$	f_{12}	f_{22}	f_{32}	...	f_{k2}
3	$t = t + t_{\min}$	f_{13}	f_{23}	f_{33}	...	f_{k3}
...
S	t_{is}	f_{1s}	f_{2s}	f_{3s}	...	f_{ks}

нечеткого вывода, в четкие, на основе которых можно проводить испытания двигателя. Результат данного этапа представлен в табл. 4.

Заключительный этап – проведение испытаний на основе полученных управляющих воздействий.

Регулятор топливного насоса высокого давления (ТНВД). Основным органом управления двигателем является регулятор положения рейки ТНВД, функционирующий при помощи специального устройства (рис. 3). Оно содержит шаговый двигатель 1, винт 2, гайку 3, металлический трос 4, регулировочный болт 5, регулятор ТНВД 6, ограничители движения регулятора 7.

Управление частотой вращения дизеля реализуется следующим образом. При подаче управляющего воздействия шаговый двигатель 1 вращает закрепленный на его валу винт 2, который перемещает гайку 3, посредством троса 4 соединенную с болтом 5. Болт вкручивается в паз регулятора ТНВД 6, который мо-

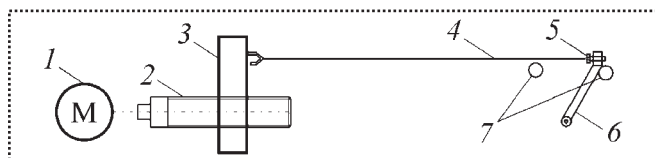


Рис. 3. Кинематическая схема регулятора:

- 1 – шаговый двигатель;
- 2 – винт;
- 3 – гайка;
- 4 – металлический трос;
- 5 – регулировочный болт;
- 6 – регулятор ТНВД;
- 7 – ограничители движения регулятора

жет перемещаться между двумя ограничителями 7. Перемещение гайки вдоль оси приводит к изменению положения регулятора ТНВД, который управляет количеством поступающего к двигателю топлива и, соответственно, изменяет частоту вращения его вала.

Реверс шагового двигателя производится путем изменения последовательности коммутации токов в обмотках, приводящего к изменению направления вращения магнитного поля на обратное.

Перемещение рейки за один шаг шагового двигателя можно определить, зная шаг резьбы и шагового двигателя, по формуле:

$$h = \frac{PB}{360},$$

где h – перемещение регулятора ТНВД за один шаг двигателя;

P – шаг резьбы;

B – полный шаг двигателя.

Количество шагов двигателя для заданного перемещения рейки вычислим по формуле

$$N = \frac{L}{h},$$

где L – заданное перемещение рейки.

Структурная схема управления ДВС. Систему управления ДВС на основе нечеткой логики можно представить в виде совокупности блоков, изображенных на рис. 4.

В блоке создания образов испытания пользователь создает последовательность изменения параметров во времени, которые записы-

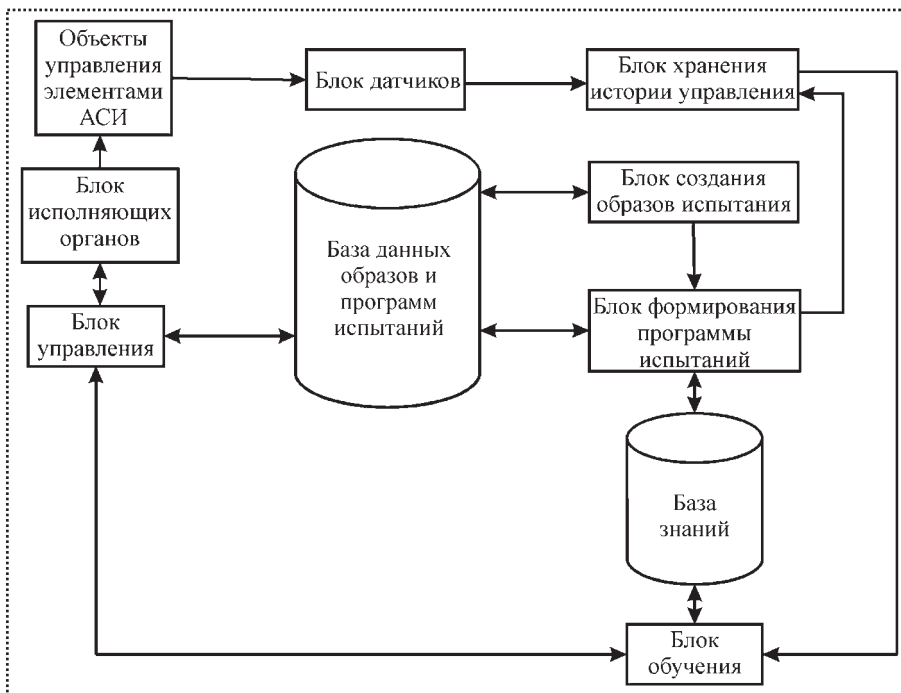


Рис. 4. Структурная схема АСИ ДВС

ваются в блок "база данных образов и программ испытаний". В этой многоуровневой базе данных происходит последовательное преобразование входных образов в управляющие воздействия посредством нечеткого контроллера, который расположен в блоке "формирование программы испытаний". Для получения выходных величин нечеткий контроллер использует нечеткие правила, расположенные в блоке "база знаний" [4].

В результате формируется последовательность управляющих параметров, которая сохраняется в "базе данных образов и программ испытаний". На основе полученных данных "блок управления" обеспечивает проведение испытаний, в процессе которых "блок датчиков" выдает информацию о текущем положении объекта. Все эти данные сохраняются в блоке "хранение информации".

"Блок обучения" может управлять "блоком управления" и получать информацию с датчи-

ков в режиме обратной связи. Это необходимо для того, чтобы заполнить базу знаний, на основе которой формируются управляющие правила. Эти правила также могут создаваться или корректироваться на основе информации, которая поступает с "блока хранения истории управления" на блок обучения.

Выводы

Рассмотрен метод построения АСИ ДВС на основе нечеткой логики, позволяющий автоматизированно создавать модель управления и увеличивать точность управления за счет анализа предыдущих испытаний.

Предложенная схема управления регулятором ТНВД позволяет перемещать его с высокой точностью за счет применения шагового двигателя и передачи винт – гайка, а также снизить расхождение между вибрациями ДВС и устройства за счет использования гибкого троса.

Библиографический список

1. Зубков Е.В., Макушин А.А., Бахвалова В.С. Моделирование режимов работы ДВС с целью получения их переходных характеристик // Автомобильная промышленность, 2009. № 5. С. 37–39.
2. Биктимиров Р.Л., Садыков И.Х., Хайруллин А.Х. Математическое обеспечение автоматизированных систем исследований и испытаний двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1995. 256 с.
3. Ярушкина Н.Г. Основы нечетких и гибридных систем: Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2004. 320 с.
4. Зубков Е.В., Макушин А.А., Илюхин А.Н. Правила, функции и схемы формирования моделей режимов испытаний автотракторных ДВС // Тракторы и сельхозмашины. 2009, № 5. С. 17–20.

УДК 621.881

Хасан Аль-Даббас, аспирант (РУДН, Москва)
E-mail: engdabbas@engineer.com

Эксцентриковый инструментальный зажимной патрон

Приведены результаты испытаний эксцентриковых инструментальных зажимных патронов дрелей. Наличие двух кинематических цепей повышает надежность и жесткость закрепления при установке инструмента с цилиндрическим хвостовиком.

