

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

2 2009
(103)

СОДЕРЖАНИЕ

Современные технологии сборки

- Чумаков Р.Е.** Синтез структуры технологической системы для сборки резьбовых соединений в условиях неопределенности 3
- Шияев В.М., Пьянков И.И., Горшков Г.Н.** Опыт сборки центробежного компрессора серии НЦ 16 9

Технологическая оснастка для сборки

- Житников Ю.З., Воркуев Д.С.** Обоснование кинематики и параметров работы многошпиндельных гайковертов нового класса на основе муфт предельного момента и механизмов свободного хода 10

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

- Хазиев Э.Л., Дмитриев С.В.** Золотниковый газораспределительный механизм двигателя внутреннего сгорания с приводом от шагового двигателя 18
- Кончиц А.В.** Поиск несоответствующего компонента при обнаружении причин несоответствий в автомобильном производстве 22

Подготовка специалистов

- Садовников В.И., Кучеров В.Г., Подлеснов В.Н., Андросюк Е.Р.** Анализ и оценка технологичности сборки конструкций в курсовых и дипломных проектах 30

В порядке обсуждения

- Медарь А.В.** Точностной анализ в технологическом проектировании сборочных процессов. *Продолжение* 33

Нормативная документация

- Вибрация.** Станки балансировочные. Характеристики и методы их проверки (по материалам ГОСТ 20076–2007). *Продолжение* 43
- Система** технического обслуживания и ремонта автомобильной техники 50

Информация

- Козырев Ю.Г.** Выставка «Робототехника – 2008» 54

Председатель редакционного совета
Ф.М. МИТЕНКОВ, академик РАН

Редакционный совет

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

Региональные редсоветы

АСТРАХАНЬ	ОРЕНБУРГ
В.В. МИКИТЯНСКИЙ	А.Н. ПОЛЯКОВ
БЕЛГОРОД	А.И. СЕРДУК
Н.А. ПЕЛИПЕНКО	А.П. ФОТ
БРЯНСК	РЫБИНСК
О.А. ГОРЛЕНКО	В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ
ВЛАДИВОСТОК	В.В. НЕПОМИЛУЕВ
Ю.Н. КУЛЬЧИН	А.Н. СЕМЕНОВ
А.А. СУПОНЯ	САМАРА
В.М. КОРНИЕНКО	М.В. ЕВДОКИМОВ
ВОЛГОГРАД	Ю.А. ВАШУКОВ
В.Г. КАРАБАНЬ	Г.А. КУЛАКОВ
М.Г. КРИСТАЛЬ	В.А. НИКОЛАЕВ
В.И. ЛЫСАК	САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
В.М. ТРУХАНОВ	В.Ф. КУЗЬМИН
ИЖЕВСК	Е.В. ШАЛОБАЕВ
И.В. АБРАМОВ	ТОЛЬЯТТИ
Б.А. ЯКИМОВИЧ	А.И. РЫЖКОВ
В.Г. ОСЕТРОВ	Б.Ф. ХАЗОВ
И.К. ПИЧУГИН	ХАБАРОВСК
КАЗАНЬ	В.А. ЛАШКО
Р.И. АДГАМОВ	Украина
КОВРОВ	КИЕВ
Ю.З. ЖИТНИКОВ	А.С. ЗЕНКИН
КОЛОМНА	В.А. МАТВИЕНКО
Ю.Д. АМИРОВ	ДОНЕЦК
КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ	А.И. МИХАЙЛОВ
Б.Н. МАРЬИН	СЕВАСТОПОЛЬ
В.И. ШПОРТ	Е.Л. ПЕРВУХИНА
А.М. ШПИЛЕВ	ХАРЬКОВ
НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ	Б.М. АРПЕНТЬЕВ
С.В. ДМИТРИЕВ	Беларусь
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ	МИНСК
ОМСК	В.Л. БАСИНОК
В.Н. КОСТЮКОВ	ГОМЕЛЬ
ОРЕЛ	В.Е. СТАРЖИНСКИЙ
Ю.С. СТЕПАНОВ	ПОЛОЦК
Г.А. ХАРЛАМОВ	М.Л. ХЕЙФЕЦ

Ответственные за подготовку и выпуск номера:

Н.М. КУЦ-ЖАРКО, Л.В. САВЕЛЬЕВА

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.

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

THE MONTHLY
NEWSMAGAZINE
FOR SCIENTISTS
AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING



IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

THE MAGAZINE IS PUBLISHED UNDER THE PATRONAGE OF INTERNATIONAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERS
THE JOURNAL IS AMONG THOSE APPROVED BY AAC RF FOR DISSERTATION PUBLICATION

2 2009
(103)

CONTENTS

Modern technologies in assembly

Chumakov R.E. Technological system structure synthesis of thread-forming processes under indeterminate conditions 3

Shilyaev V.M., Pjankov I.I., Gorshkov G.N. Experience in assembly of the centrifugal compressor HLQ 16 9

Technological equipment for assembly

Zhitnikov Y.Z., Vorkuev D.S. Substantiation of the kinematics and operation parameters for the multi-spindle nut wrenches of a new class based on torque-limiting clutches and overrunning clutches 10

Quality assurance. Testing. Monitoring

Khaziev E.L., Dmitriev S.V. Spool-type gas-distributive mechanism of an explosion engine with a drive from a step-by-step drive 18

Konchits A.V. Nonconforming component search within nonconformity's root cause investigation in automotive industry 22

Preparation of experts

Sadovnikov V.I., Kucherov V.G., Podlesnov V.N., Androsyuk E.R. The analysis and estimation of assembly manufacturability of the designs in course and degree projects 30

Discussing

Medar' A.V. Accuracy analysis in technological designing assembly process. *A prolongation* 33

Command papers

Vibration. Balancing machines. Description and evaluation methods (on the GOST 20076–2007). *A prolongation* 43

Motor vehicle maintenance and repair system 50

Information

Kozyrev Yu.G. The exhibition "Robotics – 2008" 54

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

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

Editors

MOSCOW

VARTANOV M.V.
VASIL'EV A.S.
(Chief editor)
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

ASTRACHAN

MIKITIANSKI V.V.

BELGOROD

PELIPENKO N.A.

BRIANSK

GORLENKO O.A.

VLADEVOSTOK

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.

KOMSOMOLSK-ON-AMUR

MARJIN B.N.

SCHPORT V.I.

SHPILEV A.M.

NABEREZHNYE CHELNY

DMITRIEV S.V.

KHISAMUTDINOV R.M.

OMSK

KOSTIUKOV V.N.

OREL

STEPANOV Yu.S.

KHARLAMOV G.A.

ORENBURG

POLYAKOV A.N.

SERDUK A.I.

FOT A.P.

RYBINSK

BEZIAZYSHNY V.F.

NEPOMILUEV V.V.

SEMENOV A.N.

SAMARA

EVDOKIMOV M.V.

VASHUKOV Yu.A.

KULAKOV G.A.

NIKOLAEV V.A.

ST.-PETERSBURG

KUZMIN V.F.

SHALOBAEV E.V.

TOLIATI

KHAZOV B.F.

RYZHKOVA A.I.

KHABAROVSK

LASHKO V.A.

Ukraine

KIEV

ZENKIN A.S.

MATVIENKO V.A.

DONETSK

MIKHAILOV A.I.

SEVASTOPOL

PERVUKHINA E.L.

KHARKOV

ARPENTIEV B.M.

Belarus

MINSK

BASINJUK V.L.

GOMEL

STARZHINSKI V.E.

POLOTSK

KHEIFETZ M.L.

Executive editors of current issue:

KUSH-ZHARKO N.M., SAVELIEVA L.V.

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

Синтез структуры технологической системы для сборки резьбовых соединений в условиях неопределенности

Представлен синтез структуры технологической системы для сборки резьбовых соединений в условиях неопределенности. Для решения задачи используется нечеткая нейронная сеть. Формирование оптимальной структуры сборочного процесса на стадии подготовки производства обеспечивает высокие качественные показатели резьбовых соединений.

The article presents a method of synthesizing a technological system structure for thread-forming connections assembly under indeterminate conditions. Fuzzy neural network are used to this end. The formation of optimum assembly structure at the stage of pre-starting production procedure provides for high quality thread-forming indicators.

Ключевые слова: сборочно-резьбообразующие процессы, синтез структуры, нейронная сеть.

Keywords: thread-forming processes, structure synthesis, neural network.

Введение

Резьбовые соединения являются одними из самых распространенных в промышленности соединений. Несмотря на развитие в области автоматизации, подготовка и проектирование производства, а также непосредственно сборочные операции трудоемки, требуют значительных затрат и привлечения специалистов различных отраслей.

Крепежно-резьбообразующие элементы (КРЭ) позволяют исключить операцию предварительного нарезания резьбы в отверстиях, уменьшают потребность в резьбонарезном инструменте и повышают производительность труда. Полученные резьбовые соединения обладают высокими эксплуатационными характеристиками и по своим свойствам близки к резьбовым соединениям с натягом по среднему диаметру (ГОСТ 4608–81).

Внедрение технологий, снижающих силовую напряженность процесса сборки КРЭ [1], позволило расширить область их применения, тем не менее, остается ряд нерешенных вопросов, ограничивающих эффективность реализации данного вида соединений в промышленности.

Один из таких вопросов касается *проблемы выбора структуры технологической системы*. В процессе разработки технологии сборки перед специалистом возникают значительные трудности, связанные со спецификой применения КРЭ. Широкая номенклатура крепежных изделий, существующих технологий и оборудования образует многомерное технологическое пространство, из которого требуется выбрать один из вариантов реализации, оптимально сочетающийся с конструкторскими требованиями к резьбовому соединению и технико-экономическими показателями. При этом *исходная информация имеет нечеткий или неопределенный характер*.

Традиционно при структурном моделировании сложных систем используют математический аппарат теории множеств и графов. Обычно взаимосвязи между элементами множеств описывают в виде бинарного отношения. Недостатком указанного подхода является невозможность описания нечетких свойств элементов сборочной системы.

Перспективным направлением в области подготовки и управления технологическими процессами сборки является использование принципа "мягких вычислений", который является интеграцией нечеткой логики [2] и искусственных нейронных сетей [3, 4].

Нейронные сети способны к обучению на заданном количестве примеров. "Индуктивный вывод, или обобщение, основан на построении некоторого общего правила (закона) на основании конечного числа наблюдаемых фактов" [5]. *Недостатком нейронных сетей* является невозможность анализа процесса вывода, т.е. для пользователя они представляют собой "черный ящик".



В отличие от нейронных сетей *методы нечеткой логики* прозрачны для пользователя с точки зрения объяснения получаемых выводов, но на их основе невозможно построить самообучающуюся систему [6].

Целью представленной работы является **разработка интеллектуальных методов синтеза оптимальной структуры технологической системы для сборки КРЭ и обеспечение высокого качества принимаемых решений.**

Структурный анализ технологического процесса сборки резьбовых соединений

Разнообразие сборочного оборудования значительно осложняет создание автоматизированных систем, обладающих нужными показателями конструктивно-технологической эффективности.

В работе [7] представлена технологическая система сборочной машины, содержащая основные элементы:

- несущую систему машины;
- детали, подготовленные к сопряжению;
- исполнительные устройства;
- элементы внешних устройств.

Показано, что при систематизации технических объектов только структурное представление не является полным. Необходимо учитывать следующие признаки:

- ◆ структурные;
- ◆ функциональные;
- ◆ геометрические (размерные);
- ◆ точностные;
- ◆ физико-механические.

Структура сборочного комплекса зависит от ряда технологических условий и требований к сборочному процессу (табл. 1), многие из которых сложно формализовать. В настоящее время для описания сложных нелинейных систем применяют аппарат нечетких множеств [2].

Нечеткие множества описывают функцией принадлежности μ_{S_i} . Одним из распространенных способов является описание нечетких множеств с помощью функций Гаусса:

$$\mu_{S_i}(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2\right], \quad (1)$$

где S_i – требование к резьбовому соединению;

x – значение требования (функции);

c – значение множества, при котором функция принадлежности принимает максимальное значение;

σ – коэффициент широты функции, отвечающий за крутизну кривой.

1. Множество технологических условий

Наименование множества	Обозначение	Элементы или граничные значения множеств
<i>Условия из технической документации</i>		
Размер резьбы	S_1	Малый М3...М5; средний М6...М12; крупный М14...М20
Материал корпусной детали	S_2	Хрупкий; пластичный
Наличие элементов предварительной установки шпильки в отверстие	S_3	Нет; есть
Габариты и масса корпусной детали	S_4	Мелкие; средние; крупные детали
Конфигурация поверхности корпусной детали	S_5	Простая; сложная
<i>Технологические условия</i>		
Производительность (количество движений)	S_6	Низкая; высокая
Энергозатраты	S_7	Низкие; высокие
Надежность	S_8	Низкая; высокая
Стоимостные затраты	S_9	Низкие; высокие
Точность совмещения осей сопрягаемых деталей	S_{10}	Низкая; высокая
Жесткость технологической системы	S_{11}	Низкая; высокая
Управляемость системы	S_{12}	Низкая; высокая
Сложность сборочной системы	S_{13}	Низкая; высокая
Габариты и масса сборочной установки	S_{14}	Мелкие; средние; крупные детали

Таким образом, становится возможным математическое описание таких нечетких условий, как "точность совмещения осей сопрягаемых деталей должна быть высокой".

На рис. 1 представлена функция принадлежности для нечеткого множества "Габариты и масса корпусной детали".

Технологическая система сборочной машины состоит из двух подсистем:

- *крепежной детали* (далее рассматривается вариант для шпилечного соединения);
- *корпусной детали*.

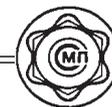
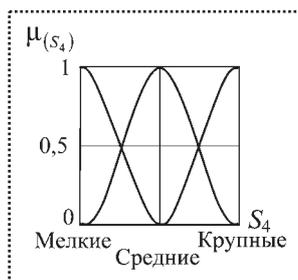


Рис. 1. Функция принадлежности для нечеткого множества "Габариты и масса корпусной детали"



2. Способы подачи на сборочную позицию шпилек и деталей

ПОДСИСТЕМА ШПИЛЬКИ	
Способы подачи шпильки:	Способы подачи патрона со шпилькой:
1. В патрон (сквозь патрон)	1. В шпindelь
2. В патрон (снаружи патрона)	2. Шпindelь к патрону со шпилькой
3. Патрон к шпильке	
4. В отверстие детали (при наличии установочного пояса на шпильке)	
ПОДСИСТЕМА ДЕТАЛИ	
Способы подачи детали:	
1. Деталь на стол станка/сборочного робота	
2. Приспособление-спутник с деталью на стол станка/сборочного робота	

3. Вспомогательное сборочное оборудование

ПОДСИСТЕМА ШПИЛЬКИ		
Накопители первичные	Накопители вторичные	Устройства переноса и подачи
1. Накопитель магазинов 2. Конвейер 3. Склад	1. Бункер с лотком 2. Магазин со шпильками 3. Палета со шпильками 4. Магазин инструментов 5. Палета с патронами	1. Питатель 2. Манипулятор станка (инструментальная головка) 3. Отдельный манипулятор 4. Промышленный робот 5. Робокар (тележка) 6. Стол-перегрузатель 7. Шпindelь станка
ПОДСИСТЕМА ДЕТАЛИ		
Накопители		Устройства переноса и подачи
1. Загрузочное устройство 2. Конвейер с деталями 3. Конвейер с приспособлениями-спутниками		1. Отдельный манипулятор 2. Промышленный робот 3. Стол-перегрузатель

Существует несколько способов подачи сопрягаемых деталей на сборочную позицию (табл. 2).

Отличительной особенностью шпилечного соединения является возможность подачи крепежной детали на сборочную позицию двумя способами: подача собственно шпильки, например из лотка, и подача патрона с установленной в него шпилькой.

В табл. 3 представлено вспомогательное сборочное оборудование. Для подсистемы шпильки выделено два вида накопителей: первичные и вторичные. Это связано с тем, что крепежный элемент, как правило, проходит более сложный путь от первоначального местоположения до сборочной позиции.

Граф сборочного процесса представлен на рис. 2. На рисунке отображены взаимосвязи между способами подачи деталей и сборочным оборудо-

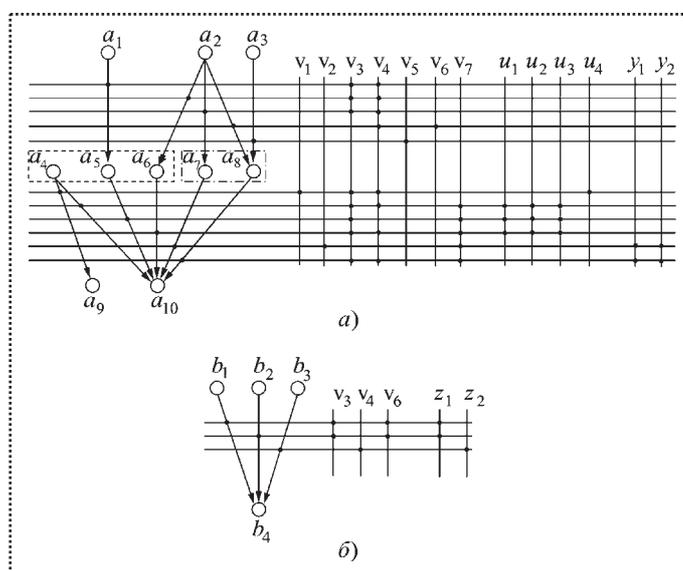


Рис. 2. Граф сборочного процесса:

a – подсистема шпильки; *b* – подсистема детали; *сборочные детали и оборудование*: a_1 – накопитель магазинов; a_2 – конвейер; a_3 – склад; a_4 – бункер с лотком; a_5 – магазин со шпильками; a_6 – палета со шпильками; a_7 – магазин инструментов; a_8 – палета с патронами; a_9 – деталь; a_{10} – шпindelь станка; элементы a_4 – a_6 – вторичные накопители шпилек (обозначены пунктиром); элементы a_7 , a_8 – вторичные накопители патронов со шпильками (штрих-пунктир); b_1 – загрузочное устройство для деталей; b_2 – конвейер с деталями; b_3 – конвейер с приспособлениями-спутниками; b_4 – стол станка; v_1 – питатель; v_2 – манипулятор станка (инструментальная головка); v_3 – отдельный манипулятор; v_4 – промышленный робот (ПР); v_5 – робокар (тележка); v_6 – стол-перегрузатель; v_7 – шпindelь станка; *способы подачи шпильки*: u_1 – в патрон (сквозь патрон); u_2 – в патрон (снаружи патрона); u_3 – патрон к шпильке; u_4 – в отверстие детали (при наличии установочного пояса на шпильке); *способы подачи шпильки с патроном*: y_1 – в шпindelь; y_2 – шпindelь к патрону со шпилькой; *способы подачи детали*: z_1 – деталь на стол станка; z_2 – приспособление-спутник с закрепленной в нем деталью на стол станка

ванием. Подобное описание взаимосвязей можно рассматривать как форму представления реляционной модели данных [8].

Учитывая, что сопрягаемые детали могут доставляться на сборочную позицию различными способами и с помощью разнообразного оборудования, количество возможных вариантов реализации сборочного процесса достигает нескольких тысяч. Выбрать из такого количества оптимальный вариант классическими методами трудно.

Нечеткая модель и алгоритм нечеткого вывода для выбора оптимальной структуры сборочного процесса

Исходя из целей данной работы, необходимо определить способы подачи деталей и используемое оборудование, сформировав, таким образом, технологическую структуру сборочного процесса (см. рис. 2).

Порядок решения поставленной задачи

1. Построить таблицу принадлежности технологических условий к способам подачи деталей и сборочному оборудованию (для подсистем шпильки и детали соответственно). Таблица 4 позволяет выделить значимые параметры и сократить размерность поставленной задачи.

2. На основе значимых параметров (см. табл. 4) сформировать обучающее множество правил следующего вида, например для вспомогательного сборочного оборудования:

П₁: ЕСЛИ x_1 есть S_{i1} И ... И x_j есть S_{ij} И ... И x_m есть S_{im} , ТО y есть B_j .

3. Построить нечеткую нейронную сеть ANFIS (в англоязычной литературе – Adaptive Network-based Fuzzy Inference System [9]). Количество входных сигналов определяется согласно количеству значимых параметров. Архитектура нейронной сети представлена на рис. 3.

Сеть включает в себя пять слоев:

- первый – принадлежность входных переменных;
- второй – antecedentes (посылки) нечетких правил;
- третий – нормализация степеней выполнения правил;
- четвертый – правила вывода;
- пятый – агрегирование результата, полученного по различным правилам.

4. Таблица принадлежности технологических условий к способам подачи деталей и сборочному оборудованию

	P_1	P_2	P_3	B_1	B_2	B_3	B_4
S_1	a_{11}	...	...	...	...	...	...
...
S_{14}	...	...	...	...	...	...	...

Обозначения:

S_1, \dots, S_{14} – технологические условия (см. табл. 1).

Способы подачи (см. табл. 2):

P_1 – способы подачи шпильки; P_2 – способы подачи патрона со шпилькой; P_3 – способы подачи детали.

Вспомогательное сборочное оборудование (см. табл. 3):

B_1 – накопители первичные для подсистемы шпильки; B_2 – накопители вторичные для подсистемы шпильки; B_3 – устройства переноса и подачи для подсистемы шпильки; B_4 – накопители для подсистемы детали;

a_{ij} – числовое обозначение степени принадлежности, диапазон [0...1].

Слой 1. Предназначен для фазификации (введение нечеткости – от англ. *fuzzy*) переменных x_1, \dots, x_n . Для каждого k -правила вывода определяется коэффициент принадлежности $\mu_{(S)}^{(k)}(x_i)$ в соответствии с функцией фазификации (1). Параметры σ и c адаптируются в процессе обучения.

Слой 2. Количество нейронов второго слоя равно m . Каждый нейрон этого слоя соответствует одному нечеткому правилу и соединен с нейронами первого слоя, которые формируют antecedенты соответствующего правила. Следовательно, каждый

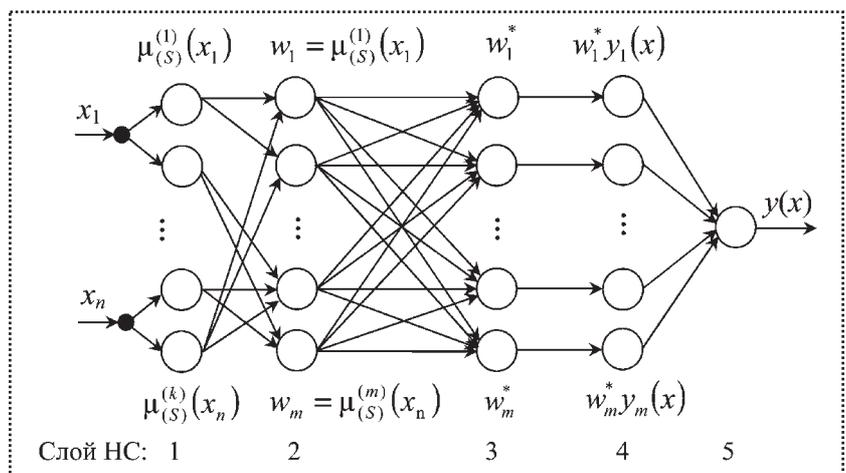


Рис. 3. Структура нечеткой нейронной сети ANFIS



нейрон второго слоя может принимать от одного до n входных сигналов.