The results of the study eccentric tool clamping chuck of drills is described. The existence of two kinematics chains makes it possible to obtain high reliability and cruelty of clamping of mounting with a cylindrical shank.

Ключевые слова: эксцентриковый инструментальный зажимной патрон, радиальная сила зажима, жесткость, дрель.

Key words: eccentric tool clamping chuck, radial clamping force, clamping stiffness, drill.

Конструкция патрона обеспечивает быструю замену инструмента, точность, долговечность, а также надежный зажим от руки или ключа по принципу самоторможения.

По требованию заказчика эксцентриковые патроны могут быть выполнены с различным соединением со шпинделем: внутренним или наружным конусом Морзе, резьбой, наружным несамотормозящим конусом 7:24 и др.

Эксцентриковые инструментальные зажимные патроны отличаются от известных аналогов [1, 2] принципом действия (две кинематические цепи), малыми массой и габаритными размерами, прочностью конструкции, состоящей из пяти деталей, и имеют следующие достоинства:

- быстрый и легкий зажим-разжим от руки или с помощью простого ключа с наружным шестигранником;

- удобство и надежность работы при левом и правом вращении зажимаемого инструмента;

- широкий диапазон зажимаемых инструментов (практически от нуля до максимального диаметра патрона);

- точность и жесткость зажима инструмента;

- простота изготовления деталей патрона, кроме кулачков ("ноу-хау"), механической обработкой на металлорежущих станках, точным литьем, штамповкой (горячей, холодной), калиброванием, прессованием или спеканием порошков и т.п.;

- работа на высоких частотах вращения (в 2–3 раза выше, чем у аналогов);

- простота сборки-разборки и технического обслуживания;

- высокая долговечность и возможность быстрой замены изношенных деталей;

- возможность обработки труднодоступных мест благодаря малым габаритам и острому коническому переднему концу, плавно переходящему от корпуса к кулачку, а от него к инструменту;

- модульный принцип конструирования, позволяющий из ограниченного набора деталей собирать патроны с разной присоединительной частью;

- широкая универсальность и неограниченная область применения (на производстве и в быту).

Эксцентриковые инструментальные зажимные патроны с двумя и более кинематическими цепями обеспечивают наилучшие технико-экономические показатели [3, 4], что подтверждается результатами экспериментальных исследований патронов с двумя кинематическими цепями "клин – эксцентриковый кулачок" и усилительным звеном от дополнительного эксцентрика с цилиндрической образующей (рис. 1).

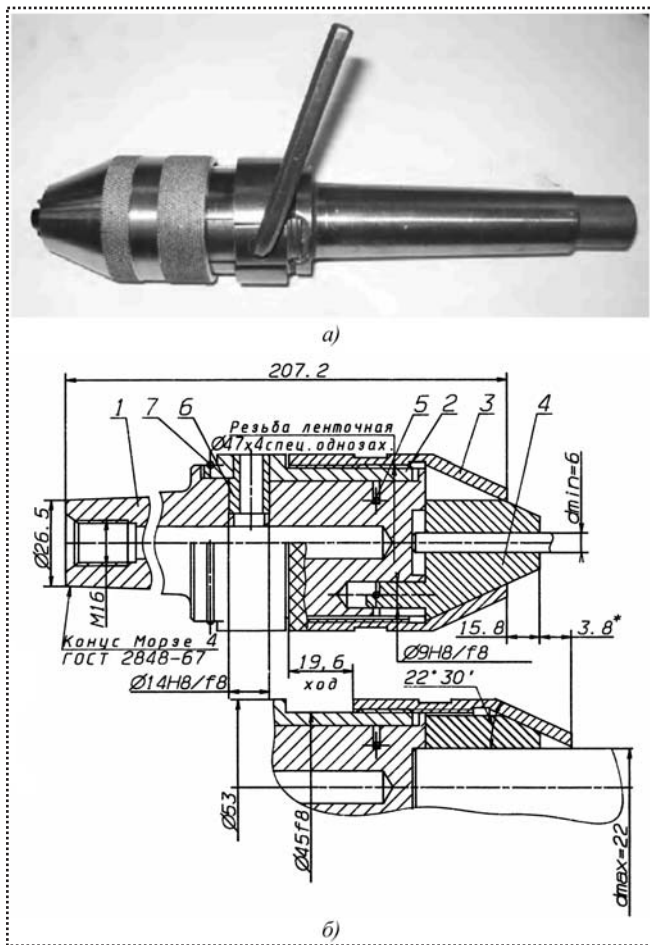


Рис. 1. Широкодиапазонный эксцентриковый сверильно-фрезерный патрон с ключом типа ЭФПК-22:
 а – общий вид;
 б – конструкция

В корпусе 1 патрона (рис. 1, б) установлены три эксцентриковых зажимных кулачка 4 с возможностью их поворота относительно цилиндрических ползунов, равномерно расположенных по окружности и подпружиненных кольцевой пружиной 5 с отогнутыми концами, установленной в цилиндрической канавке корпуса 1.

Резьбовая гайка 3, коническое отверстие которой имеет угол $\alpha = 22^\circ 30'$, навинчивается на три резьбовые вставки 2, размещенные в продольных пазах корпуса и связанные с ним через эксцентрики 6, число которых соответствует числу вставок 2, удерживаемых в конусе разрезным стопорным кольцом 7.

Патрон работает в два этапа:

– выборка зазора между эксцентриковыми зажимными кулачками 4 и цилиндрическим хвостовиком инструмента с предварительным зажимом при повороте резьбовой гайки 3;

– окончательный зажим инструмента за счет натяга, создаваемого поворотом ключа, например, шестигранного, одного или трех эксцентриков 6, которые дополнительно затягивают конусную втулку 3 для получения необходимого усилия зажима.

Для определения суммарной радиальной силы T_Σ зажима тремя кулачками применяли цанговый динамометр [2], протарированный в тисках (рис. 2).

Для имитации окружной силы P , приложенной к ключу, использовали гири-диски (рис. 3) весом по 10 Н.

Эксперимент при каждом значении силы повторяли трижды и рассчитывали среднее значение. Результаты исследования силовой характеристики патрона показали (рис. 4), что средний коэффициент усиления патрона типа ЭФПК-22 составляет $k_{\Pi} = \frac{T_\Sigma}{P} \approx 100$, что облегчает работу при ручном зажиме.

Радиальную жесткость патрона определяли при нагружении на вылете 58 мм зажатых оправок диаметрами 10, 15, 20 мм с помощью нагрузочного устройства через динамометр сжатия камертонного типа (рис. 5, а) и замером

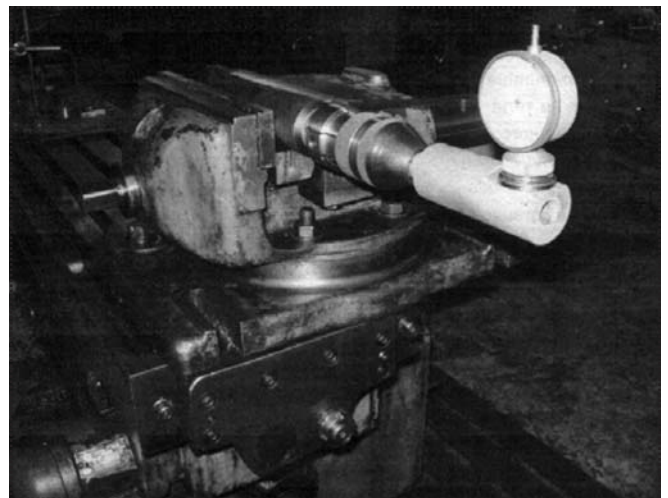


Рис. 2. Тарировка цангового динамометра

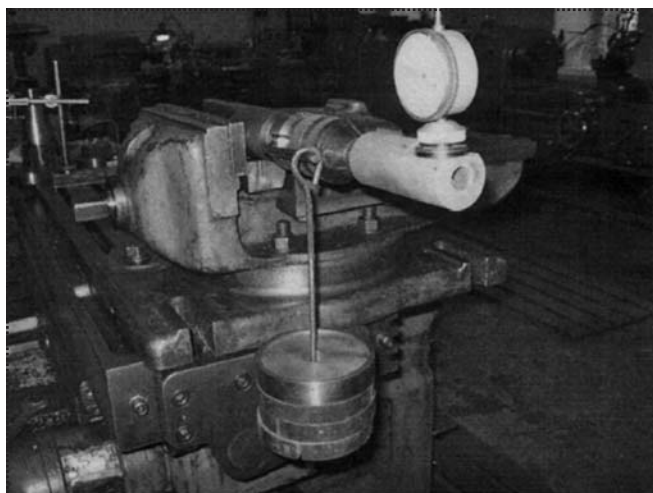


Рис. 3. Приспособление с гирями-навесками для создания окружной силы P

отжатый с помощью индикатора с ценой деления 0,01 мм.

Анализ результатов экспериментальных исследований жесткостных характеристик патрона показал (рис. 5, б), что с увеличением диаметра хвостовика инструмента D и суммарной радиальной силы зажима T_{Σ} радиальная жесткость повышается. Так, например, при

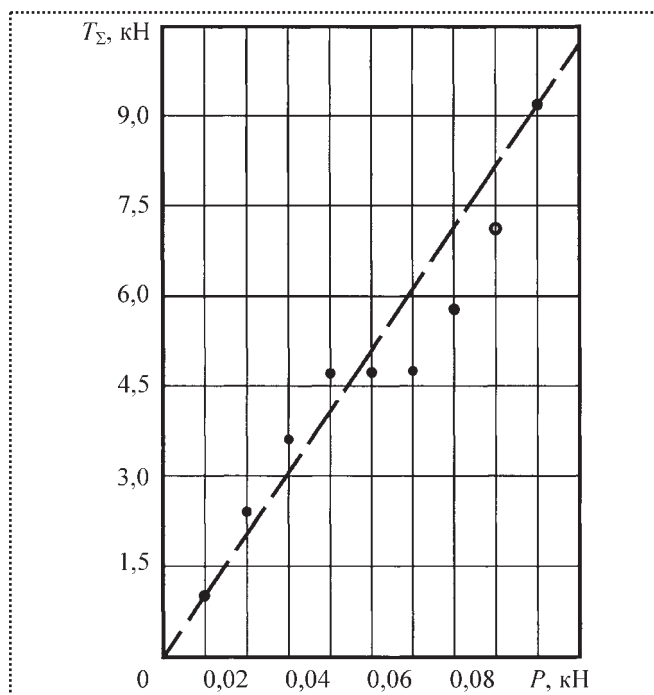
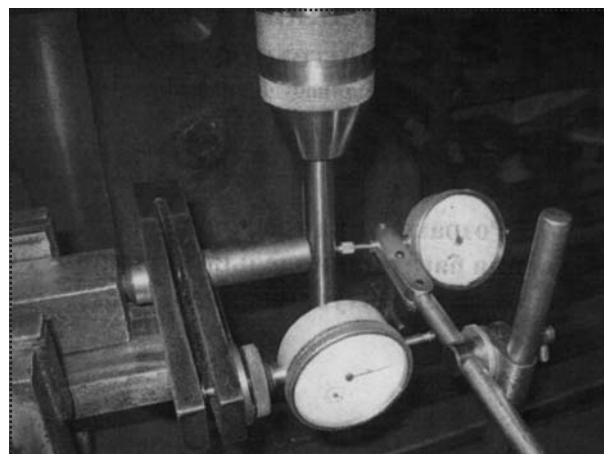
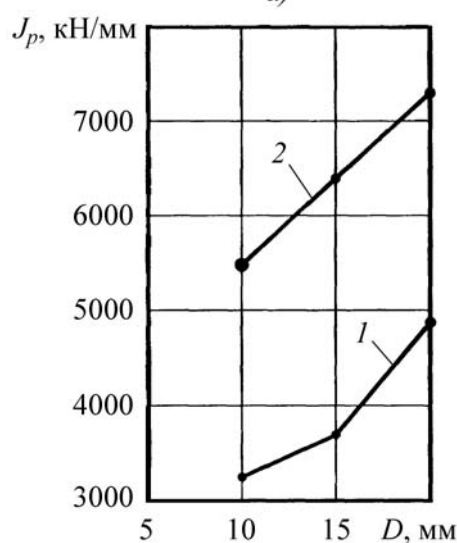


Рис. 4. График зависимости суммарной радиальной силы зажима T_{Σ} от приложенной к ключу окружной силы P



а)



б)

Рис. 5. Замер радиальных отжатый оправки, зажатой в патроне типа ЭФПК-22 (а), и график зависимости радиальной жесткости системы "оправка – патрон – шпиндель" на вылете 58 мм от диаметра D оправки (инструмента) при суммарной силе зажима T_{Σ} :

1 – 3,86 кН;
2 – 6,18 кН

увеличении диаметра в 2 раза (от 10 до 20 мм) при $T_{\Sigma} = 6,18$ кН радиальная жесткость возрастает на 33 %, а с повышением силы зажима примерно в 1,6 раза для диаметра $D = 10$ мм – на 70 %, $D = 20$ мм – на 52 %. Это свидетельствует о необходимости увеличения силы зажима инструмента при работе на повышенных режимах резания.

Испытания патрона подтвердили его устойчивую работу при фрезеровании заготовки из



стали 45 со скоростью до 120 м/мин, подачи до 0,1 мм/зуб фрезой $\varnothing 12$ (материал – сталь Р6М5) на глубину до 10 мм.

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработана гамма эксцентриковых инструментальных зажимных патронов и проект ТУ для их специализированного производства.

Библиографический список

1. Принцип створення інструментальних прецизійних затискних патронів для високошвидкісної обробки / Кузнецов Ю.М., Гуменюк О.Л., Рудковський А.М., Хасан Аль-Даббас // Зб. Наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. – Кіровоград, 2006, № 17. С. 134–141.

2. **Самонастраивающиеся** зажимные механизмы: Справочник / Ю.Н. Кузнецов, А.А. Вачев, С.П. Сяров, А.Й. Цървенков; под ред. Ю.Н. Кузнецова. – К.: Техника; София: Гос. изд-во “Техника”, 1988. 222 с.

3. **Кузнецов Ю.Н., Неделчева П.М., Хасан Аль-Даббас.** Исследване на силовите характеристики на эксцентрик пробивен патронник // Труды международной научно-технической конференции UNITECH '06, 2006, т. 2. С. 125–131.