Во втором слое определяется значение коэффициента принадлежности $w_k = \mu_{(S)}^{(k)}(x_n)$ для входного вектора x .

Слой 3. Количество нейронов третьего слоя равно m . Каждый нейрон рассчитывает относительный нечеткий вес правила:

$$w_k^* = \frac{w_k}{\sum_{k=1}^m w_k}$$

Слой 4. Количество нейронов четвертого слоя также равно m . Каждый нейрон соединен с одним нейроном третьего слоя, а также со всеми входами сети (на рис. 3 связи с входами не показаны). В этом слое рассчитывается функция $y_k(x)$. Значения функции умножаются на относительную степень выполнения правила w_k^* из предыдущего слоя.

Слой 5. Единственный нейрон этого слоя суммирует вклады всех правил.

4. Произвести обучение нейронной сети на основе сформированного ранее обучающего множества.

5. Выполнить проверку нейронной сети. Для этого необходимо создать тестовое множество, которое содержит примеры, не входившие в состав обучающего множества. Таким образом, проверяется способность нейронной сети производить логический вывод на данных, не предъявлявшихся ранее.

Нейронная сеть (ANFIS) для выбора оптимальной структуры сборочного процесса

В качестве примера рассмотрим выбор вспомогательного сборочного оборудования – накопителей для подсистемы детали.

Построим таблицу принадлежности (табл. 5) технологических условий (см. табл. 1) и накопителей для деталей (см. табл. 3).

Для параметров со степенью принадлежности $\geq 0,8$ формируются правила на естественном языке, например: **ЕСЛИ** габариты и масса корпусной детали *крупные*, **И** конфигурация поверхности корпусной детали *сложная*, **И** производительность *высокая*, **И** энергозатраты *выше средних*, **И** управляемость системы *средняя*, **И** сложность сборочной системы *средняя*, **ТО** накопитель деталей – *конвейер с приспособлениями-спутниками*.

5. Принадлежность технологических условий к вспомогательному сборочному оборудованию (накопители деталей)

Технологические условия (см. табл. 1)	Накопители деталей (см. табл. 3)
S_1	0
S_2	
S_3	
S_4	1
S_5	
S_6	
S_7	0,8
S_8	0,4
S_9	
S_{10}	0
S_{11}	0,8
S_{12}	
S_{13}	0,4
S_{14}	0,4

Обозначения степени принадлежности:
 1 – условие является основным и определяет выбор данного оборудования;
 0,8 – условие учитывается всегда, однако не является основным при принятии решения;
 0,4 – условие имеет косвенное отношение к выбору;
 0 – не учитывается при принятии решения.

Каждому условию присваивается значение от нуля до единицы, а тип оборудования обозначают кодом. В табл. 6 представлены некоторые значения обучающего множества для выбора накопителя деталей.

6. Некоторые значения обучающего множества

Входной вектор						Выходной сигнал
x_4	x_5	x_6	x_7	x_{12}	x_{13}	
0		1	0	1	0	0
1		0	1	0	0,5	1
0,5	0,8	0,2	0,7	0,3	0,7	
	0	0,5	0,5	0,4	0,6	0,5

Обозначения выходного сигнала (код):
 0 – грузозачное устройство;
 0,5 – конвейер с деталями;
 1 – конвейер с приспособлениями-спутниками.

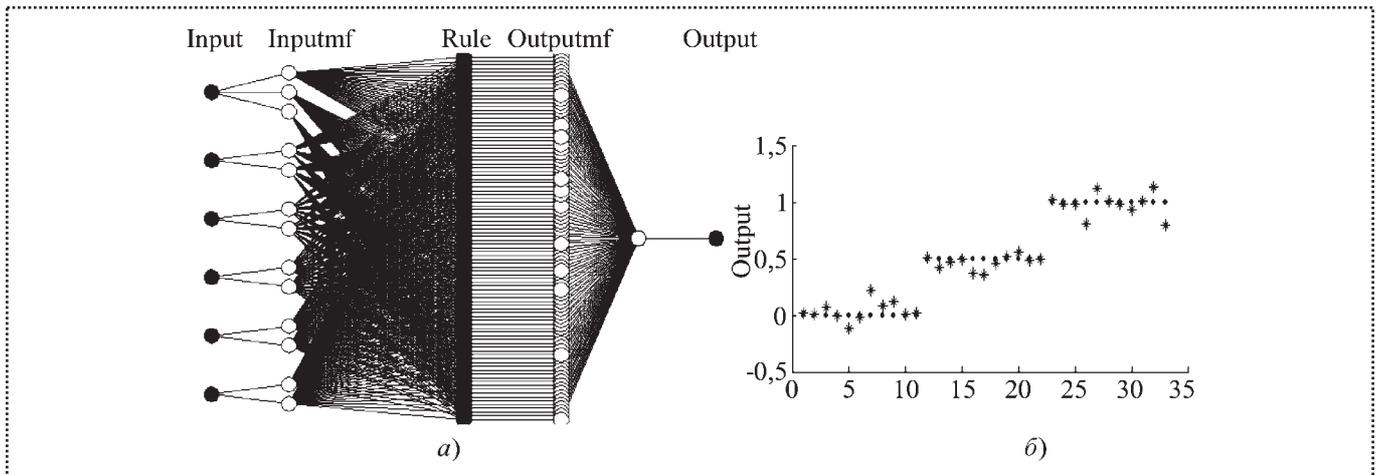


Рис. 4. Нечеткая нейронная сеть:

a – структура сети; *b* – результаты тестирования; input – входы нейронной сети; output – выход; inputmf, rule, outputmf – внутренние слои нейронной сети; на графике *b*: ● – выходные сигналы обучающего множества (желаемый ответ сети); * – выходные сигналы нейронной сети (реальный ответ сети); по оси ординат обозначены значения выходного сигнала в соответствии с табл. 6; 0 – загрузочное устройство; 0,5 – конвейер с деталями; 1 – конвейер с приспособлениями-спутниками; по оси абсцисс – размерность тестового множества

Моделирование нечеткой нейронной сети выполнено в MATLAB [4]. На рис. 4, *a* представлена структура нейронной сети, которая построена в соответствии с рис. 3. Получено 96 правил для выбора накопителей деталей. На рис. 4, *b* представлен график с результатами тестирования сети.

Результаты тестирования нейронной сети показывают, что сеть уверенно распознает входной вектор, не входивший в обучающее множество.

Остальное сборочное оборудование, а также способы подачи шпильки и детали определяют аналогичным образом. Для решения задачи синтеза структуры технологической системы сформировано семь нейронных сетей – по количеству параметров (см. табл. 4) (P_1-P_3 и V_1-V_4).

Вывод

Представленный метод на этапе подготовки процесса сборки резьбообразующих соединений позволяет:

- сформировать оптимальную структуру технологической системы;
- произвести выбор сборочного оборудования.

Использование нечеткой нейронной сети, сочетающей в себе преимущества нечеткой логики и нейронных сетей, обеспечивает принятие решений в условиях неопределенности.

Способность нейронных сетей к обучению и обобщению позволяет выполнять выбор структуры сбо-

рочной системы на основе нечеткой и неполной информации.

В результате обучения нечетких нейронных сетей получены правила для оптимального выбора структуры технологической системы в зависимости от исходных требований к сборочной технологии.

Библиографический список

1. Березин С.Я., Чумаков Р.Е., Леонов В.Н. Научные основы технологии сборочно-резьбообразующих процессов. Чита: ЗабГПУ, 2005. 214 с.
2. Борисов В.В., Круглов В.В., Федюлов А.С. Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 284 с.
3. Селиванов С.Г., Иванова М.В. Теоретические основы реконструкции машиностроительного производства. Уфа: Гилем, 2001. 312 с.
4. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд., испр.: пер. с англ. М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2006. 1104 с.
5. Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / под ред. В.Н. Вагина, Д.А. Поспелова. М. ФИЗМАТЛИТ, 2004. 704 с.
6. Дьяконов В.П., Круглов В.В. MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. 456 с.
7. Березин С.Я., Чумаков Р.Е. Структурный анализ технологических систем сборочных машин-автоматов // Автоматизация и современные технологии. 2003. № 5. С. 25–29.
8. Павлов В.В. Структурное моделирование в CALS-технологиях. М.: Наука, 2006. 307 с.
9. Jang J.-S. R. ANFIS: Adaptive Network-based Fuzzy Inference System // IEEE Trans. on Syst., Man and Cybernetics. 1993. Vol. 23. N 3. P. 665–685.

УДК 621.51

В.М. Шиялев, И.И. Пьянков, Г.Н. Горшков (НПО "Искра")

Опыт сборки центробежного компрессора серии НЦ16

Рассмотрен способ сборки центробежного компрессора, заключающийся в установке внутреннего корпуса с собранным ротором в наружный корпус методом совмещения шпоночных пазов с использованием измерительных приборов.

There is given the process of centrifugal compressor assembly consisting in mounting the inner case with an assembled rotor into the outer case through key slots matching by means of instrumentation.

Ключевые слова: центробежный компрессор, измерительное устройство, сборка компрессора.

Key words: centrifugal compressor, measuring means, compressor assembly.

В производстве компрессоров широко применяют технологию сборки центробежных компрессоров, включающую установку внутреннего корпуса с собранным в нем ротором в наружный корпус путем совмещения шпоночных пазов. Эти операции весьма трудоемкие и ответственные из-за большой массы сборочных единиц, минимальных зазоров, наличия обжатых резиновых уплотнений и отсутствия возможности визуального наблюдения за совмещением шпоночных пазов.

Предлагаемый способ сборки исключает необходимость поворота внутреннего корпуса во внешнем для совмещения шпоночных пазов. Для точной ориентации шпоночных пазов внутреннего корпуса при установке в наружный корпус целесообразно использовать приборы, например, квадрант.

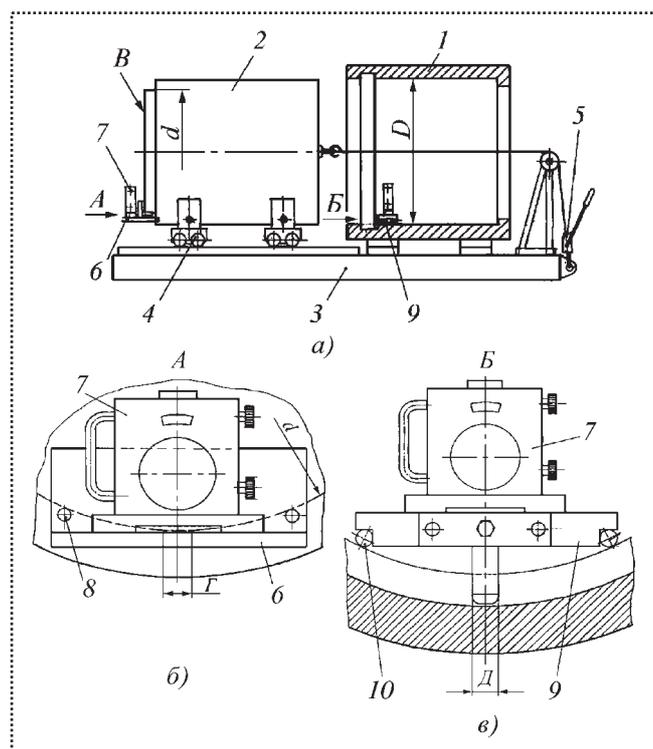
На рисунке представлена схема расположения внутреннего и внешнего корпусов центробежного компрессора до сборки.

Способ сборки центробежного компрессора заключается в следующем.

На основании 3 располагают соосно внешний корпус 1 и внутренний корпус 2, установленные на тележках 4. В наружном корпусе 1 закрепляют площадку 9, базируясь роликами 10 по внутреннему диаметру D и фиксируя ее зубом в шпоночном пазу D . На площадку 9 устанавливают измерительное устройство – квадрант 7 и определяют угол отклонения от вертикали шпоночного паза D внешнего корпуса 1. Далее на торце внутреннего корпуса 2 закрепляют площадку 6, базируясь роликами 8 по наружному диаметру d и торцевой поверхности B . К торцевой поверхности B площадка 6 прижимается с помощью магнитов; в шпоночном пазу Γ – фиксируется зубом.

Поворачивая внутренний корпус 2 вокруг оси, добиваются идентичности показаний квадранта 7 на площадке 6 с результатом измерений на площадке 9. После измерений угла расположения шпоночного паза наружного корпуса

площадку 9 с квадрантом снимают. Затем с помощью тянущего устройства 5, закрепленного на основании 3, вводят внутренний корпус 2, установленный на тележках 4, в наружный корпус центробежного компрессора. При вводе контролируют совмещение шпоночных пазов Γ и D по квадранту, установленному на площадке 6.



Центробежный компрессор до сборки:

a – схема расположения внутреннего и внешнего корпусов; *б* – схема установки измерительного устройства на внутреннем корпусе; *в* – схема установки измерительного устройства на внешнем корпусе; 1 – внешний корпус центробежного компрессора; 2 – внутренний корпус с собранным в нем ротором; 3 – основание; 4 – тележки; 5 – тянущее устройство; 6 – площадка для установки квадранта 7 на внутреннем корпусе; 8 – ролики; 9 – площадка для установки квадранта 7 на внешнем корпусе; 10 – ролики

В качестве измерительного устройства используют квадрант КО-60М ТУ 3-3.1387–82. Допускается использование угломеров, уровней брусковых – выбор измерительного устройства зависит от величины угла отклонения шпоночных пазов по вертикали.

Вывод

Данный способ сборки центробежного компрессора позволяет повысить надежность его эксплуатации за счет обеспечения необходимой точности сборки и снизить трудоемкость сборки при больших габаритах собираемых частей.

УДК 621.757

Ю.З. Житников, д-р техн. наук (КГТА им. В.А. Дегтярёва, г. Ковров);

Д.С. Воркуев, канд. техн. наук (ОАО "Завод им. В.А. Дегтярёва", г. Ковров)

Обоснование кинематики и параметров работы многошпиндельных гайковертов нового класса на основе муфт предельного момента и механизмов свободного хода

Обоснован выбор кинематической схемы, точности затяжки резьбовых соединений, режимов работы и параметров многошпиндельных гайковертов нового класса на основе муфт предельного момента и механизмов свободного хода.

The paper substantiates the kinematics, precision of threaded connections tightening, operation conditions and parameters for a new-type multi-spindle nut wrenches based on torque-limiting clutches and overrunning clutches.

Ключевые слова: многошпиндельный гайковерт, кинематическая схема, точность осевых сил затяжки, режимы работы.

Key words: multi-spindle nut wrench, kinematic diagram, precision of tightening axial forces, operation conditions.

На основании кинематических схем гайковертов [1–3] была разработана упрощенная кинематическая схема многошпиндельного гайковерта средней точности обеспечения осевых сил затяжки для произвольного числа шпинделей.

Такие гайковерты используют, когда к точности затяжки групповых резьбовых соединений не предъявляют повышенных требований, нет необходимости применять сверхточные гайковерты.

При разработке новых конструкций устройств необходимо решить следующие задачи:

■ доказать работоспособность выбранной кинематической схемы;

■ обосновать точность работы устройства;

■ определить основные параметры устройства;

■ обосновать выбор предельного быстродействия.

На этапе внедрения устройства в производство необходимо доказать экономическую целесообразность его использования.

Кинематическая схема многошпиндельного гайковерта на основе муфт предельного момента и механизмов свободного хода

Сформулируем требования к многошпиндельному гайковерту.

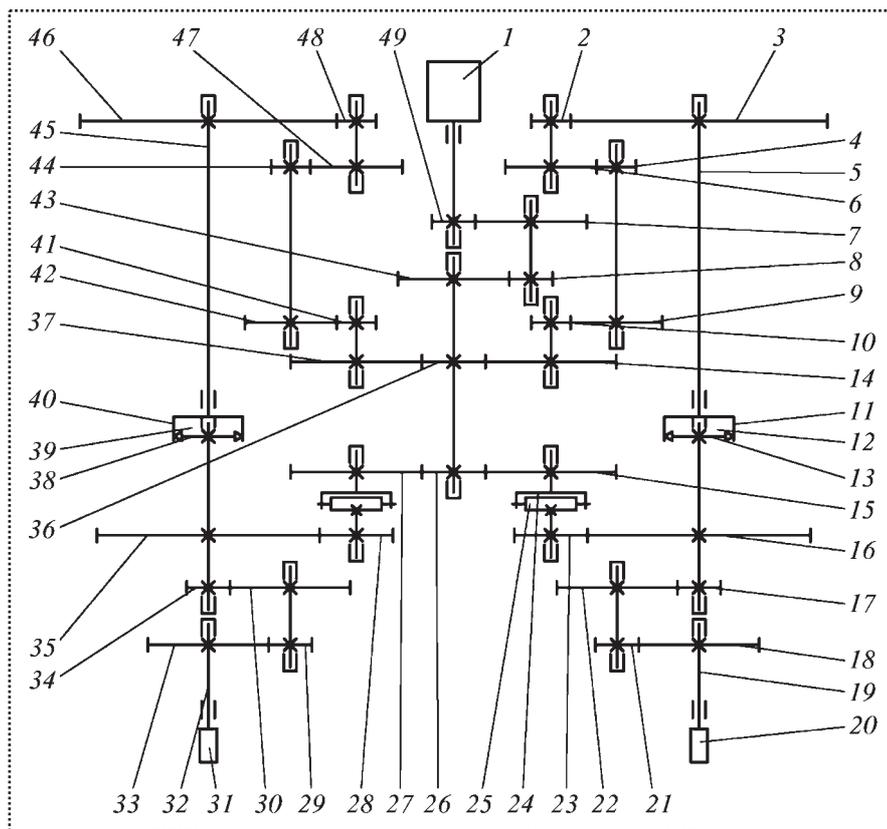
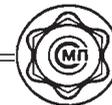
Многошпиндельный гайковерт должен работать от одного привода. Задающее устройство должно определять требуемую частоту вращения и крутящий момент на шпинделях. Гайковерт должен иметь две ветви вращения – быстроходную, но маломоментную, и тихоходную, но высокомоментную. Переключение вращений с быстроходной на тихоходную должно происходить автоматически. Отключение вращения после окончания сборки должно происходить по сигналу о достижении требуемого угла поворота шпинделя при окончательной затяжке. Относительные погрешности осевых сил затяжки в данном групповом резьбовом соединении не должны превышать 10 % от номинального значения.

На основании этих требований разработана структурная схема системы управления многошпиндельным гайковертом и по структурной схеме – кинематическая схема двухшпиндельного гайковерта на основе муфт предельного момента и механизмов свободного хода, которая представлена на рисунке.

Гайковерт имеет по две кинематических ветви вращения от электродвигателя до каждого шпинделя, одна из которых быстроходная, а вторая – тихоходная.

По быстроходным ветвям вращение передается от электродвигателя 1 через зубчатые передачи 49, 7 и 8, 43 и далее на центральную шестерню 26. От шестерни 26 вращение передается по двум кинематическим ветвям к шпинделям.

По первой ветви – от шестерни 26 к колесу 15, далее через муфту предельного момента с полу-



Двухшпиндельный гайковерт на основе муфты предельного момента и механизмов свободного хода храпового типа:

1 – электродвигатель; 2, 4, 8, 10, 17, 21, 23, 26, 28, 29, 34, 36, 41, 44, 48, 49 – шестерни; 3, 6, 7, 9, 14–16, 18, 22, 27, 30, 33, 35, 37, 42, 43, 46, 47 – зубчатые колеса; 5 – вал; 11 – ведущая обойма; 12 – механизм свободного хода храпового типа; 13 – храповое колесо; 19, 32 – шпиндель; 20, 31 – патрон; 24, 25 – полумуфты муфты предельного момента; 38 – ведомая обойма (храповое колесо); 39 – механизм свободного хода; 40 – ведущая обойма с собачкой; 45 – ось

муфтами 24, 25 на зубчатую пару 23, 16 на вал 5 и далее через две зубчатые пары 17, 22 и 21, 18 к шпинделю 19, на котором закреплен патрон 20 для удержания резьбовой детали.

По второй ветви – от шестерни 26 к колесу 27 и далее через зубчатые передачи 28, 35; 34, 30; 29, 33 к шпинделю 32 и патрону 31.

По тихоходной ветви вращение от электродвигателя 1 через зубчатые передачи 49, 7 и 8, 43 передается на центральную шестерню 36. От шестерни 36 вращение передается по двум кинематическим ветвям к шпинделям.

По первой ветви – вращение передается от шестерни 36 к колесу 14 и далее через зубчатые передачи 10, 9; 4, 6; 2, 3 к механизму свободного хода храпового типа 12. До тех пор пока вращаются быстроходные ветви вращения, храповое колесо 13 ведомой

обоймы вращается быстрее ведущей обоймы 11, на которой расположена собачка. Следовательно, собачка не передает вращения, а проскальзывает по зубьям храпового колеса.

После окончания предварительной затяжки резьбового соединения полумуфты муфты предельного момента начнут проскальзывать, храповое колесо 13 остановится. Собачка, расположенная на ведущей обойме 11, войдет в зацепление с зубом храпового колеса и начнет передавать тихоходное, но высокомоментное вращение через зубчатые передачи 17, 22 и 21, 18 шпинделю 19.

По второй ветви вращение передается от шестерни 36 к колесу 37 и далее по аналогии с предыдущим – к шпинделю 32.

Для гайковертов с числом шпинделей большим двух муфты предельного момента устанавливают для каждой быстроходной ветви вращения.

Доказана работоспособность кинематической схемы гайковерта.

Обоснование точности затяжки резьбовых соединений многошпиндельным гайковертом

Многошпиндельный гайковерт обеспечивает затяжку резьбовых соединений в два этапа: **предварительная и окончательная затяжка.**

На этапе предварительной затяжки при передаче вращения по быстроходной ветви возникают следующие погрешности осевых сил:

- ♦ δQ_n – от неодновременности начала наживления и продолжительности завинчивания резьбовых деталей;
- ♦ $\delta Q_k^{(6)}$ – от кинематических погрешностей углов поворота шпинделей по быстроходной (б) ветви вращения;
- ♦ $\delta Q_J^{(6)}$ и $\delta Q_{\Delta J}^{(6)}$ – от разности приведенных моментов инерции вращающихся частей гайковерта и резьбовых деталей к осям шпинделей по быстроходной ветви вращения;



♦ $\delta Q_{\omega}^{(6)}$ и $\delta Q_{\Delta\omega}^{(6)}$ – от разницы угловых скоростей вращения шпинделей в момент начала затяжки резьбовых соединений;

♦ δQ_c – от нестабильности момента сопротивления в резьбе.