4. **Кузнецов Ю.Н., Хасан Аль-Даббас, Неделчева П.М.** Компьютерно моделиране и изследване основните характеристики на эксцентрик пробивно-фрезов патронник // Машины, технологии, материалы, № 2–3, 2007, София (Болгария). С. 35–38.

5. **Кузнецов Ю.Н., Неделчева П.М., Хасан Аль-Даббас.** Системно-морфологический подход при синтезе широкодиапазонных эксцентриковых сверлильно-фрезерных патронов // Известия на Техническая университет – Габрово, т. 33, 2006. С. 3–8.

◆◆◆
А.Р. Маслов, д-р техн. наук, проф. кафедры
"Высокоэффективные технологии обработки" МГТУ "Станкин"
E-mail: volsama@yandex.ru

Условия многократной установки инструмента посредством термической деформации

Приведено аналитическое определение условий, при которых возможно многократно собирать и разбирать комплект из вспомогательного и режущего инструментов, соединяемых по цилиндрической посадке с натягом, полученной способом термической деформации.

Provides analytical determination of the conditions under which you may be repeatedly collect and disassemble the set of clamping and cutting tool bundled on cylindrical landing permits obtained way thermal deformation.

Ключевые слова: комплект, режущий, вспомогательный, инструмент, втулка, сборка, многократный.

Key words: kit, cutting, clamping, tool, sleeve, assembly, multiple.

Концевые твердосплавные фрезы с цилиндрическими хвостовиками диаметром 3...32 мм с допусками по Н6 используют для изготовления пресс-форм и штампов из закаленных стальных заготовок и деталей из легких сплавов на пятикоординатных станках с ЧПУ с большими скоростями резания (400...3000 м/мин).

При малых величинах подач (менее 0,005 мм/зуб) предъявляются высокие требования к точности закрепления фрез (биение – 0,003...0,005 мм). Из-за больших частот вращения (до 30 000 мин⁻¹) необходимо, чтобы собранные комплекты инструмента имели малый остаточный дисбаланс (класс точности балансировки – G 6,3).

Этим требованиям наиболее полно отвечает вспомогательный инструмент в виде втулки, обеспечивающий закрепление фрез посредством термических деформаций [1].

Соединение цилиндрического хвостовика фрезы с отверстием втулки по посадке с натягом можно получить путем нагрева зажимной части втулки токами высокой частоты с последующим ее остыванием. Концентрированное магнитное поле, образующееся многовитковым индуктором высотой h_i и изменяющееся с высокой частотой, создает вихревые токи в материале втулки, что обеспечивает при зазоре Δ_1 нагрев узкой зоны шириной l и длиной l_1 зажимной части втулки с толщиной стенки u . Хвостовик 2 закрепляемой фрезы вставляется в расширенное от нагревания отверстие зажимной части втулки 1 (рис. 1).

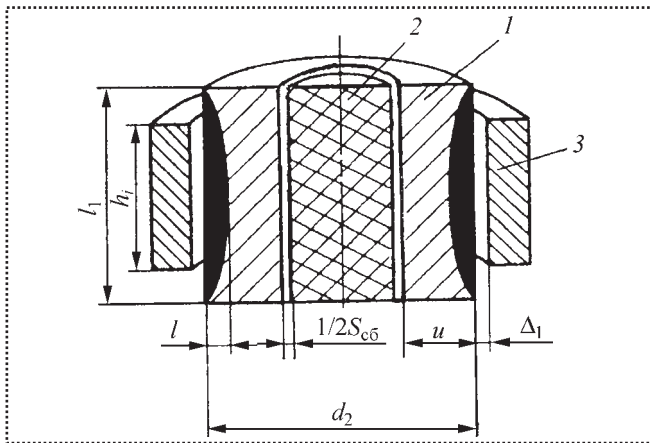


Рис. 1. Основные элементы соединения после нагрева: 1 – втулка; 2 – фреза; 3 – нагревательный элемент

Для сборки комплекта фреза – втулка необходим минимальный зазор $S_{сб}$. Для этого втулка должна быть нагрета до температуры t_{d_2} , °C:

$$S_{сб} = \alpha_2 d_2 (t_{d_2} - t_{сб}) - N_{max}, \quad (1)$$

где α_2 – коэффициент линейного расширения материала втулки при нагреве, $1/^\circ\text{C}$; d_2 – наружный диаметр зажимной части втулки, м; $t_{сб}$ – температура в помещении сборки, °C; N_{max} – максимально допустимый натяг, м.

При охлаждении до комнатной температуры диаметр отверстия втулки возвращается к первоначальному размеру, при этом возникают контактные давления p (рис. 2).

Исходя из условия многократной сборки-разборки возникающие деформации должны быть упругими и не переходить в область упругопластических. Поэтому натяг N_{max} необходимо ограничить величиной, при которой еще отсутствуют пластические деформации.

Максимально допустимое удельное контактное давление $[p_{max}]$, при котором еще отсутствует пластическая деформация отверстия втулки, определяется по формуле [2]:

$$[p_{max}] = 0,58 \sigma_{T2} \left[1 - \left(\frac{d_{nc}}{d_2} \right)^2 \right], \quad (2)$$

где σ_{T2} – предел текучести материала втулки, $\text{H}/\text{м}^2$; d_{nc} – номинальный диаметр соединения, м.

С другой стороны, нужно создать минимальный натяг N_{min} , необходимый для передачи осевой нагрузки R_{oc} и крутящего момента M_k , стремящегося

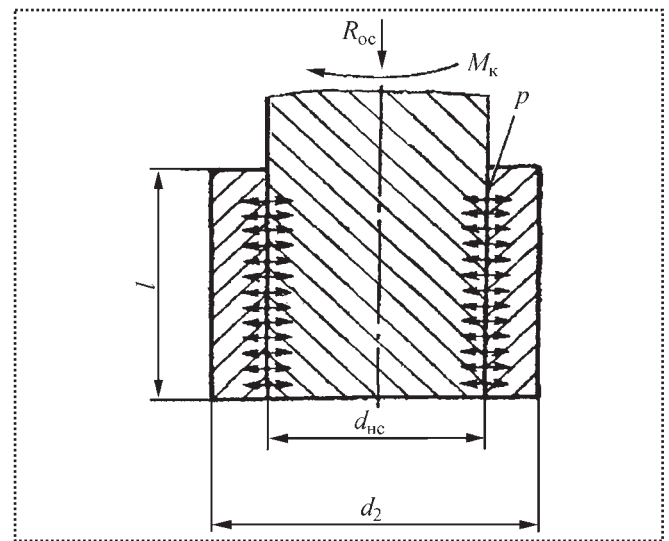


Рис. 2. Соединение с натягом после охлаждения втулки

повернуть фрезу относительно втулки. Для этого требуется удельное контактное давление (в $\text{H}/\text{м}^2$)

$$[p] = \frac{2M_k}{\pi d_{nc}^2 f_{тр}}, \quad (3)$$

где l – длина контакта хвостовика фрезы и отверстия во втулке, м; $f_{тр}$ – коэффициент трения при установившемся процессе распрессовки.

Величина минимального натяга, м:

$$[N_{min}] = [p] d_{nc} \left(\frac{C_2}{E_2} \right) + \gamma_{ш} + \gamma_t + \gamma_{ц}, \quad (4)$$

$$\text{где } C_2 = 1 + \left(\frac{d_{nc}}{d_2} \right)^2 \left/ \left(1 - \left(\frac{d_{nc}}{d_2} \right)^2 \right) \right.;$$

$\gamma_{ш}$ – поправка, учитывающая смятие шероховатостей контактных поверхностей при первичном закреплении:

$$\gamma_{ш} = 1,2(Rz_1 + Rz_2); \quad (5)$$

Rz_1 – высота микронеровностей на поверхности хвостовика фрезы;

Rz_2 – высота микронеровностей в отверстии втулки;

γ_t – поправка, учитывающая различие рабочей температуры $\Delta t_{d_{nc}}$ фрезы и температуры втулки Δt_{d_2} :

$$\gamma_t = d_{nc} (\alpha_1 \Delta t_{d_{nc}} - \alpha_2 \Delta t_{d_2}); \quad (6)$$

α_1 – коэффициент линейного расширения материала фрезы;



$\gamma_{\text{ц}}$ – поправка, учитывающая ослабление натяга под действием центробежных сил при вращении фрезы в сборе с втулкой на станке:

$$\gamma_{\text{ц}} = \frac{v^2 d_{\text{нц}} \rho}{64} \left(\frac{3 + \mu}{E_2} \right); \quad (7)$$

v – окружная скорость на наружной поверхности втулки, м/с;

ρ – плотность материала втулки, Н/м³;

E_2 – модуль упругости материала втулки, ГПа;

$\mu = 0,25 \dots 0,3$ – коэффициент Пуассона.

На основе рассчитанных минимального требуемого и максимального допустимого натягов назначены размеры отверстия во втулке и допуски на них, которые должны быть обеспечены при ее изготовлении.

Верхняя граница поля допуска на отверстие во втулке определяется как разница между минимальным диаметром хвостовика фрезы (за вычетом допуска) и минимальным натягом в соединении после остывания втулки, а нижняя граница – как разница между номинальным диаметром $d_{\text{нц}}$ хвостовика фрезы и величиной зазора $S_{\text{сб}}$ (с учетом поля допуска) в соединении после нагрева втулки.

При назначенных размерах после нагрева втулки до температуры 350...400 °С обеспечивается зазор $S_{\text{сб}}$, необходимый для свободного вставления хвостовика фрезы во втулку, а после остывания – для передачи требуемых крутящих моментов $M_{\text{к}}$ и осевых сил $R_{\text{ос}}$.

Вектор деформации втулки определяли путем расчета термических напряжений на внутренней поверхности ее отверстия (рис. 3) по формулам [3]:

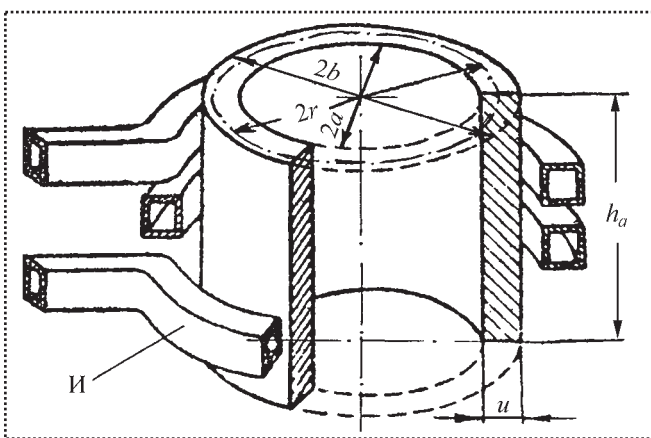


Рис. 3. Определение термических напряжений в отверстии втулки:

И – многовитковый индуктор высотой h_a

$$\sigma_r = \frac{kA}{2} \left(\ln \frac{b}{r} - \frac{a^2}{r^2} \frac{b^2 - r^2}{b^2 - a^2} \ln \frac{b}{a} \right) - \quad (8)$$

$$- \frac{k}{2r^3} \frac{(b^2 - r^2)(r^2 - a^2)}{a^2 + b^2} (C_1 \cos \theta + D_1 \sin \theta);$$

$$\tau_r = - \frac{k}{2r^3} \frac{(b^2 - r^2)(r^2 - a^2)}{a^2 + b^2} (C_3 \sin \theta + D_1 \cos \theta); \quad (9)$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{kA}{2} \left(\ln \frac{b}{r} - \frac{a^2}{r^2} \frac{b^2 + r^2}{b^2 - a^2} \ln \frac{b}{a} \right) - \dots$$

$$\dots - \frac{k}{2r^3} \frac{4a^2 r^2 - (3r^2 - b^2)(r^2 + a^2)}{a^2 + b^2} \times \quad (10)$$

$$\times (C_3 \cos \theta + D_1 \sin \theta),$$

где $k = \frac{E_2}{(1 - \mu)}$, ГПа;

$b = d_2/2$ – радиус наружной зажимной части втулки, м;

$a = d_{\text{нц}}/2$ – радиус внутренней поверхности присоединительного отверстия втулки, м;

r – текущий радиус зажимной части втулки, м;

A – длина окружности с радиусом a , м;

C_1, C_3 и D_1 – константы интегрирования;

θ – угол поворота текущего радиуса r .

В выражениях (8)–(10) вместо текущего радиуса r принимали радиус внутренней поверхности цилиндра a , тогда:

$$\sigma_{\theta=360^\circ}^{r=a} = \pi k a \left[\ln \frac{b}{a} \left(1 + \frac{b^2 + a^2}{b^2 - a^2} \right) + 1 \right] - \frac{k}{a} \frac{b^2 - a^2}{b^2 + a^2}. \quad (11)$$

Расчет тепловых напряжений σ_{θ} на внутренней поверхности присоединительного отверстия втулки для разных соотношений его диаметра $d_{\text{нц}}$ и наружного диаметра d_2 зажимной части втулки показал, что тепловые напряжения не имеют отрицательных значений и во всем диапазоне размеров соответствуют вышеназванным условиям многократной сборки-разборки комплектов инструмента.

Библиографический список

1. Барбанов А.Б. Обоснование наилучшего варианта сборки комплектов инструмента для станков с ЧПУ // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2008. № 9. С. 11–13.
2. Берникер Е.И. Посадки с натягом в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1966. 380 с.
3. Гейтвуд Б.Е. Температурные напряжения. – М.: Иностранная литература, 1959. 342 с.

К 70-летию кафедры "Технология машиностроения" МАМИ

В декабре 2009 года кафедра "Технология машиностроения" им. Ф.С. Демьянюка МГТУ "МАМИ" отмечает свой 70-летний юбилей. Ее первым заведующим был известный ученый, автор учебников по технологии машиностроения и проектированию механосборочных цехов, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки и техники М.Е. Егоров. С 1961 по 1968 год кафедрой руководил д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки и техники, лауреат государственных премий СССР Ф.С. Демьянюк – выдающийся ученый-технолог, крупный организатор автомобильной промышленности, создатель технологических основ поточно-автоматизированного производства. С 1968 по 1974 год кафедру возглавлял д-р техн. наук, проф. В.Д. Клепиков – известный специалист в области зубообработки цилиндрических зубчатых колес. Под его руководством сформировалась группа молодых ученых, которые разработали и внедрили в производство новые методы зубообработки цилиндрических зубчатых колес круговым протягиванием и фрезепротяжками, а также исследовали основные технологические факторы нарезания гипоидных конических колес. В 1980-е годы были продолжены исследования новых методов зубообработки под руководством В.М. Виноградова.