Примечание. Как известно из практики, осевую силу затяжки резьбовых соединений задают в широком диапазоне от пропорционального участка диаграммы Гука до нелинейного, когда появляются пластические деформации в резьбовых деталях.

Погрешности $\delta Q_f^{(6)}$ и $\delta Q_{\alpha}^{(6)}$ являются систематическими. Они приводят к одновременному увеличению осевых сил затяжки в групповом резьбовом соединении, что не может повлиять на качество сборки.

Под *качественной сборкой* будем понимать обеспечение высокой стабильности осевых сил затяжки в групповом резьбовом соединении и герметичности стыка.

Найдем составляющие погрешности осевых сил.

Погрешность $\delta Q_{\text{МППМ}}$ – погрешность от неодновременности срабатывания муфт предельного момента (МППМ)

Осевую силу "включения" срабатывания МППМ кулачкового (зубчатого) типа находят из выражения [6]

$$Q_b = \frac{2M_p}{D_c} \left[f' \frac{D_c}{d} + \text{tg}(\alpha + \varphi') \right], \quad (1)$$

где $M_p = M_{\text{пр}}$ – крутящий момент "переключения" муфты равен моменту предварительной затяжки резьбовых соединений;

$D_c = \frac{D_0 + D_1}{2}$ – средний диаметр зубчатой муфты;

D_0 – наружный диаметр муфты;

D_1 – внутренний диаметр муфты;

d – диаметр вала муфты;

α – угол скоса зубьев;

φ' – угол трения;

f' – коэффициент трения скольжения.

С учетом

$$D_c = \frac{D_0 + D_1}{2}$$

выражение (1) примет вид

$$Q_b = \frac{4M_p}{D_0 + D_1} \left[f' \frac{D_0 + D_1}{2d} \text{tg}(\alpha + \varphi') \right]. \quad (2)$$

Найдем погрешность осевой силы затяжки от параметров муфты предельного момента и их точности при изготовлении элементов МППМ, воспользовавшись методом линейных ошибок:

$$dQ_b = \frac{\partial Q_b}{\partial M_p} \delta M_p + \frac{\partial Q_b}{\partial D_0} \delta D_0 + \frac{\partial Q_b}{\partial D_1} \delta D_1 + \frac{\partial Q_b}{\partial f'} \delta f' + \frac{\partial Q_b}{\partial \alpha} \delta \alpha + \frac{\partial Q_b}{\partial \varphi'} \delta \varphi',$$

где $\frac{\partial Q_b}{\partial M_p}$, $\frac{\partial Q_b}{\partial D}$, ..., $\frac{\partial Q_b}{\partial \varphi'}$ – коэффициенты влияния

данных параметров на погрешность осевой силы затяжки;

δM_p , δD_0 , ..., $\delta \varphi'$ – изменения параметров.

Перейдем к конечным величинам

$$\delta Q_b = \frac{\partial Q_b}{\partial M_p} \Delta M_p + \frac{\partial Q_b}{\partial D_0} \Delta D_0 + \frac{\partial Q_b}{\partial D_1} \Delta D_1 + \frac{\partial Q_b}{\partial f'} \Delta f' + \frac{\partial Q_b}{\partial \alpha} \Delta \alpha + \frac{\partial Q_b}{\partial \varphi'} \Delta \varphi',$$

где ΔM_p , ΔD_0 , ..., $\Delta \varphi'$ – допустимое отклонение соответствующего параметра.

Последнее выражение можно записать

$$\delta Q_b = \Delta Q_{M_p} + \Delta Q_{D_0} + \Delta Q_{D_1} + \Delta Q_{f'} + \Delta Q_{\alpha} + \Delta Q_{\varphi'}. \quad (3)$$

Погрешность δQ_n от неодновременности начала наживления и продолжительности завинчивания резьбовых деталей

При автоматизированной сборке из-за произвольного взаимного расположения заходных кромок резьбы момент начала наживления резьбовых деталей может отличаться до $\varphi_n = \frac{3}{4}\pi$. Кроме того, из-за различной длины резьбовых деталей различаются и длины завинчивания.

Из пропорции

$$p - 2\pi;$$

$$\Delta - \varphi_{\text{дт}}$$

найдем максимальный угол рассогласования при завинчивании:

$$\varphi_{\text{дт}} = \frac{2\pi\Delta}{p},$$



где p – шаг резьбы;

Δ – допуск на длину резьбовой детали;

$\varphi_{\text{дт}}$ – угол поворота резьбовой детали.

Максимальное суммарное рассогласование углов завинчивания шпильки запишется:

$$\varphi_{\text{ш}} = \varphi_{\text{н}} + \varphi_{\text{д}} = \pi \left(\frac{3}{4} + \frac{2\Delta}{p} \right). \quad (4)$$

Как только сработает МПМ, например, с полумуфтами 24 и 25 (см. рисунок), т.е. полумуфты начнут проскальзывать, сработает механизм свободного хода 12: его собачка войдет в зацепление с зубом храпового колеса, и резьбовая деталь патроном 20 начнет затягиваться. А патрон 31 будет продолжать завинчивать левую резьбовую деталь.

Пусть отставание завинчивания резьбовой детали в патроне 31 максимально и соответствует выражению (4). Найдем время окончания процесса завинчивания патроном 31 левой резьбовой детали на угол

$$\varphi_{\text{ш}}^{\text{л}} = \omega_{\text{ш}}^{(6)} t, \quad (5)$$

где $\omega_{\text{ш}}^{(6)}$ – угловая скорость шпинделя по быстроходной ветви вращения (электродвигатель 1, зубчатые передачи 49, 7; 8, 43; 26, 27; 28, 35; 34, 30; 29, 33, шпиндель 32).

Угловая скорость шпинделя по быстроходной ветви вращения равна

$$\omega_{\text{ш}}^{(6)} = \frac{\omega_{\text{д}}}{i_{\text{д,ш}}^{(6)}}, \quad (6)$$

где $i_{\text{д,ш}}^{(6)}$ – передаточное отношение от электродвигателя до шпинделя по быстроходной ветви вращения;

$\omega_{\text{д}}$ – угловая скорость вращения вала двигателя.

С учетом (4) и (6) время дозавинчивания левой резьбовой детали (по левой ветви механизма) равно

$$t = \frac{30 \left(\frac{3}{4} + \frac{2\Delta}{p} \right) i_{\text{д,ш}}^{(6)}}{n_{\text{д}}}, \quad (7)$$

где $n_{\text{д}}$ – частота вращения вала двигателя.

Найдем за это же время угол затяжки правой резьбовой детали, который и определяет погрешность угла затяжки:

$$\varphi_{\text{ш}}^{\text{п}} = \omega_{\text{ш}}^{(7)} t, \quad (8)$$

где $\omega_{\text{ш}}^{(7)}$ – угловая скорость вращения шпинделя по тихоходной ветви вращения (электродвигатель 1, зубчатые передачи 49, 7; 8, 43; 36, 14; 10, 9; 4, 6; 2; 17, 22; 21, 18, шпиндель 19):

$$\omega_{\text{ш}}^{(7)} = \frac{\omega_{\text{д}}}{i_{\text{д,ш}}^{(7)}}; \quad (9)$$

$i_{\text{д,ш}}^{(7)}$ – передаточное отношение от электродвигателя до шпинделя по тихоходной ветви вращения;

$$\omega_{\text{д}} = \frac{\pi n_{\text{д}}}{30}. \quad (10)$$

Окончательно погрешность угла затяжки с учетом (4), (7) и (10) запишется:

$$\varphi_{\text{ш}}^{\text{п}} = \frac{\pi \left(\frac{3}{4} + \frac{2\Delta}{p} \right) i_{\text{д,ш}}^{(6)} i_{\text{д,ш}}^{(7)}}{i_{\text{д,ш}}^{(7)}}. \quad (11)$$

Из работы [5] известна зависимость осевой силы затяжки от угла поворота резьбовой детали $\varphi_{\text{дт}}$, площади сечения болта F_6 , модуля упругости E_6 материала тела болта, длины l_6 растяжения тела болта:

$$\delta Q = \frac{\varphi F_6 E_6 p}{2\pi l_6}. \quad (12)$$

Тогда относительные погрешности осевых сил затяжки многшпиндельными гайковертами от неодновременности начала и продолжительности завинчивания с учетом (12) согласно [5] запишутся:

$$\delta Q_{\text{н}} = \frac{\left(\frac{3}{4} + \frac{2\Delta}{p} \right) i_{\text{д,ш}}^{(6)} F_6 E_6 p}{2l_6 i_{\text{д,ш}}^{(7)}}. \quad (13)$$

Обозначим соотношение

$$A = \frac{i_{\text{д,ш}}^{(6)}}{i_{\text{д,ш}}^{(7)}}. \quad (14)$$

Из этого выражения видно, что чем меньше A , тем меньше относительные погрешности осевых сил затяжки резьбовых соединений в данной сборке.



Погрешность $\delta Q_k^{(6)}$ от кинематических погрешностей углов поворота шпинделей

Кинематическую погрешность характеризуют точность изготовления деталей механизма, технология сборки, а также силовые и температурные деформации.

Кинематическая погрешность угла поворота ведомого звена многоступенчатой зубчатой передачи [6] равна

$$\Delta\varphi_k = \nu \sum_{j=1}^n \frac{\Delta\varphi_{kj}}{i_{jn}} = 0,7 \sum_{j=1}^n \frac{F'_{ij}}{z_j m_j i_{jn}} = \sum_{j=1}^n \frac{4,8 F'_{ij}}{z_j m_j i_{jn}}, \quad (15)$$

где F'_{ij} – допустимое значение кинематической погрешности для j -го цилиндрического прямозубого колеса, определяемое по ГОСТ, мкм;

ν – вероятностный коэффициент, учитывающий уменьшение действительной погрешности по сравнению с F'_{ij} ($\nu = 0,7$);

m_j – модуль зацепления j колеса;

z_j – число зубьев j колеса (шестерни);

$i_{j,n}$ – передаточное отношение от звена j к звену n .

Найдем кинематическую погрешность зубчатой передачи при повороте ведомого звена (шпинделя) на угол φ .

По быстроходной ветви вращения (предварительная затяжка) угловая погрешность запишется:

$$\delta\varphi_k^{(6)} = 4,8 \sum_{j=1}^n \frac{F'_{ij}{}^{(6)}}{m_j^{(6)} z_j^{(6)} i_{j,n}^{(6)}}. \quad (16)$$

По тихоходной ветви вращения (окончательная затяжка)

$$\delta\varphi_k^{(7)} = 4,8 \sum_{u=1}^m \frac{F'_{iu}{}^{(7)}}{m_u^{(7)} z_u^{(7)} i_{u,m}^{(7)}}, \quad (17)$$

где u – номер цилиндрического прямозубого колеса тихоходной ветви вращения.

Максимальные погрешности осевых сил затяжки от погрешностей угла поворота шпинделей гайковерта согласно [5] запишутся:

♦ на этапе предварительной затяжки

$$\delta Q_k^{(6)} = \frac{\delta\varphi_k^{(6)} F_6 E_6 p}{2\pi l_6}, \quad (18)$$

♦ на этапе окончательной затяжки

$$\delta Q_k^{(7)} = \frac{\Delta\varphi_k^{(7)} F_6 E_6 p}{2\pi l_6}. \quad (19)$$

Погрешность $\delta Q_{\Delta J}^{(6)}$ от разности приведенных моментов инерции вращающихся частей гайковерта и резьбовой детали к осям шпинделей

В момент затяжки резьбового соединения гайковертом происходит торможение оси шпинделя. При этом возникает момент сил инерции, совпадающий с направлением вращения шпинделя:

$$M^n = J_z \varepsilon, \quad (20)$$

где J_z – приведенный момент инерции вращающихся элементов гайковерта, патрона и резьбовой детали к оси шпинделя;

ε – угловое ускорение (торможение) вращения при затяжке резьбовой детали: считаем, что в процессе затяжки резьбового соединения имеем дело с равнозамедленным движением.

Тогда угол затяжки резьбового соединения

$$\varphi = \frac{\varepsilon t_{\text{зат}}^2}{2}; \quad \omega_1 = \omega_0 - \varepsilon t_{\text{зат}},$$

где ω_0, ω_1 – угловые скорости вращения шпинделя в начальный момент времени и в момент времени t соответственно;

$t_{\text{зат}}$ – время затяжки.

В конце затяжки $\omega_1 = 0$, тогда

$$\varepsilon = \frac{\omega_0}{2\varphi}. \quad (21)$$

Известно [5], что угол затяжки равен

$$\varphi = 2\pi \frac{Q_0 l_6}{E_6 F_6 p}. \quad (22)$$

Подставляя (22) в (21), а затем в (20), найдем момент сил инерции, который будет возникать при затяжке и изменять его. Тогда увеличение момента затяжки от величины приведенного момента инерции вращающихся элементов гайковерта к оси вращения шпинделя при заданном значении Q_0 и угловой скорости вращения запишется

$$M_J = \frac{J_z \omega_0^2 F_6 E_6 p}{4\pi Q_0 l_6}. \quad (23)$$

Как уже отмечалось выше, одновременное одинаковое увеличение моментов затяжки на каждом шпинделе в некоторых пределах не может повлиять на качество сборки группового резьбового со-



единения, так как $M_{\Delta J}$ является систематической погрешностью момента затяжки, который не может повлиять на качество сборки группового резьбового соединения.

Изменение момента затяжки в зависимости от "нестабильности", т.е. от неодинаковых значений моментов инерции, приведенных к осям различных шпинделей многшпиндельного гайковерта, дает случайную погрешность момента затяжки:

$$M_{\Delta J} = \frac{\Delta J_z \omega_0^2 F_6 E_6 p}{4\pi Q_0 l_6}. \quad (24)$$

Следовательно, максимальные погрешности осевых сил затяжки от "нестабильности" приведенных моментов инерции запишутся:

$$\delta Q_{\Delta J} = \frac{\Delta J_z \omega_0^2 F_6 E_6 p}{4\pi Q_0 l_6 \left[\frac{1}{3} \mu_{тр} \frac{D^3 - d_0^3}{D^2 - d_0^2} + \frac{d_2}{2} \operatorname{tg} \left(\frac{p}{\pi d_2} + \rho \right) \right]}, \quad (25)$$

где D – средний диаметр головки болта;

d_0 – наружный диаметр резьбы;

d_2 – средний диаметр резьбы;

ρ – угол трения в резьбе;

$\mu_{тр}$ – коэффициент трения на торце болта.

Погрешность $\delta Q_{\Delta \omega}^{(6)}$ от разности угловых скоростей вращения шпинделей в момент начала затяжки резьбовых соединений

Изменение угловой скорости вращения резьбовой детали в момент начала затяжки изменяет угловое ускорение при торможении, а следовательно, момент сил инерции и, в конечном счете, момент затяжки.

Для оценки погрешностей моментов и осевых сил затяжки от изменения угловой скорости вращения шпинделя можно воспользоваться выражением (23):

$$M_{\omega} = \frac{J_z \omega_0^2 F_6 E_6 p}{4\pi Q_0 l_p},$$

где l_p – растягиваемая часть резьбовой детали;

Q_0 – осевая сила затяжки.

При этом $J_z = \text{const}$; $Q_0 = \text{const}$.

Погрешность момента осевой силы затяжки от увеличения угловой скорости затяжки на всех шпинделях в определенном диапазоне не может повлиять на качество затяжки группового резьбового соединения, а нестабильность угловых скоро-

стей на различных шпинделях дает погрешность моментов или осевых сил затяжки, которые влияют на качество сборки:

$$\delta Q_{\Delta \omega} = \frac{J_z \Delta \omega_0^2 F_6 E_6 p}{4\pi Q_0 l_6 \left[\frac{1}{3} \mu_{тр} \frac{D^3 - d_0^3}{D^2 - d_0^2} + \frac{d_2}{2} \operatorname{tg} \left(\frac{p}{\pi d_2} + \rho \right) \right]}.$$

Погрешность δQ_c от нестабильности момента сопротивления в резьбе при предварительной затяжке

При затяжке резьбовых соединений моменты сопротивления зависят от многих факторов: точности изготовления болта и резьбы, шероховатости поверхностей резьбы и нижней плоскости головки болта, саблевидности тела болта и т.д.

Осевая сила предварительной затяжки резьбового соединения определяется из выражения [5]

$$\delta Q_{пр} = \frac{M_{пр}}{\left[\frac{1}{3} \mu_{тр} \frac{D^3 - d_0^3}{D^2 - d_0^2} + \frac{d_2}{2} \operatorname{tg} \left(\frac{p}{\pi d_2} + \rho \right) \right]}. \quad (26)$$

Суммарную погрешность осевой силы предварительной затяжки в зависимости от параметров резьбовых деталей, физико-механических свойств их материалов и других факторов можно найти по методу линейных ошибок.

Максимальная относительная погрешность осевых сил при предварительной затяжке группового резьбового соединения запишется

$$\delta Q_{пр} = \sqrt{\delta Q_{МПМ}^2 + \delta Q_{н}^2 + \delta Q_{к}^{(6)2} + \delta Q_{\Delta J}^{(6)2} + \delta Q_{\Delta \omega}^{(6)2} + \delta Q_c^2}. \quad (27)$$

В момент окончательной затяжки резьбовых соединений возникают погрешности:

$\delta Q_{к}^{(т)}$, $\delta Q_{МСХ}^{(т)}$ – от неодновременности включения механизмов свободного хода (МСХ);

$\delta Q_{\Delta J}^{(т)}$ и $\delta Q_{\Delta \omega}^{(т)}$ при передаче вращения по тихоходным ветвям.

Математические зависимости погрешностей $\delta Q_{к}$, $\delta Q_{\Delta J}$ и $\delta Q_{\Delta \omega}$ найдены.

Погрешность $\delta Q_{МСХ}$ от неодновременности включения механизмов свободного хода

Включение МСХ для передачи вращения происходит тогда, когда собачка войдет в зацепление с зубом храпового колеса.



Максимальное отставание включения медленного вращения шпинделей имеет место, когда в одном из механизмов в момент отключения МПМ собачка сразу войдет в зацепление с зубом храпового колеса, а в другом — только выйдет из зацепления и вновь войдет при повороте храпового колеса на один зуб.

Из пропорции

$$\begin{aligned} 2\pi - z_x; \\ \varphi_{3,x}^{(r)} - 1; \end{aligned} \quad (28)$$

можно найти угол поворота храпового колеса на один зуб по тихоходной ветви вращения

$$\varphi_{3,x}^{(r)} = \frac{2\pi}{z_x},$$

где z_x — число зубьев храпового колеса.

Тогда угол максимального отставания поворота одного из шпинделей от другого или погрешность угла затяжки резьбовых соединений из-за неодновременности включения МСХ запишем

$$\varphi_{МСХ}^{(r)} = \frac{\varphi_{3,x}}{i_{x,ш}^{(r)}} = \frac{2\pi}{z_x i_{x,ш}^{(r)}}, \quad (29)$$

где $i_{x,ш}^{(r)}$ — передаточное отношение от оси храпового колеса до оси шпинделя по тихоходной ветви вращения.

Максимальные погрешности осевых сил затяжки от неодновременности включения МСХ равны

$$\delta Q_{МСХ} = \frac{\delta \varphi_{МСХ}^{(r)} F_6 E_6 p}{2\pi l_6} = \frac{F_6 E_{p6}}{l_6 z_x i_{x,ш}^{(r)}}. \quad (30)$$

Максимальная относительная погрешность осевых сил на этапе окончательной затяжки равна

$$\delta Q_0 = \sqrt{\delta Q_k^{(r)2} + \delta Q_{МСХ}^{(r)2} + \delta Q_{\Delta J}^{(r)2} + \delta Q_{\Delta \omega}^{(r)2}}. \quad (31)$$

Максимальная относительная погрешность осевых сил затяжки многшпиндельным гайковертом на основе МПМ и МСХ

$$\delta Q_{зат} = \sqrt{\delta Q_{пр}^2 + \delta Q_0^2}. \quad (32)$$

Из анализа расчетов погрешностей осевых сил затяжки многшпиндельным гайковертом установлено, что подавляющее воздействие на осевые

силы оказывает погрешность от неодновременности начала наживления и продолжительности заворачивания резьбовых деталей (13).

Но, как видно из (13), величина погрешности зависит от отношения (14), т.е. соотношения передаточных отношений быстроходной ветви вращения к тихоходной.

Расчеты показали:

■ при $A = \frac{1}{25}$ погрешность $\delta Q_{пр}$ составляет до 9 %

от $Q_{зат}$ (номинального значения осевой силы затяжки);

■ при $A = \frac{1}{50}$ — до 4,5 % от $Q_{зат}$;

■ при $A = \frac{1}{100}$ — до 2,2 % от $Q_{зат}$.

Таким образом, устанавливая планетарный редуктор вместо зубчатых передач 10, 9; 4, 5 и 2, 3 по одной ветви вращения и вместо 41, 42; 44, 47 и 48, 46 — по другой, можно обеспечить высокую точность осевых сил затяжки многшпиндельным гайковертом, на первый взгляд не обеспечивающим качественную затяжку групповых резьбовых соединений.

Определение основных параметров устройства

Основной параметр, который должен обеспечить гайковерт — осевая сила или момент затяжки резьбовых соединений.

В работе [5] дана таблица осевых сил и моментов затяжки резьбовых соединений в зависимости от класса прочности резьбы и коэффициента трения на торце головки болта.

Осевую силу предварительной затяжки резьбовых соединений согласно [1, 4] находят из выражения:

$$Q_{пр} = \frac{0,65 Ra E_y F_y}{H_y},$$

где Ra — высота микронеровностей сопрягаемых поверхностей узла и детали;

E_y — модуль упругости материала уплотнения;

F_y — площадь сжимаемого уплотнения;

H_y — толщина уплотнения.

Угол окончательной затяжки резьбовых деталей, град, с учетом установленного в стык уплотнения согласно [4] равен:

$$\varphi = \frac{360(\Delta_y + \Delta_\delta)}{p},$$



где Δ_y – предельное значение деформации уплотнения:

$$\Delta_y = \frac{PH_y}{E_y F_y};$$

p – шаг резьбы;

P – сила сжатия уплотнения;

Δ_δ – величина удлинения уплотнения:

$$\Delta_\delta = \frac{Q_{\text{зат}} l_6}{E_6 F_6}.$$

Предельное быстродействие завинчивания и затяжки резьбовых соединений

Предельную угловую скорость вращения шпинделей по быстроходным ветвям вращения (завинчивание и предварительная затяжка) определяют по предельной угловой скорости при наживлении, которую согласно [1, 4] находят из выражения

$$\omega_n \leq 0,78 \sqrt{\frac{2[\tau_{\text{ср}}] S_{\text{ср}} h_{\text{ср}} \cos(\gamma - \psi)}{J'_{\text{зат}} \sin^2(\gamma - \psi) \cos \alpha / 2}},$$

где $[\tau_{\text{ср}}]$ – предел прочности материала резьбы на срез;

$S_{\text{ср}}$ – площадь среза заходной кромки резьбы ($S_{\text{ср}} = 0,278p^2$);

$h_{\text{ср}}$ – глубина среза: $h_{\text{ср}} = 0,375p$;

γ – предельный угол взаимодействия заходных фасок (перекос осей):

$$\text{tg} \gamma = 0,5p/D;$$

ψ – угол наклона винтовой линии резьбы:

$$\text{tg} \psi = p/\pi D_2;$$

D_2 – средний диаметр резьбового отверстия;

$J'_{\text{зат}}$ – приведенный момент инерции вращающихся частей гайковерта и резьбовой детали к оси шпинделя по быстроходной ветви вращения;

α – угол профиля резьбы.

Например, при наживлении резьбовой детали из стали с $D = 8$ мм предельная частота вращения $n \approx 60$ об/мин.

Предельная угловая скорость вращения по тихоходной ветви вращения (окончательная затяжка) согласно [1] равна

$$\omega_{\text{зат}} = \sqrt{\frac{4M^{\text{ин}} \pi Q_{\text{зат}} l_6}{J'_{\text{зат}} F_6 E_6 p}},$$

где $J'_{\text{зат}}$ – приведенный момент инерции вращающихся частей гайковерта и резьбовой детали по тихоходной ветви вращения.

Для обеспечения относительной погрешности осевых сил затяжки в пределах 10 % от их номинальных значений частота вращения шпинделя не должна превышать 5...7 об/мин.

Вывод

Обоснована целесообразность выбора кинематической схемы многошпиндельного гайковерта средней точности (относительная погрешность осевых сил затяжки не превышает 10 % от $Q_{\text{зат}}$) на основе муфт предельного момента и механизмов свободного хода.

Библиографический список

1. Житников Ю.З., Житников Б.Ю., Схиртладзе А.Г., Симаков А.А., Воркуев Д.С. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учебник для машиностроительных вузов / под общ. ред. Ю.З. Житникова. Ковров: КГТА, 2008. 616 с.
2. Житников Б.Ю., Симаков А.Л. Методология разработки универсальных, высокоточных, многошпиндельных, завинчивающих устройств нового класса: Монография / под общ. ред. Ю.З. Житникова. Ковров: ГОУ ВПО "КГТА", 2002. 216 с.
3. Патент № 2288834. Многошпиндельный гайковерт / Ю.З. Житников, Б.Ю. Житников и др. Б.И. № 34, 2006.
4. Кулаков Г.А., Гусева И.А., Житников Ю.З., Рыльцев И.К. Автоматизация и механизация серийной сборки изделий. М.: Янус-К, 2003. 324 с.
5. Иосилевич Г.Б., Строганов Г.Б., Шарловский Ю.В. Затяжка и стопорение резьбовых соединений, 2-е изд. М.: Машиностроение, 1985. 244 с.
6. Решетов Д.Н. Детали машин. М.: Машиностроение, 1989. 496 с.

УДК 621

Э.Л. Хазиев; С.В. Дмитриев, д-р техн. наук
(Камская государственная инженерно-экономическая академия)

Золотниковый газораспределительный механизм двигателя внутреннего сгорания с приводом от шагового двигателя

Предлагается газораспределительный механизм золотникового типа (ЗГМ) с принудительным охлаждением для двигателя внутреннего сгорания, который приводится в движение шаговым двигателем. Благодаря такому приводу появляется возможность регулировать поворот ЗГМ на необходимый угол, изменяя показатель "время-сечение" на отдельных режимах работы двигателя.

A gas-distributive mechanism of a spool-type (SGM) with forced cooling is offered for an explosion engine, which is actuated by a step-by-step drive. Due to such drive, there is an opportunity to regulate a turn of a SGM on a necessary corner, changing an index of "time – section" on a separate power setting.

Ключевые слова: газораспределительный механизм; золотниковый газораспределительный механизм; газораспределительный механизм золотникового типа с принудительным охлаждением; золотниковый газораспределительный механизм для двигателя внутреннего сгорания; двигатель внутреннего сгорания; шаговый двигатель.

Key words: gas-distributive mechanism, spool-type gas-distributive mechanism, gas-distributive mechanism of a spool-type with forced cooling, spool-type gas-distributive mechanism of an explosion engine, explosion engine, step-by-step drive.

Одним из направлений борьбы с негативным экологическим воздействием двигателя внутреннего сгорания на окружающую среду является разработка новых конструктивных решений. В частности, замена клапанного газораспределительного механизма на золотниковый механизм.

В технике золотниковое газораспределение известно достаточно давно, однако не нашло широкого применения в конструкциях двигателя внутреннего сгорания. Золотниковый газораспределительный механизм (ЗГМ) позволяет получить максимальные проходные сечения, обеспечивающие хорошее наполнение и очистку цилиндра двигате-

ля внутреннего сгорания (ДВС). А значит, ЗГМ, в отличие от клапанной схемы, дает возможность повысить величину коэффициента наполнения и литровой мощности двигателя без увеличения числа подвижных элементов.

Главными причинами, по которым золотниковое газораспределение не нашло практического использования в ДВС, являются:

- трудность изготовления привода газораспределительного механизма;
- возможное заклинивание золотникового механизма во время работы вследствие высоких температурных нагрузок.

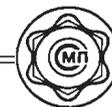
На современном этапе развития металлообработки и применения новых сплавов изготовление практичных и надежных ЗГМ становится реальным. Классическая схема привода – от коленчатого вала двигателя для ЗГМ – не подходит по двум причинам.

Во-первых, при высоких частотах вращения возникают динамические силы, приводящие со временем к износу гильз и золотников и, как следствие этого, появлению утечек газов.

Во-вторых, нарушаются фазы газораспределения.

Проблему отвода теплоты можно решить, используя принудительное охлаждение золотникового механизма. Благодаря применению принудительного охлаждения можно дополнительно уменьшить температуру топливовоздушной смеси, что приведет к уменьшению образования токсичных соединений в выхлопных газах двигателя, рабочей температуры деталей ЗГМ и увеличению срока эксплуатации двигателя.

Для отвода теплоты в ЗГМ двигателя внутреннего сгорания с принудительным охлаждением служит вращающийся цилиндрический золотник, размещенный в головке цилиндров, который снабжен каналом для подачи охлаждающей жидкости.



Золотниковый газораспределительный механизм (рис. 1) содержит вращающийся цилиндрический золотник 1, размещенный в головке 2 блока цилиндров 3, снабженный каналом 4 для принудительной подачи охлаждающей жидкости, и радиальными окнами 5 и 6 (на каждом цилиндре), которые связывают камеры сгорания 7 цилиндров двигателя соответственно с впускным 8 и выпускным 9 патрубками. Золотник снабжен кольцевыми уплотнительными элементами 10 и связан валом 11 с шаговым двигателем. Каналы 12 и 13 – соответственно каналы для подачи и отвода охлаждающей жидкости в корпусе головки. Для установки свечи зажигания служит отверстие 14.

Механизм работает следующим образом. Привод золотника осуществляется от шагового двигателя. Вращение шагового двигателя передается золотнику 1 через вал 11. Окна 5 и 6 золотника 1 имеют в разрезе сегментную форму (их угловое раскрытие составляет, например, 110°), направлены в разные стороны, разнесены по длине золотника 1 и не сообщаются между собой. Кроме того, центры окон отстают один от другого на 120° по ходу вращения золотника.

Окно 5 является окном впуска рабочей смеси, а окно 6 служит для выпуска газа из цилиндра 3 двигателя. При совмещении радиального окна 5 с впускным патрубком 8 камера сгорания 7 сообщается с выпускным патрубком 9. А при совмещении окна 6 с выпускным патрубком 9 камера сгорания 7 цилиндра сообщается с выпускным патрубком 9. Тем самым осуществляются необходимые фазы газораспределения двигателя.

При вращении золотника по подводящему каналу 12 подается охлаждающая жидкость, поступающая в канал 4. Пройдя канал 4 золотника, охлаждающая жидкость поступает в отводящий канал 13, и происходит ее слив.

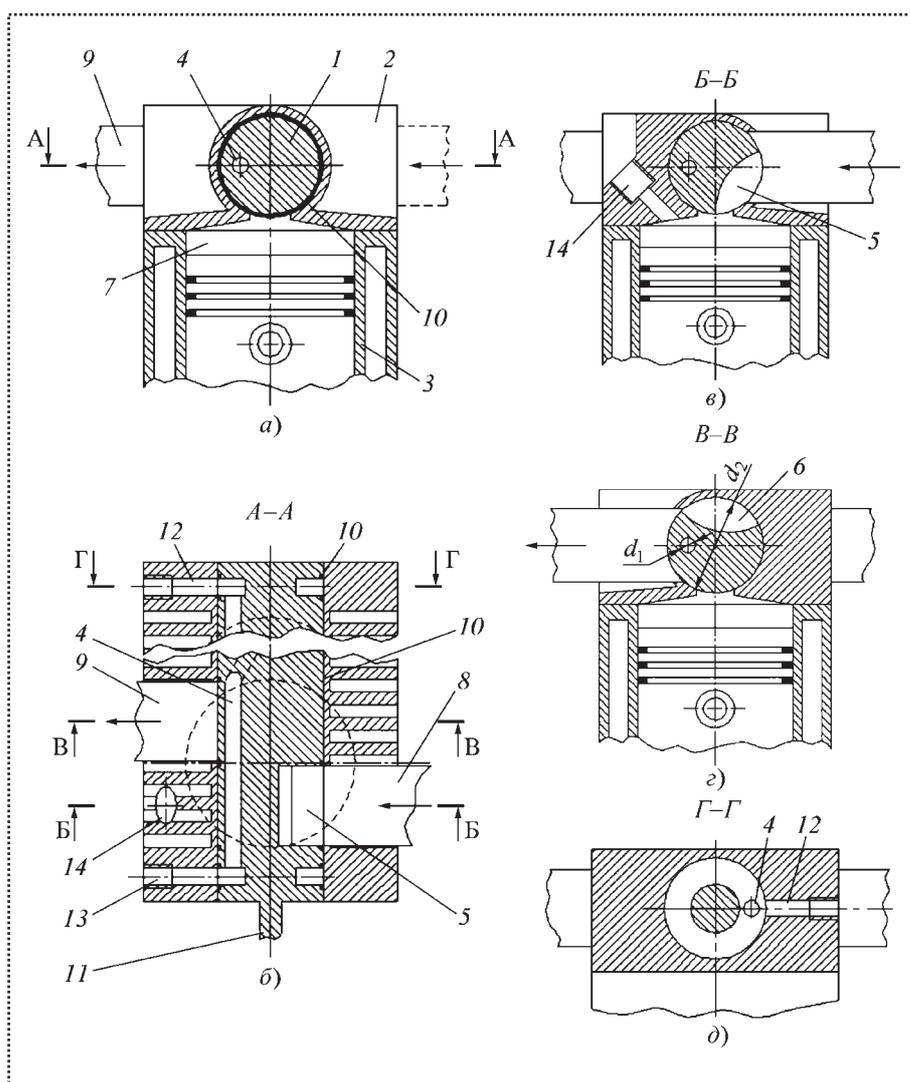


Рис. 1. Золотниковый газораспределительный механизм:

a – поперечное сечение; *б* – продольное сечение *A-A*; *в* – сечение по впускному окну *B-B*; *г* – сечение по выпускному окну *B-B*; *д* – сечение *Г-Г* – клапан подачи охлаждающей жидкости; d_1 – диаметр канала охлаждения; d_2 – диаметр ЗГМ

Проведем тепловой расчет ЗГМ [1] в целях определения температуры рабочих поверхностей и диаметрального размера ЗГМ при влиянии рабочей температуры при условии, что ЗГМ рассматривается как цилиндрическая стенка, а также с учетом того, что диаметры d_1 и d_2 имеют общую ортогональную ось (см. рис. 1, *г*).

Определим линейный коэффициент теплопередачи k_1 :

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) + \frac{R_{k1}}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} = 0,011, \quad (1)$$

где $\lambda_1 = 164,4$ Вт/(м·град) – коэффициент теплопроводности для дюралюминия;

$R_{k1} = 0$ – контактное термическое сопротивление, оно равно 0, так как стенка однослойная;

$d_1 = 0,016$ м – диаметр канала охлаждения;

$d_2 = 0,04$ м – диаметр ЗГМ;

$\alpha_1 = 1$ и $\alpha_2 = 1$ – коэффициенты, определяющие интенсивность теплообмена.

Определим тепловой поток q_1 , Вт/м², при типовых значениях параметров термодинамического цикла ДВС:

$$q_1 = \pi k_1 (t_{f1} - t_{f2}) = 99,81, \quad (2)$$

где t_{f1} и t_{f2} – температуры теплоносителей, для расчета были взяты следующие значения [2]:

$t_{f1} = 2800$ К – температура в конце такта сгорания (усредненное значение для бензинового двигателя);

$t_{f2} = 20$ К – температура охлаждающей жидкости (температурный перепад жидкости при принудительной циркуляции).

Температуры поверхностей, соприкасающихся с теплоносителем, К:

$$t_{w1} = t_{f1} - \frac{q_1}{\pi \alpha_1 d_1} = 814,349; \quad (3)$$

$$t_{w2} = t_{f2} + \frac{q_1}{\pi \alpha_2 d_2} = 814,26, \quad (4)$$

где t_{w1} – температура на стенках канала охлаждения;

t_{w2} – температура на внешней стенке ЗГМ.

Определим диаметральный размер ЗГМ с учетом влияния рабочей температуры. Выбираем материал для деталей ЗГМ – легированную сталь. Используем коэффициент линейного температурного расширения a , для стали он равен $117 \cdot 10^{-7}$ град⁻¹ [3]:

$$a = \frac{d_t - d_2}{d_2 (t_{w2} - t_c)}, \quad (5)$$

где d_t – диаметр ЗГМ после нагрева до температуры t_{w2} ;

t_c – начальная температура поверхности до начала работы (сжатия), примем ее равной температуре $t_c = 793$ К, в конце такта сжатия для ДВС с непосредственным впрыском топлива при частоте вращения коленчатого вала 7000 мин⁻¹ [2].

Выразим d_t , м, из выражения (5):

$$d_t = a d_2 (t_{w2} - t_c) + d_2 = 117 \cdot 10^{-7} \cdot 0,04 (814,26 - 793) + 0,04 = 0,0400099. \quad (6)$$

Как видно из полученного значения, зазор между золотником и гильзой составляет 9 мкм. Из справочной литературы известно, что для крановых распределителей, к которым можно отнести предлагаемую конструкцию, концентрический зазор может быть сведен к 4...6 мкм [4].

Расчет показал:

■ при использовании принудительного охлаждения ЗГМ уменьшается температура рабочих поверхностей механизма;

■ зазор между вращающимся золотником и гильзой может быть сведен к минимальным значениям без потери работоспособности механизма.

На современном этапе развития двигателестроения все большее внимание уделяется применению электроники в ДВС: электронно-управляемые системы топливоподачи, зажигания, и электромагнитный привод газораспределительного механизма. По нашему мнению, перспективным направлением развития привода газораспределительного механизма ДВС также является замена клапанного механизма золотниковым устройством, работающим не от коленчатого вала, а имеющего привод от шагового двигателя (рис. 2).

Принцип действия этого устройства следующий. Контроллер 1 (или электронный блок управления) – это микропроцессор, центральное устройство системы управления двигателем. Он получает информацию от датчиков и управляет исполнительными механизмами, обеспечивая оптимальную работу двигателя при заданном уровне показателей автомобиля. Контроллер способен генерировать импульсы шагов и сигналы направления драйверу.

На основе этого контроллер может иметь любые необходимые режимы работы. Устройство, которое конвертирует сигналы контроллера в ток, необходимый для питания обмоток шагового двигателя, называется драйвером. Его можно интегриро-

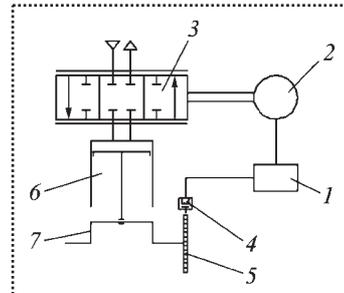
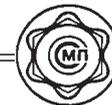


Рис. 2. Схема привода от шагового двигателя



вать в контроллер или непосредственно в шаговый двигатель, по этой причине он не показан на схеме.

Шаговый двигатель 2 — это электромагнитное устройство, которое конвертирует прямоугольные импульсы электрического напряжения в механическое вращение (или перемещение) вала. Он управляется контроллером и соединен валом с дросселирующим, трехпозиционным, вращаемым ЗГМ 3.

Датчик положения коленчатого вала (ДПКВ) 4 соединен с контроллером, установлен на расстоянии $\pm 0,4$ мм от задающего диска коленчатого вала.

Задающий диск 5 объединен со шкивом привода генератора и представляет собой зубчатое колесо с 60 зубьями, расположенными на его периферии с шагом в 6° . Для синхронизации два зуба пропущены. При совмещении середины первого зуба зубчатого сектора диска после этой "длинной" впадины, образованной пропущенными зубьями с осью ДПКВ, коленчатый вал двигателя (6) находится в положении 114° (19 зубьев) до верхней мертвой точки 1-го и 4-го цилиндров [5].

При вращении задающего диска 5 вместе с коленчатым валом 7 изменяется магнитный поток в магнитопроводе датчика, который создает импульсы напряжения переменного тока в его обмотке. Контроллер определяет положение и частоту вращения коленчатого вала по количеству и частоте следования этих импульсов, управляет работой шагового двигателя, рассчитывает моменты срабатывания форсунок и модуля зажигания. Шаговый двигатель в свою очередь управляет вращением ЗГМ в соответствии с фазами работы двигателя.

Выводы

Использование ЗГМ имеет следующие преимущества по сравнению с клапанным газораспределением:

- возможность осуществления большего показателя "время—сечение" при тех же фазах распределения, что способствует улучшению наполнения цилиндра. Также улучшается очистка рабочей камеры цилиндра от отработавших газов;
- повышается количество поступающего воздуха, что способствует полному сгоранию смеси и приводит к уменьшению образования угарного газа (СО);
- малые динамические нагрузки на звенья газораспределительного механизма, что обуславливает возможность повышения скорости вращения вала;
- бесшумность работы;

- меньший нагрев заряда в каналах и меньшие гидравлические потери, также увеличивающие коэффициент наполнения;

- возможность применения повышенной степени сжатия в карбюраторных двигателях;
- в отличие от клапанов, движущихся возвратно-поступательно, золотникам может быть придано вращательное (непрерывное или с меняющимся направлением) движение или возвратно-поступательное с поворотом золотника на заданный угол.

Применение принудительного охлаждения ЗГМ дополнительно позволит:

- уменьшить температуру топливоздушной смеси, что приведет к уменьшению образования сажи;
- увеличить количество теплоты, рассеиваемой системой охлаждения, а значит, возможно, увеличение срока эксплуатации двигателя;
- снизить температуру газов при сгорании, что ведет к уменьшению выбросов NO_x ;
- исключить заклинивание золотникового механизма во время работы.

Использование в качестве привода ЗГМ ДВС шагового двигателя дополнительно позволит:

- регулировать поворот ЗГМ на необходимый угол, что приведет к увеличению показателя "время—сечение";
- снизить динамические нагрузки на детали ЗГМ, срок эксплуатации двигателя увеличивается;
- понизить расход топлива (при непосредственном впрыске топлива в рабочую камеру цилиндра).

Библиографический список

1. Хазен М.М., Матвеев Г.А., Грицевский М.Е., Казакевич Ф.П. Теплотехника: учеб. пособие. М.: Высш. школа, 1981. 480 с.
2. Колчин А.И., Демидов В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. М.: Высш. шк., 2003. 496 с.
3. Писаренко Г.С., Агарев В.А., Квитка А.Л. и др. Сопrotивления материалов. Киев: Вища шк. 1986. 775 с.
4. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика. М.: Машиностроение. 1971. 672 с.
5. Система управления двигателем ВАЗ-2111 с распределенным впрыском топлива под нормы токсичности ЕВРО — 2, руководство по техническому обслуживанию и ремонту: Издательство Третий Рим, 2000. 192 с.



А.В. Кончиц (Самарский государственный аэрокосмический университет)

Поиск несоответствующего компонента при обнаружении причин несоответствий в автомобильном производстве

Представлен один из инструментов процедуры обнаружения причин несоответствий в автомобильном производстве – поиск несоответствующего компонента. Инструмент позволяет оценить степень влияния на несоответствие процесса сборки узла либо его компонентов, а также непосредственно выявить критическую сборочную операцию или критический компонент узла, содержащий несоответствие.

One of the tools for nonconformity's investigation procedure in the automotive industry is introduced – nonconforming component search. The tool evaluates the influence of an assembling process or components of a unit as a cause of nonconformity and defines the critical assembling operation or a critical component of the nonconforming unit.

Ключевые слова: автомобильное производство, компонент, процесс сборки, сборочная операция, несоответствие.

Key words: automotive industry, component, assembling process, assembling operation, nonconforming unit.

На современных российских машиностроительных предприятиях при возникновении того или иного технического несоответствия уже привычным алгоритмом для исследователя стал замер всех компонентов, составляющих несоответствующий узел, и последующая сверка полученных данных с параметрами, заданными в конструкторской документации. Однако, несмотря на популярность подобного алгоритма в российском автопроме, он не всегда позволяет определить коренную причину несоответствия. Причинами этого несоответствия могут быть:

♦ несоответствие, заложенное уже в конструкторской документации на стадии проектирования (например, слишком большие допуски);

♦ несоответствие, вызванное не отклонением размеров и форм поверхностей самих деталей, а отклонением процесса установки этих деталей от намеченного.

Таким образом, для обнаружения коренной причины несоответствия в автомобильном произ-

водстве необходим инструмент, позволяющий разделить влияние процесса сборки узла и влияние деталей, составляющих узел, а также выделить конкретную сборочную операцию либо деталь, влияющую на появление несоответствия. Это позволяет сделать "поиск несоответствующего компонента" инструментом, локализирующим критический компонент того или иного узла либо критический процесс сборки данного узла.

Основное условие для применения данного инструмента – возможность разборки узлов на компоненты, а также последующей их сборки без разрушающих воздействий. Инструмент основан:

■ на сравнении лучшего из соответствующих (ЛИС) и худшего из несоответствующих (ХИН) образцов посредством снятия/установки компонентов;

■ на изменении их взаимного положения и перемещении их местами. То есть на входе инструмента – сложный узел, приводящий к возникновению несоответствия; на выходе – неразборный компонент узла, содержащий причину несоответствия, либо процесс установки данного компонента.

"Поиск несоответствующего компонента" имеет три стадии:

1) определение влияния составляющих узел компонентов либо процесса установки данных компонентов;

2) определение критического компонента, влияющего на возникновение несоответствия, если причина в компонентах по результатам п. 1;

3) определение критического процесса установки того или иного компонента, если причина в сборочном процессе узла по результатам п. 1.

При исследовании *все несоответствия можно разделить на два вида:*

■ атрибутивные, рассматриваемые на уровне "да/нет", "есть несоответствие / нет несоответствия";



■ измерительные, рассматриваемые на вариативном уровне (в миллиметрах, децибелах, ньютонах и т.д.).