В настоящее время кафедра занимает ведущие позиции по следующим научным направлениям: технологичность конструкций изделий (научный руководитель д-р техн. наук, проф. М.В. Вартанов), САПР технологических процессов сборки агрегатов машин (канд. техн. наук, проф. М.М. Стржемечный), сборка редукторов автомобилей (канд. техн. наук, проф. И.А. Булавин), токарная бескопирная обработка сложнопровильных поверхностей (канд. техн. наук, проф. И.Н. Федоренко), технология создания защитных покрытий (канд. техн. наук, проф. Б.В. Шандров). Разработки кафедры по этим направлениям внедрены на

автомобильных заводах ВАЗ, ГАЗ, ЗИЛ, КААЗ, ЛиАЗ, КамАЗ и других предприятиях, защищены патентами, отмечены медалями и дипломами различных технических выставок.

На кафедре всегда уделялось большое внимание исследованиям процессов шлифования, инициатором которых был д-р техн. наук, проф., лауреат Госпремии СССР Г.Б. Лурье, который возглавлял кафедру с 1954 по 1961 год. Затем его инициативу развил Ф.С. Демьянюк. С конца 1960-х годов начались исследования по сборке агрегатов машин. Они развивались по двум направлениям: одно, связанное с соединением "вал-втулка" и сборкой редукторов автомобилей, возглавил канд. техн. наук, доцент А.В. Воронин, другое – сборка резьбовых соединений – канд. техн. наук, проф. Д.Ф. Брюховец. Работы по сборке проводились совместно с АЗЛК, УАЗ, ВАЗ, в настоящее время – с ЗИЛ, ГАЗ, КамАЗ, КААЗ.

В 1970-е и в начале 1980-х годов на кафедре развивались и другие научные направления: упрочнение деталей машин поверхностным пластическим деформированием (ППД), токарная бескопирная обработка профилейных поверхностей деталей, сборка агрегатов машины, а также исследования процессов хонингования, обработки тонкостенных деталей фрезами с вращающейся режущей кромкой (ВРК) и управления качеством финишных операций абразивной обработки.

Обработка методами ППД – продолжение и развитие работ по алмазному выглаживанию, проводимых под руководством Ф.С. Демьянюка и Ф.В. Гурина. В дальнейшем проф., д-р техн. наук, заслуженный деятель науки В.М. Смелянский создал научную школу по развитию методов ППД, которая получила признание в России и за ее пределами. Был разработан новый подход к технологическому обеспечению эксплуатационной надежности деталей, который базируется не на внешних связях с технологией, а на внутренних процес-



сах упрочнения и разрушения деталей при эксплуатации. Именно такой подход положен в основу теории ППД.

В 1980-е и 1990-е годы на базе работ по изучению ППД под руководством В.М. Смелянского получили развитие исследования электроэрозионного синтеза сверхтвердых и износостойких покрытий и покрытий методом микродугового оксидирования (МДО), а также комбинированных методов обработки, которые проводятся на кафедре до настоящего времени под научным руководством проф., заслуженного работника высшей школы РФ, Б.В. Шандрова. Для подготовки инженерных кадров по технологиям поверхностного упрочнения на кафедре с 1995 года обучают молодых специалистов по специальности "Машины и технология высокоэффективных процессов обработки материалов".

Исследования, связанные с бесконтактным формированием сложных профилей деталей машин, возглавил в 1966 году канд. техн. наук, доцент И.Н. Федоренко, который впервые в мире создал кинематическую схему и станок для бескопирной обработки овально-бочкообразных поршней для автомобильных двигателей. Станок защищен патентами в США, Англии, Франции, Италии, Швейцарии, Австрии, Германии и Японии. В начале 1990-х годов на базе этого направления при кафедре создано научно-производственное предприятие "Автотехнология", которое на коммерческой основе выпускает поршни для высокофорсированных двигателей.

В 1990-е годы под руководством д-ра техн. наук, проф. М.В. Вартанова начаты исследования технологичности конструкции изделий с позиций автоматической сборки и нетрадиционных методов сборки (клеевых соединений,

герметиков, сборки с применением вибрации и роботов). По этому направлению на кафедре защищены кандидатские диссертации (И.Н. Зинина, Ван Хун По, КНР), большой вклад вносят д-ра техн. наук, профессора Л.В. Божкова и А.А. Гусев (МГТУ СТАНКИН).

На кафедре проводится большая работа по совершенствованию учебного процесса, внедрению компьютерной техники, создана лаборатория САПР ТП. Сотрудниками кафедры написано большое число учебников, учебных пособий и монографий. За 70 лет защищено 92 кандидатских и 8 докторских диссертаций, подготовлено более 12 тыс. инженеров, бакалавров и магистров, в том числе целевым назначением для различных регионов России, а также для зарубежных стран (Ирак, КНР, Польша, Молдавия, КНДР, Украина, страны Африки). В настоящее время на кафедре работают 32 преподавателя и 16 сотрудников, среди которых лауреат Ленинской премии СССР, заслуженный деятель науки и техники РФ, д-р техн. наук, профессор Б.М. Базров, лауреат госпремий РФ, д-р техн. наук, проф. Г.Ф. Дзанашвили, д-ра техн. наук, профессора М.В. Вартанов, А.С. Калашников, Л.В. Копылов, Б.П. Саушкин, А.А. Авдиенко, К.И. Авдиенко, профессора М.М. Стржемечный, В.М. Виноградов, В.Н. Балашов, Ю.А. Моргунов, И.А. Булавин. Кафедра "Технология машиностроения" ежегодно готовит 130–150 инженеров, а также бакалавров и магистров. Многие выпускники работают на руководящих должностях в промышленности, министерствах, проектных организациях, вузах.

Редакция и редакционный совет журнала поздравляют коллектив кафедры с юбилеем и желают новых творческих успехов.

УДК 621.757

Шандров Б.В., канд. техн. наук, профессор, **Вартанов М.В.**, д-р техн. наук, профессор, **Булавин И.А.**, канд. техн. наук, доцент (МГТУ "МАМИ")

E-mail: iptm@mami.ru

Исследования кафедры "Технология машиностроения" МАМИ в области сборочного производства

В декабре 2009 г. отмечается 70-летний юбилей кафедры "Технология машиностроения" МГТУ "МАМИ". В статье приводится обзор работ, выполненных кафедрой в области сборочного производства. Излагаются результаты научных и практических работ по обеспечению качества сборки редукторов автомобилей, технологичности конструкций изделий при автоматической сборке, по сборке с использованием клея и вибросборке.

70-th Anniversary of Mechanical Engineering Department of MSTU "MAMI" will be celebrated in December 2009. A review of research work in assembly production made by the Department is represented. There are results of scientific and practical work in providing quality of assembly of automotive reduction gears, manufacturability of products design for automatic assembly, adhesive assembly and assembly with vibration.

Ключевые слова: качество сборки редукторов, технологичность изделий, вибросборка.

Key words: quality of assembly of reduction gears, manufacturability of products, assembly with vibration.

На протяжении ряда десятилетий в МАМИ проводили научные исследования в области различных методов и технологий сборки. В 1965 г. заведующий кафедрой профессор Ф.С. Демьянюк организовал группу, которая занялась вопросами сборки в машиностроении. Это направление возглавил доцент, канд. техн. наук А.В. Воронин.