Рассмотрим инструмент "поиск несоответствующего компонента" отдельно для атрибутивного и измерительного несоответствий.

Атрибутивное несоответствие

Правила использования инструмента

1. Выбрать ЛИС- и ХИН-узлы и соответствующим образом промаркировать их.

Стадия 1

2. Разобрать ЛИС- и ХИН-узлы на более мелкие компоненты и собрать их вновь три раза. При этом до разборки и каждый раз после повторной сборки необходимо отмечать наличие/отсутствие несоответствия на ХИН/ЛИС-узлах.

3. Если в ходе хотя бы одной разборки/сборки из трех несоответствие ушло с ХИН-узла и перешло на ЛИС-узел, то **причиной возникновения несоответствия является сборочный процесс** данного узла. Если же несоответствие осталось на ХИН- и не проявилось на ЛИС-узле, то **причина находится в компонентах данного узла**.

Стадия 2

3.1. При вариации сборочного процесса необходимо определить критическое взаиморасположение компонентов узла. При этом рассматривают только ХИН-узел, на котором компоненты, участвовавшие в разборке/сборке, последовательно позиционируются в один экстремум (крайнее положение), затем – в другой. Если при позиционировании того или иного компонента ХИН-узел стал ЛИС-узлом, то **причина несоответствия заключается именно в положении данного компонента**.

3.2. При вариации компонентов сборочного узла необходимо последовательно менять местами компоненты, составляющие ЛИС- и ХИН-узлы, отслеживая после каждой замены наличие либо отсутствие несоответствия в узлах. Если несоответствие переходит вместе с заменой какого-либо компонента, то **данный компонент содержит причину несоответствия**.

На рис. 1 и 2 графически представлена реализация инструмента "поиск несоответствующего компонента" на примере атрибутивного несоответствия "дребезжание в районе замка двери водителя".

На рис. 1 отображено влияние сборочного процесса узла на возникновение несоответствия. На стадии 1 проводится трехкратная разборка/сборка

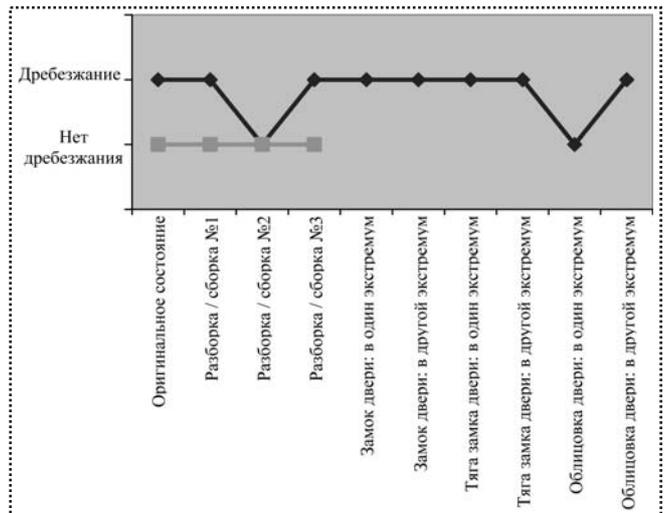


Рис. 1. Поиск несоответствующего компонента для атрибутивного несоответствия "дребезжание в районе замка двери водителя", влияние процесса сборки узла:

—■— — кривая дефектности ЛИС-автомобиля; —◆— — кривая дефектности ХИН-автомобиля

механизма замка двери, тяги замка двери, облицовки двери. После каждой разборки/сборки проводится оценка дребезжания (на атрибутивном уровне: есть/нет). Установлено, что после второй разборки/сборки узлов несоответствие "дребезжание" на ХИН-образце устраняется, после третьей разборки/сборки оно появляется вновь. Следовательно, причина несоответствия – в сборочном процессе узла (в данном случае сборочным узлом является дверь).

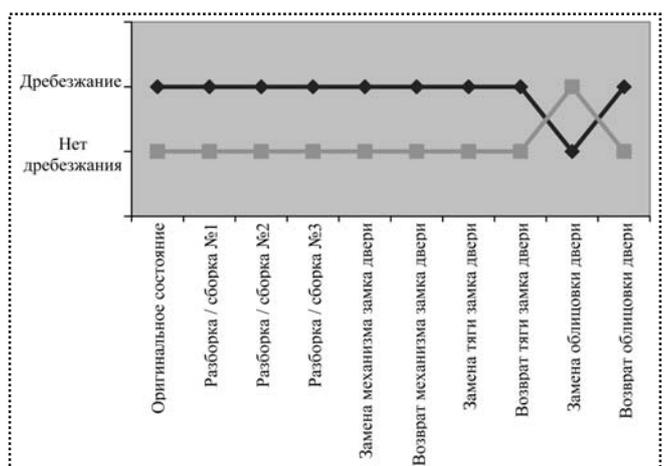


Рис. 2. Поиск несоответствующего компонента для атрибутивного несоответствия "дребезжание в районе замка двери водителя", влияние компонентов узла:

—■— — кривая дефектности ЛИС-автомобиля; —◆— — кривая дефектности ХИН-автомобиля



На стадии 2 для определения критической операции сборочного процесса на ХИН-узле производится установка компонента "механизм замка двери" в один экстремум, затем в другой. Несоответствие сохраняется, следовательно, причина не в процессе установки механизма замка двери. После чего производится установка компонента "тяга замка двери" в один и в другой экстремумы. Несоответствие остается, что означает, что причина не в данном компоненте.

При установке компонента "облицовка двери" в один из экстремумов несоответствие "дребезжание" устраняется. При установке этого же компонента в другое крайнее положение дребезжание возобновляется.

В связи с этим можно сделать вывод, что причина несоответствия "дребезжание в районе замка двери водителя" заключена в установке детали "облицовка двери". Поэтому дальнейшее исследование будет направлено на снижение вариативности положения облицовки на двери (возможно, посредством внедрения калибра).

На аналогичном примере рассмотрим ситуацию с влиянием самого компонента (см. рис. 2). В ходе трех разборок/сборок ЛИС- и ХИН-узлов (стадия 1) несоответствие "дребезжание" сохраняется на ХИН-автомобиле и не обнаруживается на ЛИС-автомобиле, из чего делаем вывод, что причина несоответствия не в сборочном процессе. Поэтому на стадии 2 исследуем влияние составляющих узел компонентов на возникновение несоответствия.

Производится замена местами механизмов замка двери с ЛИС-автомобиля на ХИН и с ХИН-автомобиля на ЛИС. Несоответствие сохраняется на ХИН-автомобиле и не обнаруживается на ЛИС-автомобиле. Значит, в компоненте "механизм замка двери" причины несоответствия нет. Поэтому данные компоненты устанавливаются в изначальные позиции, и аналогичным образом меняются местами следующие компоненты: тяги замков дверей с ЛИС- и ХИН-автомобилей. Несоответствие остается на ХИН-автомобиле и не появляется на ЛИС-автомобиле. Это значит, что причина не в компоненте "тяга замка двери".

Данные компоненты устанавливаются в изначальное состояние, и меняют местами облицовки дверей. При замене облицовок на ЛИС-автомобиле появилось дребезжание, а на ХИН-автомобиле дребезжание пропало. При повторной замене облицовок (возврат в изначальное состояние) несоот-

ветствие опять переходит вместе с облицовкой. Поэтому по результатам стадии 2 инструмента "поиск несоответствующего компонента" можно сделать вывод, что причина несоответствия "дребезжание в районе замка двери водителя" заключена в детали "облицовка двери". Поэтому дальнейшее исследование несоответствия (выяснение критического параметра геометрической формы компонента, его материала и т.д.) следует сосредоточить на неразборном компоненте "облицовка двери".

Измерительное несоответствие

Основное отличие инструмента "поиск несоответствующего компонента" для измерительного несоответствия от аналогичного инструмента для атрибутивного несоответствия заключается в том, что в измерительном случае можно оценить как степень влияния процесса, так и степень влияния деталей (а в реальном узле всегда есть влияние и сборочного процесса, и самих компонентов, разница лишь в степени их влияния).

Так же, как и в атрибутивном случае, измерительный "поиск несоответствующего компонента" имеет две стадии.

I. Первая стадия на входе – ЛИС- и ХИН-образцы, на выходе – влияние сборочного процесса узла либо компонентов данного узла на возникновение несоответствия.

II. Вторая стадия определяет, в каком именно компоненте либо процессе установки компонента имеется причина несоответствия.

Рассмотрим правила использования инструмента для измерительного случая.

1. Выбрать ЛИС- и ХИН-узлы и соответствующим образом промаркировать их.

Стадия 1:

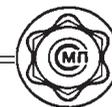
2. Разобрать ЛИС- и ХИН-узлы на более мелкие компоненты и собрать их вновь три раза. Каждый раз после разборки/сборки замерять несоответствие. После чего проверить выполнение следующих условий:

- 1) полное разделение значений ЛИС и ХИН;
- 2) справедливость неравенства (если условие 1 выполняется)

$$\Delta Y \geq V_1 R,$$

где $\Delta Y = |Y_{\text{ЛИС}} - Y_{\text{ХИН}}|$ – разность средних значений той или иной качественной характеристики,

V_1, V_2 – коэффициенты риска (табл. 1).



1. Коэффициенты риска для инструмента "поиск несоответствующего компонента"

Число состояний разборки/сборки (включая оригинальное состояние)	Коэффициент риска	
	V_1	V_2
3/3	1,49	1,89
4/4 (рекомендуется)	0,89	1,31
5/5	0,74	1,10

Среднее значение подразумевает среднюю точку из множества, построенного для характеристики ЛИС либо ХИН. Для определения среднего значения необходимо отбрасывать крайние точки поочередно со стороны больших и меньших значений. Оставшаяся точка будет являться средней.

Если же точек осталось две, то высчитывается среднее арифметическое размахов значений ЛИС и ХИН:

$$R = (R_{\text{лис}} + R_{\text{хин}}) / 2.$$

Рассмотрим *первую стадию* инструмента "поиск несоответствующего компонента" на примере несоответствия "задержка по времени переключения автоматической трансмиссии". Были найдены

2. Данные для инструмента "поиск несоответствующего компонента" (стадия 1) на примере несоответствия "задержка по времени переключения автоматической трансмиссии" (влияние процесса)

Трансмиссия	Качественная характеристика (время переключения трансмиссии, мс)
ЛИС-трансмиссия	
Оригинальное состояние	196
Разборка/сборка:	
№ 1	272
№ 2	199
№ 3	202
ХИН-трансмиссия	
Оригинальное состояние	319
Разборка/сборка:	
№ 1	309
№ 2	271
№ 3	307

ЛИС- и ХИН-образцы (трансмиссии), на которых трижды снимались и устанавливались вновь следующие узлы:

- ◆ насос с клапанами в сборе;
- ◆ приводной механизм;
- ◆ возвратная муфта.

После каждой разборки и последующей сборки как ЛИС-, так и ХИН-образцов проводили замеры времени переключения. Результаты сведены в табл. 2.

Графически данная информация будет выглядеть, как показано на рис. 3. Значения времени τ переключения ЛИС- и ХИН-трансмиссий пересекаются (272 мс для графика ЛИС и 271 мс для графика ХИН), – первое условие *1-й стадии* инструмента не выполнено. Это значит, что причина рассматриваемого несоответствия находится в процессе сборки узла (автоматической трансмиссии). Поэтому, минуя следующее условие *стадии 1*, переходим к *стадии 2*, целью которой является выявление критического процесса установки того или иного компонента данного узла.

В ходе выполнения *стадии 2* для ХИН-узла производится установка компонента "насос с клапанами в сборе" в один экстремум, затем – в другой. То же самое делается с компонентами "приводной механизм" и "возвратная муфта". Измерения несоответствия по итогам *стадий 1* и *2* приведены в табл. 3.

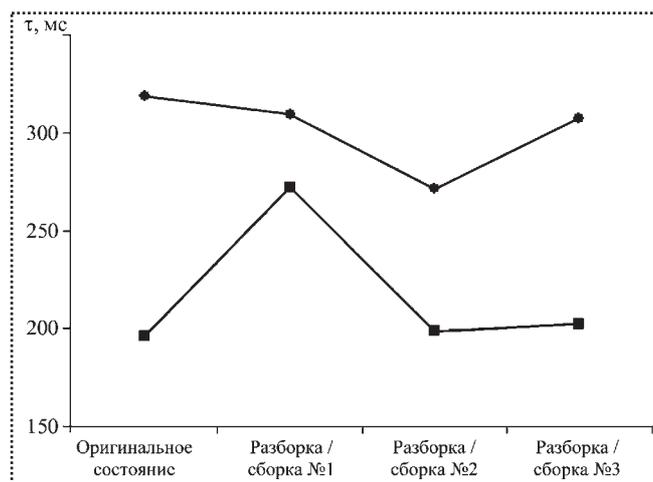


Рис. 3. Стадия 1, правило 1 инструмента "поиск несоответствующего компонента" для измерительного несоответствия "задержка по времени переключения автоматической трансмиссии", влияние процесса сборки узла:

—■— — ЛИС-трансмиссия; —●— — ХИН-трансмиссия



**3. Данные для инструмента
"поиск несоответствующего компонента"
(стадии 1 и 2) на примере несоответствия
"задержка по времени переключения
автоматической трансмиссии"
(влияние процесса)**

Трансмиссия	Качественная характеристика (время переключения трансмиссии, мс)
ЛИС-трансмиссия	
Оригинальное состояние	196
Разборка/сборка:	
№ 1	272
№ 2	199
№ 3	202
ХИН-трансмиссия	
Оригинальное состояние	319
Разборка/сборка:	
№ 1	309
№ 2	271
№ 3	307
Насос с клапанами:	
в один экстремум	308
в другой экстремум	312
Приводной механизм:	
в один экстремум	283
в другой экстремум	290
Возвратная муфта:	
в один экстремум	201
в другой экстремум	278

На рис. 4 данные значения приведены в графическом виде. Как следует из рисунка, несоответствие, изначально ярко выраженное на ХИН-трансмиссии, устранилось при установке возвратной муфты в один из экстремумов. Таким образом, дальнейшее исследование данного несоответствия будет проводиться в целях снижения вариабельности процесса установки именно возвратной муфты (например, посредством изготовления специального приспособления или технологического шаблона).

Рассмотрим аналогичную ситуацию с задержкой переключения автоматической трансмиссии в плане вариативности одного из компонентов.

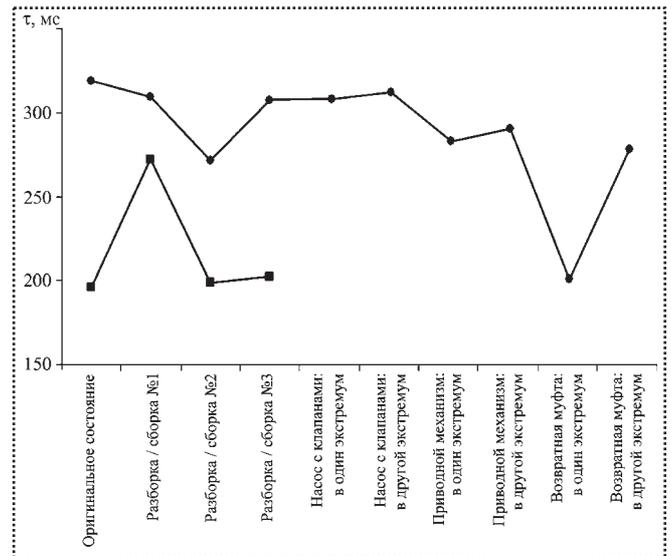


Рис. 4. Стадии 1 и 2 инструмента "поиск несоответствующего компонента" для измерительного несоответствия "задержка по времени переключения автоматической трансмиссии", влияние процесса сборки узла:

—■— — ЛИС-трансмиссия; —●— — ХИН-трансмиссия

На *стадии 1* инструмента "поиск несоответствующего компонента" были найдены ЛИС- и ХИН-образцы, на которых трижды снимались и устанавливались насос с клапанами в сборе, приводной механизм и возвратная муфта.

После каждой разборки и последующей сборки как ЛИС-, так и ХИН-образцов проводились замеры времени переключения. Результаты сведены в табл. 4.

Графически данная информация представлена на рис. 5. Значения времени переключения ЛИС- и ХИН-трансмиссий не пересекаются, значит, первое условие *стадии 1* инструмента выполнено.

Переходим ко второму условию.

Рассчитаем среднее значение времени для ЛИС ($Y_{\text{лис}}$). Для этого отбрасываем крайние значения 196 и 202, из оставшихся двух значений высчитываем среднее арифметическое — 199. Аналогично среднее значение времени для ХИН ($Y_{\text{хин}}$) будет 309,5.

Тогда разность значений времени для ЛИС и ХИН будет равна, мс (рис. 6)

$$\Sigma Y = |Y_{\text{лис}} - Y_{\text{хин}}| = |199 - 309,5| = 110,5.$$

Размах значений времени для ЛИС, мс:

$$R_{\text{лис}} = 202 - 196 = 6.$$



**4. Данные для инструмента
"поиск несоответствующего компонента"
(стадия 1) на примере несоответствия
"задержка по времени переключения"
автоматической трансмиссии"
(влияние компонента)**

Трансмиссия	Качественная характеристика (время переключения трансмиссии, мс)
ЛИС-трансмиссия	
Оригинальное состояние	196
Разборка/сборка:	
№ 1	199
№ 2	199
№ 3	202
ХИН-трансмиссия	
Оригинальное состояние	319
Разборка/сборка:	
№ 1	309
№ 2	310
№ 3	307

Аналогично для ХИН, мс

$$R_{\text{ХИН}} = 319 - 307 = 12.$$

Тогда среднее арифметическое размахов ЛИС и ХИН будет, мс:

$$R = (R_{\text{ЛИС}} + R_{\text{ХИН}}) / 2 = (6 + 12) / 2 = 9.$$

Исходя из количества состояний разборки/сборки (включая оригинальное состояние),

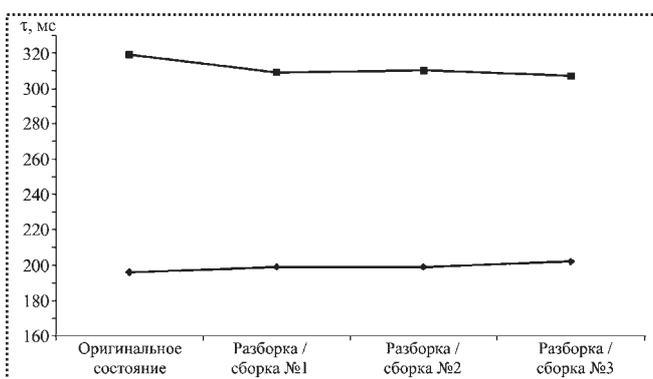


Рис. 5. Стадия 1, правило 1 инструмента "поиск несоответствующего компонента" для измерительного несоответствия "задержка по времени переключения автоматической трансмиссии", влияние компонентов узла:

—◆— — ЛИС-трансмиссия; —■— — ХИН-трансмиссия

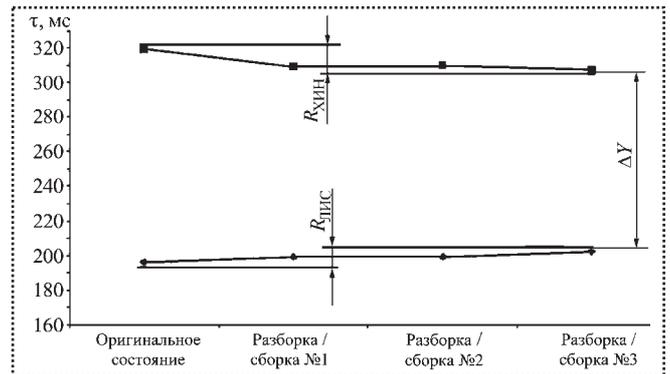


Рис. 6. Стадия 1, правило 2 инструмента "поиск несоответствующего компонента" для измерительного несоответствия "задержка по времени переключения автоматической трансмиссии", влияние компонентов узла

равное 4, выбираем коэффициент риска $V_1 = 0,89$ (см. табл. 1).

Проверяем выполнение неравенства

$$\Delta Y \geq V_1 R:$$

$$110,5 \geq 0,89 \cdot 9;$$

$$110,5 \geq 8,01.$$

Неравенство выполняется, следовательно, второе условие *стадии 1* пройдено успешно. Это означает, что причина рассматриваемого несоответствия находится не в сборочном процессе, а в компонентах узла (в данном случае, в компонентах автоматической трансмиссии). Поэтому переходим к *стадии 2*, целью которой является выявление несоответствующего компонента данного узла.

Стадия 2

Очевидно, что полностью разделить влияние сборочного процесса того или иного узла и компонентов, составляющих тот или иной узел, невозможно — и та и другая составляющая влияют на вариативность качественных характеристик в реальных узлах. Однако рассчитаем значения, условно разделяющие вариацию сборочного процесса и вариацию компонентов, — предельные линии (рис. 7).

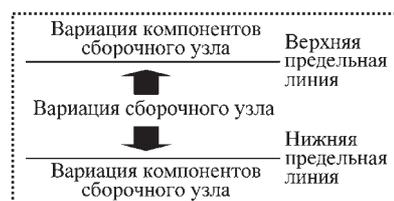


Рис. 7. Типы вариаций, определяющие качественную характеристику узла



Предельные линии для ЛИС- и для ХИН-образцов рассчитывают по формулам

$$ПЛ_{\text{лис}} = Y_{\text{лис}} \pm V_2 R,$$

$$ПЛ_{\text{хин}} = Y_{\text{хин}} \pm V_2 R.$$

Примеры для ЛИС- и ХИН-образцов с задержкой по времени включения автоматической трансмиссии – по формулам:

$$Y_{\text{лис}} = 199,$$

$$Y_{\text{хин}} = 309,5,$$

$$R = 9,$$

$$V_2 = 1,31 \text{ (см. табл. 1),}$$

тогда

$$ПЛ_{\text{лис}1} = Y_{\text{лис}} + V_2 R = 210,79;$$

$$ПЛ_{\text{лис}2} = Y_{\text{лис}} - V_2 R = 187,21;$$

$$ПЛ_{\text{хин}1} = Y_{\text{хин}} + V_2 R = 321,29;$$

$$ПЛ_{\text{хин}2} = Y_{\text{хин}} - V_2 R = 297,71.$$

Отобразим предельные линии на графике (рис. 8).

Далее так же, как и для атрибутивных несоответствий, в измерительном случае проводят замену местами компонентов, составляющих ЛИС- и ХИН-узлы, при этом после каждой замены замеряют качественные характеристики узлов.

В табл. 5 приведены результаты 2-й стадии инструмента "поиск несоответствующего компонента" для несоответствия "задержка по времени вклю-

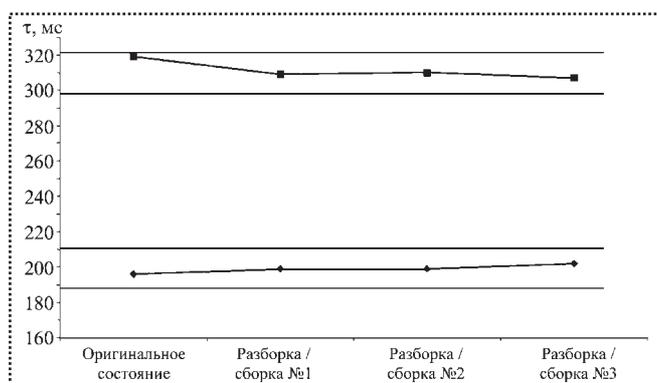


Рис. 8. Предельные линии для инструмента "поиск несоответствующего компонента" для измерительного несоответствия "задержка по времени переключения автоматической трансмиссии", влияние компонентов узла

5. Данные для инструмента "поиск несоответствующего компонента", стадии 1 и 2 на примере несоответствия "задержка по времени переключения автоматической трансмиссии" (влияние компонента)

Трансмиссия	Качественная характеристика (время переключения трансмиссии, мс)
ЛИС-трансмиссия	
Оригинальное состояние	196
Разборка/сборка:	
№ 1	199
№ 2	199
№ 3	202
Замена насоса с клапанами в сборе	208
Замена:	
приводного механизма (насос с клапанами установлен обратно)	205
возвратной муфты (приводной механизм установлен обратно)	308
Оригинальное состояние	203
ХИН-трансмиссия	
Оригинальное состояние	319
Разборка/сборка:	
№ 1	309
№ 2	310
№ 3	307
Замена:	
насоса с клапанами в сборе	308
приводного механизма (насос с клапанами установлен обратно)	310
возвратной муфты (приводной механизм установлен обратно)	200
Оригинальное состояние	299

чения автоматической трансмиссии". На рис. 9 данные результаты приведены в графическом виде.

Проанализируем получившуюся диаграмму (см. рис. 9). Стадия 1 инструмента показала, что процесс сборки автоматической трансмиссии практически не влияет на появление несоответствия (задержки по времени включения), так как при ее трехкратной разборке и последующей сборке несо-

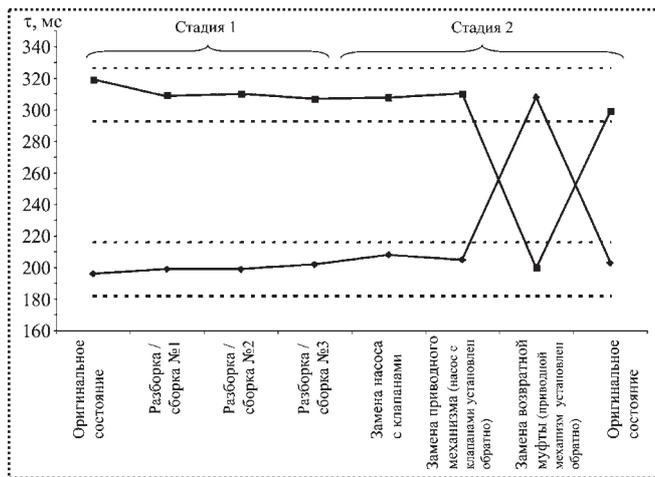


Рис. 9. График для инструмента "поиск несоответствующего компонента", стадии 1 и 2, для измерительного несоответствия "задержка по времени переключения автоматической трансмиссии", влияние компонентов узла

ответствие осталось на ХИН-образце и не появилось на ЛИС-образце, и при этом величина вариации находится в рамках, ограниченных предельными линиями. Таким образом, возникновение несоответствия зависит, главным образом, от качества компонентов, составляющих сборочный узел (автоматическую трансмиссию).

Стадия 2 показала, что ни качество детали "насос с клапанами в сборе", ни качество детали "приводной механизм" не влияют на появление задержки по времени срабатывания автоматической трансмиссии. Критическим же компонентом является деталь "возвратная муфта", так как при замене именно этого компонента с ЛИС- на ХИН-трансмиссию и наоборот – несоответствие переходит вместе с замененной деталью. Таким образом, дальнейшее исследование данного несоответствия следует сосредоточить на детали "возвратная муфта".

Предлагаемый инструмент позволяет достоверно определить степень влияния каждого из факторов вариативности узла (процесс/компонент), а

также локализовать несоответствие вплоть до выявления критической операции сборки либо критического компонента рассматриваемого узла. Таким образом, изначальное несоответствие последовательно приближается к причине его возникновения – выявленный неразборный критический компонент либо операцию остается измерить и сравнить характеристики для ЛИС- и ХИН-образцов.

Данный инструмент не рассматривает методы устранения несоответствий (устранить несоответствие может любой квалифицированный ремонтник), а направлен, прежде всего, на выявление причины возникновения данного несоответствия, ведь только в случае устранения коренной причины несоответствия (а не самого несоответствия) процесс производства станет менее затратным, а значит, более эффективным и экономически выгодным, так как несоответствие не будет возникать на сборочном конвейере в принципе.

Вывод

Современные системы управления качеством все чаще отходят от полнообъемного и даже выборочного входного контроля поступающих на предприятие деталей – компании предпочитают держать лишь небольшой штат контролеров, занимающихся проверкой наиболее критических позиций (как сдерживающая мера до внедрения корректирующих мероприятий поставщиком детали). Поэтому, вопреки контролю всех деталей, составляющих узел (традиционная схема на отечественных предприятиях), после использования данного инструмента становится возможным контролировать лишь конкретный размер конкретной детали, что влечет за собой значительное снижение временных и материальных ресурсов как на выходном контроле предприятия-поставщика, так и на входном контроле предприятия-заказчика.

В.И. Садовников, В.Г. Кучеров, В.Н. Подлеснов, канд. техн. наук,
Е.Р. Андросюк, канд. хим. наук (Волгоградский государственный технический университет)

Анализ и оценка технологичности сборки конструкций в курсовых и дипломных проектах

Рассмотрены вопросы сборки, возникающие при выполнении курсовых и дипломных проектов. Предложены способы оценки студенческих работ на основе рейтинговой системы, апробированной в Волгоградском государственном техническом университете.

Assembly questions in course and degree projects are analyzed. Ways of an estimation of student's works on the basis of the rating system approved at the Volgograd state technical university are offered.

Ключевые слова: подготовка, специалист, проектирование изделий, сборка, рейтинг.

Key words: training, specialist, product design, assembly, rating.

В Волгоградском государственном техническом университете (ВолГТУ) при подготовке специалистов и магистров к проектно-конструкторской деятельности предусмотрено выполнение междисциплинарных курсовых и выпускных работ (проектов) на старших курсах. По заданию руководителя студент разрабатывает некоторый механизм с заданными функциями. При этом студент проводит:

♦ анализ полученного технического задания и информации, необходимой для определения исходных данных для проектирования изделия (составляет информационную модель);

♦ анализ функциональных свойств проектируемого объекта и его элементов (составляет функциональную модель);

♦ анализ схем аналогов разрабатываемого механизма (выполняет морфологический анализ);

♦ синтез схемы проектируемого устройства (возможно с помощью полученных морфологических таблиц);

♦ конструкторскую реализацию полученной схемы и необходимые расчеты.

Как показывает опыт, наибольшие трудности у студентов вызывает преобразование принципиальной схемы в реальную конкретную конструкцию. Именно на этом этапе они допускают наибольшее

количество ошибок, которые с первого взгляда можно и не заметить, но они существенным образом влияют на работоспособность изделия. К ним можно отнести:

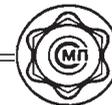
- неправильный выбор формы деталей;
- неправильный выбор материалов и смазок;
- возможность столкновения отдельных подвижных деталей с неподвижными;
- неправильный выбор типа и параметров соединений элементов конструкции (включая допуски и посадки);
- не полный учет влияния условий эксплуатации (внешних условий, температурных режимов, агрессивных сред и т.д.);
- ошибки, связанные с процессом сборки и разборки;
- другие конструкторские недоработки.

При этом ошибки, связанные с процессом сборки, занимают особое место, и обусловлено это тем, что иногда, ввиду их неочевидности, они могут переноситься со студенческой скамьи в конструкторские бюро и выявляться уже при изготовлении узлов и агрегатов макетных или даже опытных образцов по чертежам молодых специалистов.

Следует отметить, что недостатки конструкции, влияющие на процесс сборки и разборки, для некоторых изделий сказываются не только при их изготовлении или ремонте, но и в процессе нормальной эксплуатации. Например, на стрелковое вооружение в соответствии с нормативами накладывают жесткие требования на время неполной разборки и сборки (обычно от нескольких секунд до нескольких десятков секунд). Очевидно, что если вопросы сборки и разборки не тщательно проработаны, выполнение таких нормативов невозможно.

Как показывает опыт, наиболее характерными ошибками, связанными с процессами сборки и разборки и допускаемыми студентами в проектах, являются недоработки, указанные в таблице.

Очевидно, что студенты в процессе обучения еще не обладают достаточным практическим опытом, поэтому избежать указанных недоработок не



Характерные ошибки в сборочных чертежах курсовых и дипломных проектов

Характерные ошибки	Типичные примеры	Негативный эффект
Не обеспечена возможность полной сборки и разборки изделия	Форма и размеры детали на рабочих и сборочных чертежах различны	При сборке деталь может задеть соседнюю деталь или выступающую поверхность и т.п. Могут не совпасть места крепления и т.д.
	Нет доступа к детали, которую требуется заменить или к элементам ее крепления (отсутствуют необходимые лючки, окна и т.д.)	Сборка и разборка невозможны
	Недостаточно места для размещения инструмента для крепления и раскрепления детали (отвертки, гаечного ключа и т.д.)	То же
Неудобство сборки и разборки	Рука сборщика находится в неудобном положении и он вынужден прилагать большую силу, раскрепляя или скрепляя детали, которые плохо просматриваются или не просматриваются совсем	Высока трудоемкость и велико время сборки и разборки
	Рука сборщика при движении может задевать острые кромки соседних деталей и т.п.	Сборка травмоопасна
Велика трудоемкость сборки и разборки	Процесс включает множество трудоемких сборочных операций. При частой замене быстроизнашивающейся детали необходимо разбирать значительную часть конструкции	Неудобство проведения периодического технического обслуживания изделия
Не предусмотрены устройства для регулировки зазоров между подвижными деталями, для точной установки элементов конструкции	В механизме труба продольно перемещается по направляющим роликам, установленным симметрично. Зазор между трубой и роликами не регулируется (не предусмотрены эксцентриковые опорные втулки для осей роликов и оси роликов выполнены без эксцентриситета)	Труба может неправильно центрироваться, в результате работоспособность механизма может быть не обеспечена. В некоторых случаях может быть затруднена или невозможна и сама сборка
	В подъемном механизме в зубчатом зацеплении не регулируется зазор между зубьями шестерни и сектора (например, с помощью эксцентриковых опорных втулок вала шестерни)	Возможно заедание при работе механизма, нарушение работоспособности
	Не обеспечена точная установка червяка в червячной передаче	Возможно значительное снижение КПД передачи, быстрое изнашивание, заедание, нарушение работоспособности
Не предусмотрены способы компенсации несоосности, перекосов соединяемых валов и т.п.	Точность установки двигателя и редуктора не обеспечена, а их валы соединены жестко (без использования, например, кулачковых, пальцевых муфт и т.п.)	Сборка может быть затруднена или невозможна. Если она выполнена с усилием, то в валах дополнительно возникнут напряжения изгиба, что приведет к появлению дополнительного момента сопротивления вращению валов и знакопеременным напряжениям в них
Не предусмотрены способы точной фиксации элементов конструкции в заданном положении	Корпус привода должен быть точно установлен относительно корпуса механизма, но он фиксируется только посредством болтовых соединений (без использования штифтов, прецизионных шпилек и т.п.)	Вследствие зазоров в болтовых соединениях при воздействии, например, случайных внешних нагрузок точность установки может быть нарушена (сборка окажется некачественной)
Неправильный выбор материалов соединяемых элементов	На шутицер навинчивается накидная гайка, изготовленная из такой же нержавеющей стали (например, X18H9T, X18H10T)	Если гайка затянута со значительной силой, то разобрать такое соединение будет либо затруднительно, либо невозможно – гайка застынет

могут: важно, чтобы все они были выявлены и проанализированы с точки зрения оценки негативных последствий.

Для уменьшения вероятности ошибок в сборочных чертежах нами предусмотрены следующие методические подходы:



♦ при изучении технических систем обращается внимание студентов не только на функции, выполняемые узлами и агрегатами и их устройство, но и поясняется, почему именно они так сконструированы;

♦ проводятся публичные защиты курсовых проектов, когда присутствующие при этом студенты получают возможность учиться не только на своих, но и на чужих ошибках.

Кроме того, планируется переиздание методических указаний по курсовому и дипломному проектированию, учебных пособий, например, по дисциплине "Методы инженерного творчества", где приведены примеры наиболее характерных студенческих конструкторских недоработок с пояснениями и иллюстрациями их исправления. Эти же примеры размещены на стендах в аудиториях.

На вопрос, как учитывать допущенные ошибки в оценке, трудно ответить однозначно. Известно, что наибольшее количество ошибок допускают студенты, стремящиеся отойти от стереотипов и разработать свою, иногда действительно оригинальную, конструкцию. Их внимание более подчинено главной идее, чем вопросам проработки, по их мнению, "деталей". Другие, наоборот, в основном используя готовые заводские чертежи, ограничиваются лишь незначительной модернизацией известных устройств, допуская при этом минимум конструкторских недоработок. Это легко удается, поскольку они опираются на многолетний опыт именитых конструкторов.

Справедливо ли существенно снижать за ошибки оценки генераторам идей и выставлять высокие баллы старательным исполнителям, умудренным чужим опытом и работающим в рамках известных стереотипов? На практике часто именно так и происходит. В конструкторских бюро необходимы и те и другие специалисты – каждый решает свои задачи, поэтому их работу надо оценивать по-разному, а вопрос "кто лучше?" – некорректен.

В ВолгГТУ внедрена и успешно используется уже на протяжении многих лет рейтинговая систе-

ма оценки знаний студентов. В соответствии с ее положением при защите курсового проекта, выпускной работы или дипломного проекта студент может получить положительную оценку от 61 до 100 баллов (90...100 баллов соответствуют оценке "отлично", 76...89 – "хорошо" и 61...75 – "удовлетворительно"). Такая шкала позволяет более детально учитывать нюансы работы студента и его ответов на вопросы.

Для разработчиков оригинальных конструкций представляется целесообразным дополнительно набавлять определенное количество рейтинговых баллов за новизну (например, до 10 баллов), особенно, если студент участвовал в написании и оформлении заявки на патент, или полезную модель, имеет публикации по теме работы т.п. Кроме того, некоторый процент баллов, снятых за ошибки (например, 80 %), можно восстановить, если студент предложил способы исправления выявленных недостатков. С учетом такого подхода, полученная в итоге оценка может оказаться достаточно высокой – например, 92 балла, что соответствует оценке "отлично".

Студенты, предлагающие конструкции, не отличающиеся новизной технических решений, использующие типовые заводские чертежи, могут получить высокую оценку только при минимальном количестве допущенных ошибок. Таким образом, оценки, выставляемые студентам – генераторам идей и старательным исполнителям, – получаются сбалансированными.

Вывод

Вопросы сборки сказываются на всех этапах жизненного цикла изделия, поэтому, чем больше внимания им будет уделяться в учебном процессе, тем меньше проблем возникнет в будущем: при разработке, производстве и эксплуатации реальных технических систем.

А.В. Медарь, канд. техн. наук (ФГУП НПО "Техномаш")

Точностной анализ в технологическом проектировании сборочных процессов. Продолжение*

Даны основные понятия и определения, показаны роль и место точностного анализа в технологическом проектировании сборочных процессов. Приведена последовательность операций, отражающая общий методологический подход при его практической реализации в производстве. Описаны три основные раздела точностного анализа: организационно-технического анализа исходных данных, размерного анализа вариантов технологических процессов сборки и контроля выходных параметров точности изделий, расчетно-точностного анализа окончательно собранного изделия.

In this work produced basic concepts and definitions, showed role and place accuracy analysis in technological designing assembly process. Produced succession activities, reproduced common methodological approach of its practical realization for manufacture. Site make a description three basic categories of accuracy analysis: logistical analysis initial data, dimensional analysis variation technological process junction assembling and control exit parameter of product, formulaic accuracy analysis finally assembled product.

Ключевые слова: точностной анализ, унифицированные геометрические параметры, выходные параметры точности, выходные геометрические параметры, масс-инерционные характеристики, проектный расчет, проверочный расчет.

Key words: accuracy analysis, unified geometrics, output parameters of accuracy, output geometrics, mass-inertial characteristics, design calculation, checking calculation.

Размерный анализ вариантов технологического процесса — часть точностного анализа, включающая комплекс работ:

- ♦ выбор критериев оптимизации и определение рациональных допусков на конструктивно-технологические параметры составляющих элементов изделия;
- ♦ синтез наиболее эффективных конструктивно-технологических решений;

*Начало см. журнал "Сборка в машиностроении, приборостроении" № 1, 2008.

- ♦ синтез рациональных технологических схем сборки и контроля выходных параметров точности (ВПТ) изделий;

- ♦ формирование точностных требований к средствам технологического оснащения (СТО) сборки и контроля и проработке их конструктивно-технологических решений.

При анализе точности технологических процессов применяют следующие методы выбора допусков:

- метод прецедентов (метод аналогов);
- метод подобия;
- расчетный метод.

Метод прецедентов заключается в отыскании в однотипных или других ранее сконструированных и находящихся в эксплуатации изделиях случаев применения блока, подобного проектируемому, и последующем определении допуска. Этот метод приемлем только при полной тождественности блоков, при условии, что оптимальность выбранных допусков проверена экспериментально и подтверждена производственными испытаниями.

Метод подобия является по существу развитием метода прецедентов. Возникший в результате классификации деталей машин по конструктивным и эксплуатационным признакам он требует для правильного выбора допусков установки аналогии конструктивных признаков и условий производства проектируемого изделия (блока) с признаками, указанными в справочниках. Однако в указанных материалах конструктивные и эксплуатационные показатели классифицируют часто общими выражениями, не отражающими количественных значений параметров. Кроме того, для изделий специального машиностроения подобные нормативные документы чрезвычайно редки. Общим недостатком методов прецедентов и подобия является сложность определения признаков однотипности и подобия и, как следствие, возможность назначения ошибочных (неоправданно расширенных или ужесточенных) допусков.

Наиболее обоснованным методом выбора допусков является *расчетный метод*. Качественно и допуски в этом случае определяются рационально, на

основании технико-экономических расчетов, позволяющих разрешать противоречия между эксплуатационными требованиями и технологическими возможностями, исходя в первую очередь из выполнения эксплуатационных требований.

В соответствии с технологической направленностью данной работы в дальнейших точностных исследованиях при решении прямой и обратной задач (проведении проектного и проверочного расчетов) к входным параметрам точности будем относить геометрические и масс-инерционные характеристики, а также технологические погрешности изготовления и сборки составляющих изделие сборочных единиц (блоков), а к выходным параметрам точности – выходные геометрические параметры и выходные масс-инерционные характеристики собранного изделия.

Сущность проектного расчета в общей постановке задачи заключается в определении полей допусков составляющих погрешностей по известному (заданному, определенному) полю допуска результирующей погрешности. В качестве критериев оптимизации при этом обычно выступают численные характеристики допустимых значений ВПТ

изделия – результирующие погрешности. Математическое описание взаимосвязей между входными и выходными параметрами точности базируется на четырех расчетных схемах, соответствующих типовым схемам соединения блоков изделия. К ним относят (табл. 2):

- ♦ расчетную схему "тандем", соответствующую изделию (части изделия) с последовательным соединением составляющих его блоков;
- ♦ расчетную схему "пакет", соответствующую конструкции блока изделия с развитым посадочным местом, к которому присоединяют и последующие блоки;
- ♦ расчетную схему "пакет смещенный", описывающую конструкции, в которых содержится один базовый блок, но в отличие от схемы "пакет" на нем расположено несколько разнесенных посадочных мест, к каждому из которых присоединен последующий блок изделия;
- ♦ расчетную схему "солнечные батареи", описывающую конструкции, включающие базовый блок, к боковым поверхностям которого присоединяют последующие блоки, формирующие данную сборочную единицу. Как правило, продоль-

2. Пространственные размерные цепи

Эскизы	Обозначения
<p style="text-align: center;">Пространственная размерная цепь расчетной схемы "тандем"</p>	<p>$\bar{r}_1, \dots, \bar{r}_k, \dots, \bar{r}_n$ – векторы положений центров масс блоков изделия в собственных системах координат; $\bar{l}_1, \dots, \bar{l}_k, \dots, \bar{l}_n$ – векторы действительных продольных осей блоков изделия в собственных системах координат; $\bar{r}, \bar{r}_{\text{ЦМ}}^O$ – векторы положений заданного (расчетного) и действительного положений центров масс изделия в базовой системе координат изделия; \bar{r}_k^O, \bar{r}_n^O – векторы действительных положений центров масс k-го и n-го блоков изделия в базовой системе координат изделия; \bar{r}_6 – вектор положения центра масс балансировочных грузов в плоскости исправления; $\bar{e}_1, \dots, \bar{e}_k$ – векторы смещений центров посадочных поверхностей соответствующих блоков изделия; O_{xyz} – базовая система координат изделия; m – масса с соответствующим индексом принадлежности; m_6 – масса балансировочных грузов</p>

Эскизы	Обозначения
<p style="text-align: center;">Пространственная размерная цепь расчетной схемы "пакет"</p>	<p>\vec{l}_0^c – вектор, определяющий положение развитого посадочного места базового блока изделия</p>
<p style="text-align: center;">Пространственная размерная цепь расчетной схемы "пакет смещенный"</p>	<p>$\vec{l}_1^c, \dots, \vec{l}_k^c, \dots, \vec{l}_{n-1}^c$ – векторы, определяющие положения разнесенных посадочных мест базового блока; $\vec{e}_1, \dots, \vec{e}_{k-1}$ – векторы, определяющие смещения центров стыковочных поверхностей k-х сборочных единиц от соответствующих им центров посадочных мест базового блока</p>

Эскизы	Обозначения
Пространственная размерная цепь расчетной схемы "солнечные батареи"	
	<p>\bar{d} – вектор, определяющий положение соответствующего посадочного места базового блока относительно его продольной оси</p>

ные оси этих блоков образуют с продольной осью базового блока угол 90° .