Работа началась сборкой бензонасоса на Московском карбюраторном заводе. В 1968 г. были начаты исследовательские работы по совершенствованию сборки редукторов ведущих мостов автомобилей. Сначала их проводили совместно с МЗМА, а затем с УАЗом, ЗИЛом, ВАЗом, КамАЗом и другими заводами. Объек-

том разработок на УАЗе была оснастка для сборки редуктора и головки блока цилиндров.

Первую диссертационную работу по теории автоматической сборки в 1973 г. на кафедре защитил М.М. Стржемечный на тему "Исследование процесса автоматической сборки деталей типа вал-втулка". В 1980 г. вышел учебник "Основы технологии сборки машин и механизмов" под редакцией М.П. Новикова. Часть разделов в этом учебнике была написана сотрудниками нашей кафедры.

На кафедре ведутся многолетние работы с заводами отрасли по совершенствованию технологии сборки, технологической оснастки и оборудования для выполнения операций технологического процесса сборки редукторов. Целью этих работ является создание новых технологических операций, оснастки и стандов, позволяющих повысить качество и точность сборки, а также исключить повторные переборки редукторов, резко увеличивающие общую трудоемкость сборки.

Создан новый технологический процесс, комплекс технологической оснастки и оборудования, частично внедренные на предприятиях отрасли (ОАО КамАЗ, ГАЗ, КААЗ), позволяющие снизить трудоемкость, повысить качество и эксплуатационную надежность редукторов.

Ответственным исполнителем по тематике, связанной со сборкой редукторов, в 1969 г. был назначен ассистент Б.В. Шандров, ныне профессор, заведующий кафедрой "Технология машиностроения". В этот период в процессе исследований стали учитывать силовые, деформационные, динамические и температур-

ные факторы, влияющие на точность выходных параметров редукторов.

По этому научному направлению на кафедре подготовлены и защищены четыре кандидатские диссертации, изданы две монографии, получено более 20 авторских свидетельств и патентов, а также медали ВДНХ. В результате проведенных исследований создан метод регулирования преднатяга подшипников, который позволяет определить:

- силу преднатяга с учетом конструкции редуктора, эксплуатационных нагрузок и жесткости подшипников;
- технологические условия (режимы) регулирования;
- научно обоснованную взаимосвязь силы преднатяга и момента трения подшипников как контролируемого параметра.

Данный метод обеспечивает стабильность силового замыкания в подшипниковом узле в процессе сборки редуктора.

С 1988 г. работы по сборке редукторов возглавил канд. техн. наук И.А. Булавин. В ходе совместных работ с агрегатным заводом

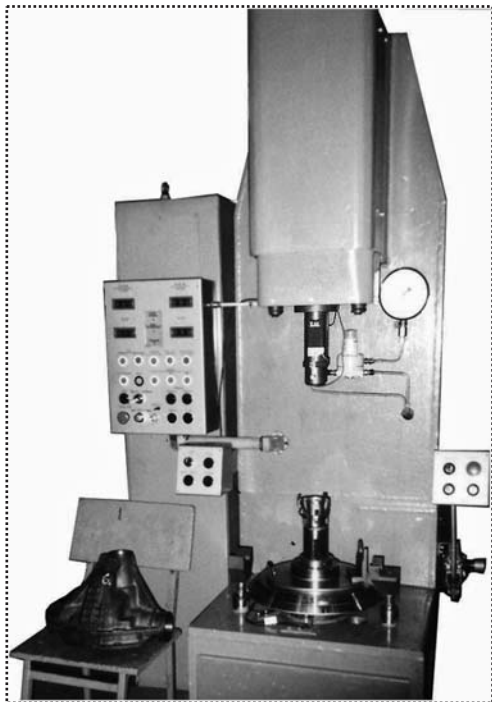


Рис. 1. Стенд для измерения компенсатора при регулировании преднатяга на ОАО "ГАЗ"

ОАО "КамАЗ" была создана технологическая оснастка для сборки редукторов ведущих мостов автомобилей. В 1990-е годы был разработан и внедрен в производство новый технологический метод адаптивного регулирования преднатяга подшипниковых узлов, позволяющий за счет дифференцированного учета конкретных силовых и деформационных факторов определять требуемую технологическую силу, необходимую для измерения компенсатора в данном подшипниковом узле, и повысить точность создания силы преднатяга при сборке редукторов.

Данный метод был использован при разработке технологической установки для регулировки преднатяга подшипников ведущих шестерен в редукторах задних мостов автомобилей "Волга" и "Газель" в ходе совместных работ МГТУ "МАМИ" и ОАО "ГАЗ". Общий вид стенда показан на рис. 1.

Одновременно с научными исследованиями на кафедре проводили практическую экспертизу причин разрушения редукторов ведущих мостов автомобилей. В настоящее время продолжается подготовка диссертационных работ по ключевым вопросам сборки редукторов. Одним из таких вопросов является технологическое обеспечение точности предварительного натяга конических подшипников редукторов. В настоящее время работа ведется с автоагрегатным заводом в г. Канаш (Чувашия).

С 1986 г. на кафедре начались исследования в области технологичности агрегатов машин в условиях автоматической сборки. В результате разработана методология обеспечения технологичности изделий в процессе их проектирования и конструирования. Методология, реализованная в виде пакета прикладных программ, прошла апробацию на ряде промышленных предприятий, таких как Мелитопольский моторный завод, Кустанайский завод дизельных двигателей, Ярославский завод дизельной аппаратуры, НПО "Сборочные механизмы", г. Павлодар, АО "Сенсор", г. Зеленоград, Завод Строймашина, г. Челябинск, НПО "НИИТракторосельхозмаш", НПО "Авиатехнология" и ряде других. В качестве примера

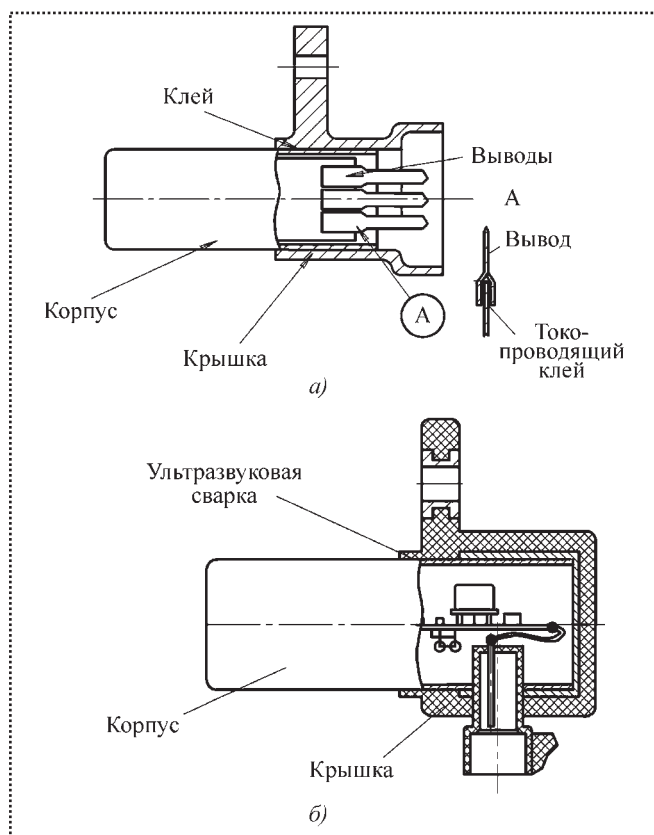


Рис. 2. Конструкция датчика фазы автомобилей с применением:

- а* – склеивания,
б – ультразвуковой сварки

показана реализация метода технологического преобразования датчика фазы автомобиля (рис. 2).