Основные уравнения связи (уравнения точности) между входными и выходными параметрами точности выглядят следующим образом:

- уравнения координат центров стыковочных торцов блоков изделия в любом контролируемом сечении:

$$\begin{aligned}
 N_{vk} &= \sum_{j=0}^{j=k} B_{lj}^T L_j + \sum_{j=0}^{j=k-1} B_{ej}^T E_j, \\
 N_{nk} &= \sum_{j=0}^{j=k} B_{lj}^T L_j + \sum_{j=0}^{j=k} B_{ej}^T E_j,
 \end{aligned} \quad (4)$$

где N_{vk} , N_{nk} – матрицы-столбцы, определяющие соответствующие координаты центров стыковочных поверхностей в контролируемом сечении на верхнем и нижнем торцах блоков соответственно;

j – номер стыковочной поверхности;

k – номер собираемого блока;

L_j , E_j – матрицы-столбцы, определяющие соответственно оси и смещения центров стыковочных

поверхностей в собственной системе координат сборочной единицы;

B_{lj}^T, B_{ej}^T – соответственно операторы, преобразующие компоненты осей блоков и смещений центров торцов стыковочных поверхностей из промежуточных систем координат в базовую;

- уравнения координат центра масс любого блока изделия:

◇ для последовательной схемы соединения:

$$M_k = \sum_{j=0}^{j=k-1} B_{lj}^T L_j + \sum_{j=0}^{j=k-1} B_{ej}^T E_j + B_{rk}^T R_k, \quad (5)$$

где M_k , R_k – матрицы-столбцы, определяющие координаты центра масс k -го блока соответственно в базовой системе координат изделия и собственной системе координат сборочной единицы;

B_{rk}^T – оператор, преобразующий компоненты центров масс блоков из собственных систем координат в базовую;

◇ для схемы соединения по типу "пакет":

$$M_k = A_1^T L^c + A_1^T A_2^T E_{k-1} + A_1^T A_2^T (A_c^T A_{ин}^T)_k R_k, \quad (6)$$



где $A_{c_k}^T$ – транспонированная ортогональная матрица, отражающая поворот вектора r_k , привязанного к вектору l_k , обусловленный технологическими погрешностями, возникающими в процессе силового замыкания базового и k -го блоков;

L^c – матрица-столбец, определяющая положение развитого посадочного места базового блока изделия;

A_{npk}^T – транспонированная ортогональная матрица, отражающая поворот вектора r_k , привязанного к вектору l_k , обусловленный неперпендикулярностью стыковочного торца и k -го блока;

A_1^T – транспонированная матрица направляющих косинусов составляющих поворот промежуточных систем координат;

◇ для схемы соединения по типу "смещенный пакет":

$$M_k = A_1^T L_{k-1}^c + A_1^T A_k^T E_{k-1} + A_1^T A_k^T (A_c^T A_{np}^T)_k R_k ; \quad (7)$$

◇ для схемы соединения по типу "солнечные батареи":

$$M_k = A_1^T L_{k-1}^c + A_1^T A_{90}^T D_{k-1} + A_1^T A_{90}^T A_k^T E_{k-1} + A_1^T A_{90}^T A_k^T (A_{np}^T A_c^T)_k R_k , \quad (8)$$

где D_k – оператор, преобразующий компоненты осей сборочных единиц и смещений центров торцов стыковочных поверхностей из промежуточных систем координат в базовую;

A_{90}^T – транспонированная ортогональная матрица, отражающая пространственный поворот вектора d относительно подвижной системы координат, начало которой задано вектором l_{k-1}^c , а ось x является его продолжением, как правило при $\alpha = 90^\circ$:

$$A_i^T = \begin{vmatrix} [\cos\alpha]_i & [-\sin\alpha \cos(\beta - \kappa)]_i & [-\sin\alpha \sin(\beta - \kappa)]_i \\ [\sin\alpha \cos\beta]_i & [\sin\beta \sin(\beta - \kappa) + \cos\alpha \cos\beta \cos(\beta - \kappa)]_i & [-\sin\beta \cos(\beta - \kappa) + \cos\beta \cos\alpha \sin(\beta - \kappa)]_i \\ [\sin\alpha \sin\beta]_i & [-\cos\beta \sin(\beta - \kappa) + \sin\beta \cos\alpha \cos(\beta - \kappa)]_i & [\cos\beta \cos(\beta - \kappa) + \sin\beta \cos\alpha \sin(\beta - \kappa)]_i \end{vmatrix} ,$$

где α, β, κ – унифицированные геометрические параметры.

Используя данные зависимости, возможно непосредственное определение таких ВПТ, как отклонение от прямолинейности действительной продольной оси изделия, положение центра масс (ЦМ) изделия, а при незначительном пересчете – определение положений любых контролируемых

точек изделия и инерционных характеристик последнего. В матричной форме математическая модель процесса формирования ВПТ изделий приведена в табл. 3.

Решение приведенных уравнений в рамках проектного расчета представляет собой задачу со многими неизвестными, причем наличие только одной зависимости между полями допусков составляющих погрешностей с полем допуска результирующей погрешности по каждому критерию оптимизации делает проектный расчет неопределенным. Практически это означает, что величину поля допуска суммарной погрешности можно распределить между составляющими погрешностями с бесконечным количеством вариантов.

В связи с этим для решения прямой задачи на допуски составляющих погрешностей устанавливают те или иные условия, дополняющие соотношения между входными и выходными параметрами точности и позволяющие получить количество уравнений, равное количеству неизвестных. Для этого используют методы пробных расчетов, равных допусков, единого качества, оптимальных допусков (при помощи неопределенных коэффициентов Лагранжа) и другие.

Однако применение данных методов затруднено (ограничено) целым рядом недостатков, основными из которых являются не всегда достаточная точность проводимых расчетов и наличие аналитической взаимосвязи между входными и выходными параметрами точности, получение которой возможно только в частных случаях.

В этой связи для проведения точностных расчетов и использования строгих пространственных взаимосвязей между ВПТ и формирующими их погрешностями, носящими, как правило, алгоритми-

ческий характер [см. урав. (4)...(8)], целесообразно использование метода статистического моделирования (статистических испытаний), не имеющего принципиальных ограничений в применении для расчета допусков на ВПТ независимо от выбора модели описания их связи с погрешностями и вида применяемых при этом зависимостей.

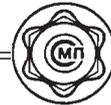


3. Математическая модель процесса формирования ВПТ изделия

$M_{\text{цм}} = \frac{1}{m_0} (m_1 M_1 + \sum_{k=2}^n m_k M_k); m_0 = \sum_{k=1}^n (m_{\text{н}k} + \Delta m_k); M_1 = B_{r_1}^T R_1; H_{\text{в}k} = (h_{\text{в}k}^T h_{\text{в}k})^{1/2}; H_{\text{н}k} = (h_{\text{н}k}^T h_{\text{н}k})^{1/2}; h_{\text{в}k} = I_0 N_{\text{в}k}$		
$M_{\text{цм}} = \begin{bmatrix} x_{\text{цм}} \\ y_{\text{цм}} \\ z_{\text{цм}} \end{bmatrix}; M_k = \begin{bmatrix} x_{\text{цм}k} \\ y_{\text{цм}k} \\ z_{\text{цм}k} \end{bmatrix}; M_1 = \begin{bmatrix} x_{\text{цм}1} \\ y_{\text{цм}1} \\ z_{\text{цм}1} \end{bmatrix}; B_{r_1}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; R_1 = \begin{bmatrix} x_{\text{цм}1} \\ y_{\text{цм}1} \\ z_{\text{цм}1} \end{bmatrix}; N_{\text{в}k} = \begin{bmatrix} x_{\text{в}k} \\ y_{\text{в}k} \\ z_{\text{в}k} \end{bmatrix}; N_{\text{н}k} = \begin{bmatrix} x_{\text{н}k} \\ y_{\text{н}k} \\ z_{\text{н}k} \end{bmatrix}; I_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; L_j = \begin{bmatrix} l_j \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; E_j = \begin{bmatrix} 0 \\ \varepsilon_j \cos \eta_j \\ \varepsilon_j \sin \eta_j \end{bmatrix};$ $R_k = \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ z_k \end{bmatrix}$		
$N_{\text{в}k} = \sum_{j=0}^{j=k} B_{l_j}^T L_j + \sum_{j=0}^{j=k-1} B_{\varepsilon_j}^T E_j; N_{\text{н}k} = \sum_{j=0}^{j=k} B_{l_j}^T L_j + \sum_{j=0}^{j=k} B_{\varepsilon_j}^T E_j; B_{l_j}^T = \prod_{i=1}^{i=3j-2} A_i^T; B_{\varepsilon_j}^T = \prod_{i=1}^{i=3j-1} A_i^T; B_{r_j}^T = \prod_{i=1}^{i=3k-2} A_i^T;$		
$M_k = \sum_{j=0}^{j=k-1} B_{l_j}^T L_j + \sum_{j=0}^{j=k-1} B_{\varepsilon_j}^T E_j + B_{r_j}^T R_k$	Расчетная схема "тандем"	$M = \frac{1}{m_0} \sum_{k=1}^n m_k \left[\sum_{j=0}^{j=k-1} \left(\prod_{i=1}^{i=3j-2} A_i^T \right) L_j + \sum_{j=0}^{j=k-1} \left(\prod_{i=1}^{i=3j-1} A_i^T \right) E_j + \left(\prod_{i=1}^{i=3k-2} A_i^T \right)_k R_k \right]$
$M_k = A_1^T L^c + A_1^T A_2^T E_{k-1} + A_1^T A_2^T (A_c^T A_{\text{нп}}^T)_k R_k$	Расчетная схема "пакет"	$M = \frac{A_1^T}{m_0} \left[m_1 R_1 + \sum_{k=2}^n m_k (L^c + A_2^T E_{k-1} + A_2^T (A_c^T A_{\text{нп}}^T)_k R_k) \right]$
$M_k = A_1^T L_{k-1}^c + A_1^T A_k^T E_{k-1} + A_1^T A_k^T (A_c^T A_{\text{нп}}^T)_k R_k$	Расчетная схема "смешанный пакет"	$M = \frac{1}{m_0} A_1 \left(m_1 R_1 + \sum_{k=2}^n m_k M_k \right)$
$M_k = A_1^T A_{k-1}^c + A_1^T A_{90}^T D_{k-1} + A_1^T A_{90}^T A_k^T E_{k-1} + A_1^T A_{90}^T A_k^T (A_{\text{нп}}^T A_c^T)_k R_k$	Расчетная схема "солнечные батареи"	
$A_i^T = \begin{bmatrix} [\cos \alpha]_i & [-\sin \alpha \cos(\beta - \varkappa)]_i & [-\sin \alpha \sin(\beta - \varkappa)]_i \\ [\sin \alpha \cos \beta]_i & [\sin \beta \sin(\beta - \varkappa) + \cos \alpha \cos \beta \cos(\beta - \varkappa)]_i & [-\sin \beta \cos(\beta - \varkappa) + \cos \beta \cos \alpha \sin(\beta - \varkappa)]_i \\ [\sin \alpha \sin \beta]_i & [-\cos \beta \sin(\beta - \varkappa) + \sin \beta \cos \alpha \cos(\beta - \varkappa)]_i & [\cos \beta \cos(\beta - \varkappa) + \sin \beta \cos \alpha \sin(\beta - \varkappa)]_i \end{bmatrix};$ $A_{90}^T = \begin{bmatrix} [\cos \Delta \alpha]_i & [-\sin \Delta \alpha \cos \beta]_i & [-\sin \Delta \alpha \sin \beta]_i \\ [\sin \Delta \alpha \cos \beta]_i & [\sin^2 \beta + \cos \Delta \alpha \cos^2 \beta]_i & [-\sin \Delta \alpha \cos \beta + \cos \beta \cos \Delta \alpha \sin \beta]_i \\ [\sin \Delta \alpha \sin \beta]_i & [-\cos \beta \sin \beta + \sin \beta \cos \Delta \alpha \cos \beta]_i & [\cos^2 \beta + \sin^2 \beta \cos \Delta \alpha]_i \end{bmatrix}$		
<p>Обозначения. $M_{\text{цм}}$ – матрица координат центров масс; $I_0, h_{\text{в}k}, h_{\text{н}k}$ – промежуточные операторы преобразования; $B_{r_j}^T$ – оператор, преобразующий компоненты центров масс j-х блоков из собственной системы координат в базовую; m_0 – масса всего изделия; r – угол ориентации блока; Δm_k – погрешность значения массы k-го блока; H – отклонение от прямолинейности действительной продольной оси; в – верхний торец блока; н – нижний торец блока.</p>		

Для проведения проектного расчета используют итерационный подход, основанный на последовательном приближении к заданным полям допусков на ВПТ изделий с помощью метода статистических испытаний. В качестве первого приближения ис-

пользуют существующие в производстве (конкретное предприятие-изготовитель) уровни точности составляющих изделие блоков и обеспечения соответствия их ВПТ допустимым значениям. При этом максимально используют опыт прежних раз-



работок как в виде статистического материала, так и личного опыта специалистов, обобщить который можно с помощью метода экспертных оценок.

Несмотря на наличие элемента субъективности, такой подход отличается от метода пробных расчетов, неопределенных коэффициентов Лагранжа и других диалоговым режимом работы с ПК, который опирается на строгий математический аппарат. Кроме величины поля допуска для каждой погрешности, назначаемой перед началом счета, требуется еще информация о характере ее распределения, так же как и для всех остальных методов проектного расчета, если они базируются на вероятностных уравнениях связи допусков.

После проведения первого этапа проектного расчета производят проверочный расчет, в целях определения возможного выхода ВПТ изделия за пределы назначенного допуска. Если результаты удовлетворительные или имеется незначительный, не требующий пересмотра допусков запас точности, проектный расчет можно считать законченным. В случае неудовлетворительных результатов или получения значительного запаса точности необходимы соответствующая корректировка допусков и повторение расчетов.

В процессе практической реализации изложенной последовательности проектного расчета по мере получения промежуточных результатов решают задачи формирования оптимальных технологических схем сборки изделий с точки зрения обеспечения заданных ВПТ; формируют точностные требования к средствам технологического оснащения сборочных работ; прорабатывают и создают наиболее рациональные конструктивно-технологические решения составляющих элементов изделия (деталей, сборочных единиц, соединений стыков и т.п.); разрабатывают технологии и оборудование для контроля точностных характеристик изделий и другие аналогичные задачи.

Расчетно-точностной анализ окончательно собранного изделия — часть точностного анализа в соответствии с выбранными критериями оптимизации, включающая комплекс работ по проверке степени обоснованности назначенных допусков на входные и выходные параметры точности изделий и принятых технологий их сборки и контроля ВПТ, прогнозированию характеристик изделий и оценке технологических возможностей предприятий по их производству.

Характерной особенностью расчетно-точностного анализа является единство и взаимосвязь составляющих его содержание компонентов. Так, от степени обоснованности определения допусков на входные и выходные параметры точности зависит выбор заложенных в технологический процесс технических решений сборочных операций и реализующих их средств технологического оснащения (СТО), а также обоснование номенклатуры и состава операций измерений и контроля точностных параметров собираемых сборочных единиц изделий. Также взаимосвязаны оценка технологических возможностей предприятия (оценка точностных возможностей оборудования для производства и сборки агрегатов и узлов изделия) и прогноз точностных характеристик изделий, которые предполагается изготавливать и собирать.

В свою очередь, назначение обоснованных допусков и синтез рациональных технологий сборки и контроля определяют технический уровень предприятия и точностные характеристики выпускаемых изделий, и наоборот, от технического уровня собираемых конструкций изделий зависят требования к точности технологических процессов и оборудования.

Основными критериями оптимизации при проведении операций расчетно-точностного анализа являются прежде всего ВПТ, а также производственно-экономические показатели, к которым относят время цикла сборки, себестоимость оснастки и оборудования, трудоемкость проведения сборочных и контрольно-измерительных работ и т.п. Учитывая специфику и особенности изделий специального машиностроения, доминирующую роль в перечисленных критериях оптимизации играют, как правило, ВПТ изделия.

В основе расчетно-точностного анализа лежит решение обратной точностной задачи (проверочного расчета), которая сводится к определению характеристик допуска на ВПТ изделия по известным характеристикам допусков на входные параметры точности. Анализ проводят на базе функциональных зависимостей типа (3).

Эти зависимости применительно к задачам расчета ВПТ изделий специального машиностроения имеют ряд особенностей. Они связаны с алгоритмическим видом исходных зависимостей, что уже само по себе представляет исключительное явление в задачах расчета размерных цепей, и их нелинейностью. Помимо этого большинство номиналь-



ных значений входных параметров точности равны нулю, в частности, технологические погрешности изготовления и сборки составляющих элементов изделия. Следствием этого является двойственность роли уравнений связи ВПТ с исходными погрешностями, которые, с одной стороны, связывают номинальные значения входных параметров с выходными, а с другой – их погрешности. В связи с этим отпадает необходимость приводить эти зависимости к виду, при котором становится возможным связывать входные и выходные погрешности. Следовательно, эти зависимости могут быть использованы при детерминистическом подходе к расчету ВПТ, т.е. по заданным или измеренным значениям составляющих погрешностей какого-либо изделия с их помощью можно получить численные значения ВПТ, не прибегая к их экспериментальному определению у собранного изделия.

Несостоятельность метода "минимум–максимум" и значительные сложности в реализации вероятностных методов решения проверочной задачи достаточно подробно изложены в работах [6–8]. Ограниченность их применения связана с низкой точностью расчетов, необходимостью определения аналитической и линейной зависимостей между входными и выходными параметрами точности для одних методов, а для других – необходимостью минимизации количества составляющих погрешностей, либо наличием только нормального закона их распределения.

В связи с этим с учетом специфики зависимостей, описывающих процесс формирования ВПТ изделий специального машиностроения, наиболее приемлемым инструментом для проведения проверочного расчета является численный метод статистического моделирования, используемый как метод моделирования случайных величин с целью вычисления характеристик их распределения. Получение соответствующего программного обеспечения, как правило, затруднений не вызывает.

Сущность метода заключается в многократных реализациях приведенных выше зависимостей, при этом в качестве исходных данных всякий раз берут новые случайные числа, каждое из которых принадлежит всему массиву чисел с заданным законом распределения для соответствующего параметра. В результате многократных реализаций получают массив чисел для определенных ВПТ, кото-

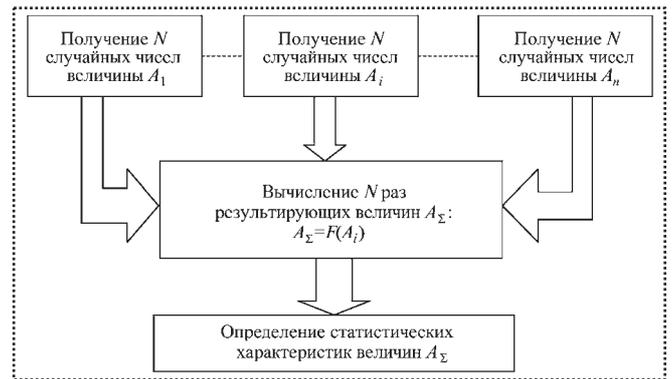


Рис. 5. Блок-схема метода статистического моделирования

рый является их законом распределения. Блок-схема метода приведена на рис. 5.

Теоретически для нахождения величины A_{Σ} необходимо выбрать такую случайную величину X , математическое ожидание которой равно:

$$M(X) = A_{\Sigma}.$$

На практике же производят N испытаний, в результате которых получают N возможных значений X , далее находят

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

и принимают \bar{X} в качестве оценки A^* искомого числа A_{Σ} :

$$A_{\Sigma} \cong A_X^*.$$

Получить точную оценку математического ожидания невозможно, и верхняя граница допускаемой при этом ошибки δ с заданной вероятностью γ может быть вычислена по формуле

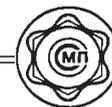
$$\delta = \frac{t\sigma}{\sqrt{N}},$$

где σ – среднее квадратическое отклонение случайной величины X ;

t – значение аргумента функции Лапласа, при которой сама функция Лапласа равна

$$\Phi(t) = \frac{\gamma}{2},$$

либо, если σ неизвестно, определяют по формуле



$$\delta = \frac{t_\gamma S}{\sqrt{N}},$$

где S – "исправленное" среднеквадратическое отклонение;

t_γ – табличный параметр распределения Стьюдента.

Следует отметить, что при $N \rightarrow \infty$ точность оценки математического ожидания возрастает и различие между результатами, которые дают вышеприведенные формулы, уменьшается.

При таком применении метода статистических испытаний основным вопросом является моделирование законов распределения погрешностей, когда исходный массив чисел формируют из равномерно распределенной в интервале $[0; 1]$ квазиравномерной случайной величины.

Для получения равномерно распределенных чисел используют таблицы случайных чисел, генераторы случайных чисел и, что наиболее приемлемо с практической точки зрения, алгоритмы формирования псевдослучайных чисел, позволяющие с помощью рекуррентных зависимостей получать из начального числа целую последовательность псевдослучайных чисел. Получение других законов распределения основано на преобразовании равновероятного распределения, которое осуществляют методом обратных функций с использованием центральной предельной теоремы и другими методами.

К настоящему времени разработано и применяется на практике большое число алгоритмов моделирования случайных величин, имеющих различные законы распределения. К ним относят биномиальное, гипергеометрическое и трапецеидальное распределения, распределения по законам Пуассона, Паскаля, Симпсона, Максвелла, по закону равной вероятности и другие.

Равновероятный, нормальный и экспоненциальный законы распределения случайных величин и распределение по закону Релея наиболее часто встречаются при точностных расчетах применительно к изделиям специального машиностроения.

Для решения задачи стохастическим методом последовательно генерируют псевдослучайные числа, распределенные равновероятно в интервале $[0; 1]$. Затем для каждого унифицированного геометрического параметра α_j , β_j , κ_j вырабатывается случайная величина, распределенная в заданном

для каждой конкретной величины интервале допустимых значений по ее собственному закону распределения.

Полученные значения являются фактическими параметрами одной конкретной реализации. Это решение повторяется заданное количество раз.

После проведения определенного количества реализаций (в соответствии с [6] порядка 5000) получают массив значений выходного параметра, по которому можно судить о его характере распределения, а также вычислить поле допуска, например, по величине размаха, т.е. разнице между наибольшим и наименьшим значениями ВПТ.

Изложенный подход к решению обратной задачи (проверочного расчета) составляет основу проведения всех операций расчетно-точностного анализа, а его промежуточные и окончательный результаты являются базой для выработки управляющих решений по назначению численных характеристик допусков, выбору схем и определению операций технологических процессов сборки и контроля, а также потребного оборудования и оснастки для их выполнения в условиях производства.

Реализация этого подхода в процессе технологического проектирования при технической подготовке производства изделий предоставила возможность:

- осуществить научно-обоснованный прогноз ВПТ изделий с учетом технологических особенностей изготовления и воздействия внешних возмущений;
- количественно оценить обоснованность разработанных технологий сборки, достаточность и эффективность технологий контроля ВПТ для сборочных единиц;
- дать оценку и уточнить в ряде случаев численные характеристики допустимых значений входных и выходных параметров точности;
- определить технологические возможности конкретных групп сборочного и контрольно-измерительного оборудования в части обеспечения ВПТ элементов изделий.