Важным условием развития производства машин является использование новых технологий сборки. На протяжении последних 10 лет на кафедре ведутся исследования в области сборки на основе клеевых соединений. Использование клея в промышленности обес-

печивает ряд преимуществ: снижение трудоемкости, повышение жесткости конструкций, улучшение эстетики и качества.

В ходе исследований, проводимых на кафедре под руководством профессора М.В. Варганова, теоретически и экспериментально изучено влияние микропрофиля поверхности на прочность клеевых соединений. Выполнен большой объем компьютерного моделирования клеевых соединений методом конечных элементов. Установлены корреляции усадки и снижения прочности соединений.

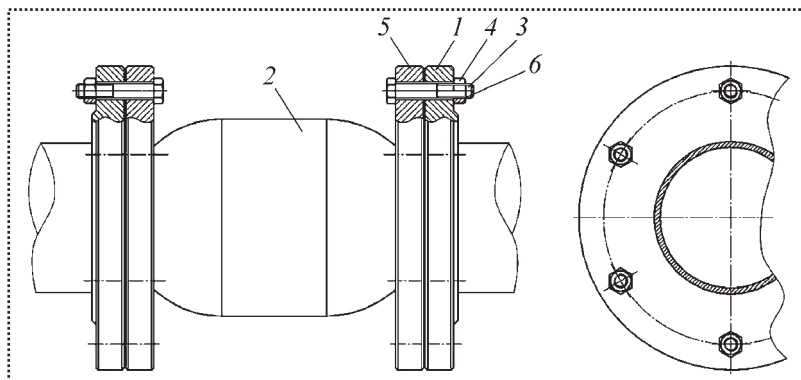
Совместно с АМО ЗИЛ ведутся исследования в области создания технологий сборки кузовов автомобилей с использованием клея. Изучено влияние толщины клеевой прослойки на прочность соединений кузовных панелей автомобилей. С учетом специфики технологии изучали, в частности, возможность склейки окрашенных панелей. Выполнена модификация конструкции клапанной крышки двигателя ЗИЛ при помощи вибростойкого клеевого состава с целью удовлетворения требованиям по уровню шума нормам ЕЭК ООН № 51-02.

Одновременно с теоретическими исследованиями ведутся и практические работы по договорам с промышленными предприятиями. В качестве примера можно привести создание технологии сборки авиационных автотопливозаправщиков мод. ТЗА-20 и ТЗА-40, изготавливаемых "НПО Авиатехнология" (г. Москва). Подобраны клеи-герметики и выполнен расчет герметичности фланцевых стыков трубопроводов (рис. 3).

На протяжении последних 10 лет совместно с кафедрой "Теоретическая механика" МАМИ

Рис. 3. Усовершенствованное фланцевое соединение эластичной муфты с нержавеющей фланцем TW:

- 1 – нержавеющий фланец TW;
2 – эластичная муфта;
3 – болт М10×60.88.019 ГОСТ 7798–70 (16 шт.);
4 – гайка М10×10.019 ГОСТ 5915–70 (16 шт.);
5 – прокладка адгезивная Loctite 518;
6 – герметик резьбовой Loctite 243



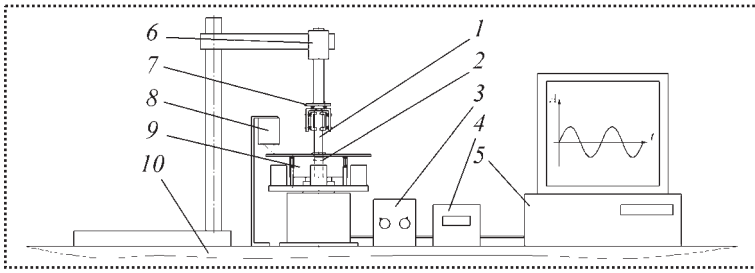


Рис. 4. Компоновка экспериментальной установки:

- 1 – устанавливаемая деталь;
- 2 – базовая деталь;
- 3 – генератор низкочастотных колебаний;
- 4 – электронный частотомер;
- 5 – ЭВМ;
- 6 – механизм вертикальной подачи схвата;
- 7 – адаптивный схват;
- 8 – лазерный датчик расстояния;
- 9 – виброопора базовой детали;
- 10 – опорная плита

(проф., д-р техн. наук Л.В. Божкова) ведутся исследования в области автоматической сборки с использованием низкочастотных колебаний. За это время разработан ряд новых методов автоматической и роботизированной сборки, изготовлена экспериментальная установка (рис. 4), создано программное обеспечение для математического моделирования.

23–24 октября 2008 г. в МГТУ "МАМИ" проведен международный научно-технический семинар "Современные технологии сборки". Тематика семинара включала в себя следующие направления:

- современные методы сборки;
- автоматизация сборочных работ;
- обеспечение качества сборки.

На протяжении ряда лет на кафедре (проф. М.В. Вартанов) ведутся работы в области обеспечения технологичности технических средств заправки. Работа осуществляется в интересах Министерства обороны России. За это время разработан ряд методик, позволяющих оце-

нить технологичность изделий военной техники на различных этапах жизненного цикла.

Исследования в области сборки машин находят свое отражение и в учебном процессе. На 5-м курсе студенты слушают лекции и выполняют практические работы по курсу "Технология автоматизированной сборки". Около 20 % дипломных проектов выполняется по "сборочной" тематике. На кафедре сформировалась группа преподавателей-сборщиков, под руководством которых выполняются такие дипломы. К их числу относятся профессора Б.В. Шандров, М.М. Стржемечный, М.В. Вартанов, доценты И.А. Булавин, А.Ю. Груздев, И.Н. Зинина.

К сожалению, в настоящее время в связи с закрытием АО "Москвич" кафедра испытывает сложности с проведением практики на предприятиях, располагающих современным автоматическим сборочным оборудованием. К существующим проблемам следует отнести отсутствие в России централизованного производителя сборочного оборудования, ограниченный характер выезда на практику на заводы ВАЗ, КамАЗ и другие, оснащенные современным сборочным оборудованием.

Вместе с тем за последние годы расширилась база для прохождения практики за счет оборонных предприятий, а также смежных отраслей промышленности. Например, кафедра стала проводить практику на заводах "Метровагонмаш", АО "Электрозавод", Балашихинском заводе гидроаппаратуры и ряде других. Опыт взаимодействия с промышленными предприятиями за последние годы показывает, что они испытывают все более острую потребность в специалистах в области сборки машин.

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

Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**".

Адрес электронной почты издательства: E-mail: mashpubl@mashin.ru;

редакции журнала: sorka@mashin.ru; tmm@mashin.ru <http://www.mashin.ru>

Телефон редакции журнала: (499) 268-38-42; тел./факс (499) 268-85-26; факс 269-48-97.

Технический редактор *Жиркина С.А.* Корректоры *Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.*

Сдано в набор 14.10.09 г. Подписано в печать 09.12.09 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 6,86. Уч.-изд. л. 6,21. Заказ 986. 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.