Комплексная оценка влияния технологических погрешностей производственного процесса на формирование ВПТ изделий специального машиностроения следующая. Процентная величина суммарного "вклада" погрешностей изготовления и сборки составляющих блоков в формирование ВПТ – 30...35 %. Составляющие погрешностей распределены следующим образом: отклонение от



перпендикулярности стыковочных торцов блоков $\alpha = 18...20\%$; смещения центров стыкуемых торцов блоков $\varepsilon = 10...12\%$; углы закрутки осей стабилизации стыкуемых торцов блоков $\kappa = 2...3\%$.

Вывод

Точностной анализ – метод научного исследования, базирующийся на выявлении закономерностей формирования выходных параметров точности изделий в производстве, математическом моделировании этих процессов и целенаправленном формировании на этой основе управляющих воздействий, через средства технологического оснащения сборки и контроля, направленные на повышение эффективности производства в части достижения заданных количественных норм ВПТ изделий с меньшими трудовыми и материальными затратами.

Точностной анализ включает разделы:

- организационно-технический анализ исходных данных;

- размерный анализ вариантов технологического процесса;
- расчетно-точностной анализ окончательно собранного изделия.

Список литературы

1. Бородачев Н.А. Анализ качества и точности производства. М.: Машгиз, 1946. 252 с.
2. Бородачев Н.А. Основные вопросы теории точности производства. М.: АН СССР, 1950. 416 с.
3. Иванов В.Б. Автоматизация расчетов размерных цепей ЭВМ. Механизация и автоматизация производства, № 11, 1985, с. 24–26.
4. Карпов Л.И., Соломатин А.Г. Теория и практика расчета размерных цепей. МАДИ, 1984. 78 с.
5. Комиссаров В.И., Леонтьев В.И. Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов. М.: Машиностроение, 1985. 224 с.
6. Корсаков В.С. Основы технологии машиностроения. М.: Высшая школа, 1974. 335 с.
7. Медарь А.В. Обеспечение качества изделий в сборочном производстве. М.: ГОНТИ-2, 1988. 58 с.
8. Медарь А.В. Технологическое обеспечение качества изделий машиностроения. Федерация космонавтики России. Научные технологии производства. Сборник научных трудов, вып. 2, 2004. С. 101–105.
9. Медарь А.В. Размерно-точностной анализ в проектировании технологических процессов. М.: ГОНТИ-2, 1987. 46 с.

Внимание!

В последнее время участились случаи контрафактно изданных журналов нашего издательства с нарушением технических стандартов полиграфии.

Нередко покупателями некачественных изданий становятся бюджетные организации, заключившие договор с недобросовестными поставщиками в результате тендера.

ООО "Издательство Машиностроение" обладает исключительными правами на выпуск и реализацию своих периодических изданий, поэтому для оформления подписки у нас не требуется участие в тендерах. Издательство предоставляет все документы, которые необходимы государственным учреждениям.

Издательство "Машиностроение" предоставляет журналы по минимальной отпускной цене.

Постоянным подписчикам предоставляет скидку – 3 %.

Ежемесячная отправка заказной бандеролью осуществляется за счет издательства.

Приглашаем Вас оформить подписку на журналы издательства "Машиностроение"

в отделе продаж, маркетинга и рекламы:

107076, г. Москва, Стромьинский пер., д. 4

Тел.: (499) 269-66-00, 269-52-98. Факс (499) 269-48-97.

e-mail: realiz@mashin.ru

www.mashin.ru

Обращайте внимание на качество журналов, получаемых по подписке!

Издательство не несет ответственности за низкое качество журналов, приобретенных у недобросовестных поставщиков, и не принимает их к обмену.

Вибрация. Станки балансировочные. Характеристики и методы их проверки (по материалам ГОСТ 20076–2007). Продолжение*

Представлены технические требования к контрольным роторам и контрольным грузам. Приведены требования к проведению испытаний и порядок их проведения.

Technical requirements for reference rotors and reference weights have been presented. Requirements to implementation of tests and their implementation order have been considered.

Ключевые слова: контрольный ротор, контрольный груз, испытания.

Key words: reference rotor, reference weight, tests.

1.3. Контрольные грузы

1.3.1. Общие положения

Контрольные грузы используют для внесения определенных дисбалансов в контрольные плоскости контрольного ротора.

Поскольку для этих целей в контрольных плоскостях нарезаны отверстия, в качестве контрольных грузов могут быть использованы болты, винты и другие крепежные элементы для резьбовых соединений. Однако рекомендуется в каждое отверстие ввернуть резьбовую шпильку, выступающую на определенную высоту над поверхностью ротора, и на эту шпильку навинчивают контрольный груз цилиндрической формы. Это обеспечивает точную фиксацию центра масс устанавливаемого груза.

Значение дисбаланса контрольного груза выражают в единицах, кратных U_{mar} .

Если заявленный минимально достижимый остаточный дисбаланс U_{mar} определен через одинаковые значения в каждой из двух плоскостей $U_{mar \text{ per plane}}$, то

$$U_{mar} = 2U_{mar \text{ per plane}}.$$

Если же изготовителем заявлен минимально достижимый остаточный удельный дисбаланс e_{mar} , то U_{mar} определяют умножением e_{mar} на общую массу контрольного ротора m :

$$U_{mar} = e_{mar} m.$$

* Начало см. в журнале "Сборка в машиностроении, приборостроении" № 1, 2009.

Примечание. Требуемый контрольный груз определяют исходя из значения дисбаланса, который должен быть создан с его помощью, и расстояния от оси контрольного ротора, на котором будет находиться центр масс контрольного груза после его установки.

1.3.2. Контрольные грузы для проверки U_{mar}

1.3.2.1. Для проверки U_{mar} в плоскость 3 (см. табл. 5) устанавливают контрольный груз, вносящий дисбаланс, в 10 раз превышающий U_{mar} .

Примечание. Для контрольных роторов типов А и В допускается устанавливать вместо одного контрольного груза в контрольной плоскости 3 два контрольных груза с дисбалансами по 5 U_{mar} в контрольных плоскостях 1 и 2. Такая замена недопустима для роторов типа С.

1.3.2.2. Проверку U_{mar} с использованием контрольных роторов типов А и В проводят:

- для вертикальных и горизонтальных станков с встроенным валом (ротор типа А);
- для горизонтальных станков, предназначенных для балансировки межопорных роторов (ротор типа В).

Пример. Горизонтальный балансировочный станок, контрольный ротор типа В. Табл. 2, ротор № 5, масса 50 кг. Заявленное значение (см. рис. 1) $e_{mar} = 0,0005$ мм (0,5 г·мм/кг) (см. рис. 1).

Минимально достижимый остаточный дисбаланс: $U_{mar} = 50 \times 0,5 = 25$ г·мм.

Расчет дисбаланса, вносимого контрольным грузом: $10 U_{mar} = 250$ г·мм.

1.3.2.3. Для горизонтальных станков, предназначенных для балансировки консольных роторов, проверку проводят с использованием контрольных роторов типа С на основе аналогичных расчетов.

Примечание. Эти расчеты дают, однако, другие значения дисбалансов контрольных грузов, поскольку:

- масса ротора типа С отличается от массы ротора типа В;
- заявленное значение e_{mar} (см. рис. 1) для межопорных роторов может отличаться от аналогичного значения для консольных роторов;
- контрольный груз для роторов типа С устанавливают на другом расстоянии от оси ротора.

Пример. Горизонтальный балансировочный станок, контрольный ротор типа С. Табл. 3, ротор № 3, масса 19,5 кг. Заявленное значение (см. рис. 1) $e_{mar} = 0,002$ мм (2 г·мм/кг) (см. рис. 1).



Минимально достижимый остаточный дисбаланс: $U_{mar} = 19,5 \times 2 = 39 \text{ г} \cdot \text{мм}$.

Расчет дисбаланса, вносимого контрольным грузом: $10 U_{mar} = 390 \text{ г} \cdot \text{мм}$.

1.3.3. Контрольные грузы для проверки коэффициента уменьшения дисбаланса (см. 2.1.7)

1.3.3.1. Для испытаний с контрольными роторами типов А и В используют:

♦ один (для испытаний в одной плоскости) или два (для испытаний в двух плоскостях) стационарных контрольных груза, каждый из которых вносит дисбаланс $U_{station}$ от $20 U_{mar}$ до $60 U_{mar}$;

♦ один (для испытаний в одной плоскости) или два (для испытаний в двух плоскостях) перемещаемых контрольных груза, каждый из которых вносит дисбаланс U_{travel} , равный $5 U_{station}$.

Пример. Для того же контрольного ротора и заявленного значения e_{mar} , что и в 1.3.2.2, и контрольных грузов, создающих дисбаланс в диапазоне от 30 до 15 значений допустимого остаточного дисбаланса, получают следующие значения для контрольных грузов в испытаниях для проверки коэффициента уменьшения дисбаланса:

$$U_{station} = 30U_{mar} = 30 \times 25 = 750 \text{ г} \cdot \text{мм};$$

$$U_{travel} = 5U_{station} = 3750 \text{ г} \cdot \text{мм}.$$

1.3.3.2. Для испытаний с контрольным ротором типа С расчет контрольных грузов принципиально не отличается от вышеприведенного, однако в целях использования одной и той же диаграммы расчета коэффициента уменьшения дисбаланса (диаграммы оценки URR) дисбаланс стационарного контрольного груза выбирают от $60 U_{mar}$ до $100 U_{mar}$.

Примечание. Контрольные грузы для роторов типа С отличаются от контрольных грузов для роторов типа А.

Как вариант, испытания на проверку коэффициента уменьшения дисбаланса с контрольным ротором типа С могут быть проведены с контрольными грузами, создающими статическую (моментную) неуравновешенность ротора. В соответствии с принципами и правилами, изложенными в ГОСТ ИСО 1940-1, для создания необходимых дисбалансов применяют следующие контрольные грузы:

статическая неуравновешенность:

♦ один стационарный контрольный груз, вносящий дисбаланс $U_{res station}$ от $20 U_{mar}$ до $60 U_{mar}$;

♦ один перемещаемый контрольный груз, вносящий дисбаланс $U_{res travel}$, равный $5 U_{res station}$.

моментная неуравновешенность:

♦ два стационарных контрольных груза, каждый из которых вносит дисбаланс $U_{c station}$, равный $4 U_{res station}$;

♦ два перемещаемых контрольных груза, каждый из которых вносит дисбаланс $U_{c travel}$, равный $5 U_{c station}$.

1.3.4. Допустимые погрешности

1.3.4.1. Погрешность задания массы

Погрешность задания массы контрольных грузов непосредственно зависит от целей испытаний и не должна приводить к изменению его результатов более чем на 10 %.

Для испытаний на проверку U_{mar} допустимая погрешность массы составляет $\pm 1 \%$.

Для испытаний на проверку коэффициента уменьшения дисбаланса допустимую погрешность массы, которая зависит от заявленного значения этой величины URR_{claim} , определяют (в процентах) как $\pm 0,1 (100 \% - URR_{claim})$.

Пример. В испытании для подтверждения значения $URR_{claim} = 95 \%$ допустимая погрешность массы составляет $\pm 0,1 \cdot (100 - 95) \% = \pm 0,5 \%$.

1.3.4.2. Погрешность установки

Контрольные массы устанавливают в контрольных плоскостях с шагом 30° .

Нулевые отметки для всех контрольных плоскостей должны совпадать.

Отклонение в положении контрольного груза по каждой из трех осей не должно превышать следующих пределов:

а) в осевом направлении: допустимое отклонение от заданной контрольной плоскости в числовом выражении должно быть таким же, как и для массы по 1.3.4.1 при проверке коэффициента уменьшения дисбаланса (например, $\pm 0,5 \%$);

б) в радиальном направлении: то же, что и в перечислении а), но применительно к расстоянию от оси ротора;

в) по угловому положению в контрольной плоскости: то же, что и в перечислении а), но применительно к угловым единицам ($1 \text{ раз} = 57,3^\circ$); например, $\pm 0,5 \%$ соответствует $\pm 0,3^\circ$.

С целью облегчить проведение испытаний с контрольными роторами типов В и С целесообразно совместить отметку приводного вала с угловым положением нуля контрольного ротора.

1.3.5. Материал

Контрольные грузы для контрольных роторов малых и средних размеров могут быть столь малы,



что это создаст неудобство в работе с ними. В этом случае целесообразно изготавливать контрольные грузы из легких материалов (например, алюминия или пластмассы).

2. Испытания

2.1. Требования к подтверждению характеристик

Для подтверждения заявленных характеристик балансировочного станка требуется провести от двух до четырех следующих видов испытаний:

■ проверку минимально достижимого остаточного дисбаланса U_{mar} ;

■ проверку коэффициента уменьшения дисбаланса URR ;

■ проверку влияния моментной неуравновешенности на показания индикатора в случае статической балансировки I_{sc} ;

■ проверку работы цепи условной балансировки (с процедурой поворота ротора на 180°).

Изготовитель и заказчик согласуют место проведения испытаний: либо на предприятии-изготовителе, либо на месте эксплуатации балансировочного станка.

Контрольные роторы типов А и В выбирают в соответствии с типом балансировочного станка (см. 1.2). Контрольный ротор типа С используют для горизонтальных балансировочных станков только по предварительному соглашению изготовителя и заказчика и в том случае, если данный станок будет использован для балансировки консольных роторов.

Примечание. На рис. 9 показаны схемы проведения испытаний для проверки U_{mar} и подтверждения заявленного значения коэффициента уменьшения дисбаланса для контрольных роторов типов А, В и С.

Устанавливаемые настоящим стандартом испытания представляют собой минимальный набор процедур, необходимый для демонстрации соответствия требованиям в отношении:

■ минимально достижимого остаточного дисбаланса U_{mar} ;

■ совокупной точности показаний значения и угла дисбаланса, а также разделения плоскостей коррекции;

■ подавления моментной неуравновешенности при статической балансировке;

■ точности работы цепи условной балансировки.

Эти испытания не предназначены для выявления причин несоответствий.

В дополнение к указанным испытаниям контролю подвергают также геометрические размеры станка, его конструктивные особенности, используемые инструмент и оснастку.

Проверка других характеристик станка требует проведения дополнительных испытаний, которые должны быть согласованы между изготовителем и заказчиком.

2.2. Обязанности изготовителя и заказчика при испытаниях

2.2.1. Эксперт

Для проведения испытаний заказчик назначает эксперта из числа лиц, прошедших курс обучения работе на балансировочных станках. Перед проведением испытаний эксперт проходит инструктаж изготовителя. В процессе испытаний эксперт может либо самостоятельно осуществлять операции на балансировочном станке, либо использовать результаты, полученные другими лицами, при условии убежденности в их достоверности. Изготовитель предоставляет эксперту инструкции по выполнению операций на балансировочном станке и контролирует их выполнение.

2.2.2. Обработка результатов

Эксперт должен считывать или распечатывать показания, получаемые в процессе испытаний балансировочного станка, вносить их в журнал, преобразовывать в единицы U_{mar} и представлять в графическом виде. Изготовитель контролирует правильность выполнения экспертом указанных операций.

2.2.3. Подготовка контрольного ротора и контрольных масс

Изготовитель отвечает за подготовку контрольного ротора к испытаниям, правильный выбор контрольных грузов и мест их размещения. Эксперт проверяет подготовленность контрольного ротора и контрольных грузов к испытаниям.

2.3. Требования к весам

В процессе испытаний используют весы, точность показаний которых должна соответствовать требованиям 1.3.4.1.

2.4. Действия при отрицательном заключении по результатам испытаний

Если в процессе испытаний заявленные характеристики машины не будут подтверждены, изготовитель должен осуществить необходимые регулировки и повторно подготовить балансировочный

станок к испытаниям, после чего испытания повторяют в полном объеме.

2.5. Выбор частоты вращения

Частота вращения контрольного ротора при испытаниях должна быть выбрана по согласованию между изготовителем и заказчиком по следующим показателям:

а) номинальная скорость испытуемого балансировочного станка (как указано в технической документации изготовителя);

б) от 1/10 до 1/5 максимально допустимой частоты вращения контрольного ротора (см. табл. 1–3) согласно техническим условиям изготовителя;

в) типичная скорость, которую заказчик предполагает использовать при балансировке своих изделий;

г) скорость, определенная заказчиком (если им предоставлен для испытаний собственный контрольный ротор).

2.6. Проверка минимально достижимого остаточного дисбаланса U_{mar}

2.6.1. Общие положения

Цель данного испытания – проверить способность балансировочного станка уравнивать

ротор для заявленного значения минимально достижимого остаточного дисбаланса U_{mar} .

Процедура описана для случая динамической балансировки. Указаны также особенности ее выполнения в случае балансировки в одной плоскости.

2.6.2. Подготовка к испытанию

2.6.2.1. Определение контрольных плоскостей

Выполняют настройку станка под данный ротор. Тарировку и настройку осуществляют путем размещения грузов в плоскостях, не являющихся контрольными плоскостями ротора (см. табл. 4 и 5).

2.6.2.2. Начальный дисбаланс

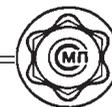
Необходимо убедиться, что дисбаланс в каждой из контрольных плоскостей контрольного ротора не превышает пяти (в случае испытаний для одной плоскости – десяти) минимально достижимых остаточных дисбалансов. При необходимости дисбаланс уменьшают, размещая грузы таким образом, чтобы это не влияло на выполнение последующих этапов данного испытания.

Пример. Для контрольных балансировочных станков типа В для коррекции начального дисбаланса используют торцовые плоскости ротора.

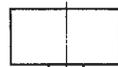
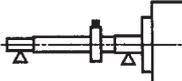
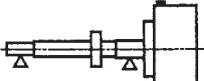
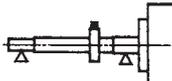
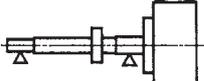
4. Контрольные плоскости

Вид станка	Расположение центра масс ротора	Контрольный ротор (см. 1.2)
Вертикальный	–	<p>Тип А</p>
Горизонтальный	Между опорами	<p>Тип В</p>
Горизонтальный	За опорами	<p>Тип С</p>

Примечания: 1, 2, 3 – контрольные плоскости.
 2. \triangle , \triangle – измерительные плоскости при проверке минимально достижимого остаточного дисбаланса.
 3. Данные указаны для статической и динамической балансировки.



5. Методы проверки минимально достижимого остаточного дисбаланса и URR-испытаний

Проверка минимально достижимого остаточного дисбаланса (см. 2.6)	URR-испытания (см. 2.7)
Статическая балансировка  Контрольный груз, создающий дисбаланс $10U_{mar}$ в плоскости 3. Измерение статического дисбаланса	Контрольный груз в плоскости 3  $U_{station}: (20...60)U_{mar}$ $U_{travel}: 5U_{station}$ Измерение статического дисбаланса
Динамическая балансировка (плоскости коррекции вблизи контрольных плоскостей 1 и 2)  Контрольный груз, создающий дисбаланс $10U_{mar}$ в плоскости 3. Измерение в плоскостях \triangle, \triangle	Контрольные грузы в плоскостях 1 и 2  $U_{station}: 5U_{station}$ Измерение в плоскостях 1 и 2
Статическая балансировка  Контрольный груз, создающий дисбаланс $10U_{mar}$ в плоскости 3. Измерение статического дисбаланса	Контрольный груз в плоскости 3  $U_{station}: (20...60)U_{msr}$ $U_{travel}: 5U_{station}$ Измерение статического дисбаланса
Динамическая балансировка (плоскости коррекции вблизи контрольных плоскостей 1 и 2)  Контрольный груз, создающий дисбаланс $10U_{mar}$ в плоскости 3. Измерение в плоскостях \triangle, \triangle	Контрольные грузы в плоскостях 1 и 2  $U_{station}: (10...60)U_{mar}$ $U_{travel}: 5U_{station}$ Измерение в плоскостях 1 и 2
Статическая балансировка  Контрольный груз, создающий дисбаланс $10U_{mar}$ в плоскости 3. Измерение статического дисбаланса	Контрольный груз в плоскости 1  $U_{station}: (20...60)U_{mar}$ $U_{travel}: 5U_{station}$ Измерение статического дисбаланса
Динамическая балансировка (плоскости коррекции вблизи контрольных плоскостей 1 и 2)  Контрольный груз, создающий дисбаланс $10U_{mar}$ в плоскости 3. Измерение в плоскостях \triangle, \triangle	Контрольные грузы в плоскостях 1 и 2  $U_{station}: (20...60)U_{mar}$ $U_{travel}: 5U_{station}$ Измерение в плоскостях 1 и 2

Примечание. 1, 2, 3 – контрольные плоскости.

2.6.3. Внесение дисбалансов

К ротору прикрепляют две пробные массы (например, кусочки пластилина). Каждая из них должна создавать дисбаланс от $5U_{mar}$ до $10U_{mar}$. Эти массы нельзя размещать:

- в одной радиальной плоскости;
- в плоскости коррекции ротора;
- в контрольной плоскости ротора;
- под одним углом;
- под углом 180° друг к другу.

Пример. Для ротора типа В эти массы прикрепляют к поверхности бочки ротора вблизи контрольных плоскостей.

Примечание. В случае испытаний в одной плоскости берут одну массу, создающую дисбаланс от $10U_{mar}$ до $20U_{mar}$.

2.6.4. Считывание показаний

Показания начального дисбаланса после каждого шага коррекции (см. 2.6.5) вносят в контрольный лист балансировки (табл. 6).

2.6.5. Корректировка масс ротора

Посредством стандартной процедуры балансировки для данного балансировочного станка уменьшают (насколько возможно) дисбаланс ротора, используя для этого не более четырех циклов измерений. При этом корректирующие массы размещают в плоскостях коррекции. Показания записывают в контрольный лист балансировки (см. табл. 9).

Пример. Для контрольных балансировочных станков типа В в качестве плоскостей коррекции используют торцовые плоскости ротора.

Примечание. Если остаточный дисбаланс не удается понизить до зна-



6. Контрольный лист балансировки (проверка U_{mar})

Дата проведения испытаний:					
Место проведения испытаний:					
Лицо, обслуживающее балансировочный станок:					
Лицо, проводящее измерения:					
Балансировочный станок, изготовитель:					
Модель:					
Контрольный ротор, тип:					
№		Масса, кг:			
U_{mar} , г·мм:		$10U_{mar}$, г·мм:			
Контрольный груз, г:		Расстояние от оси вала (радиус), мм:			
Частота вращения, мин ⁻¹					
Балансировочные циклы	Дисбаланс, плоскость 1		Дисбаланс, плоскость 2		Номер коррекции
	Значение, U_{mar}	Угол, ...°	Значение, U_{mar}	Угол, ...°	
Пуск 1 (начальный дисбаланс)					1
Пуск 2					2
Пуск 3					3
Пуск 4					4
Пуск 5 (остаточный дисбаланс)					Не допускается
Пуск 6 (после поворота системы координат на 60°)					То же

2. Если после изменения угловой системы координат показания при последующем (шестом) пуске не могут быть признаны удовлетворительными (см. примечание к 2.6.5), причину этого необходимо выявить и устранить, прежде чем испытания будут продолжены.

2.6.7. Настройка измерительной системы

Измерительную систему балансировочного станка настраивают для считывания показаний в плоскостях измерения дисбаланса в соответствии с табл. 4 и 5.

2.6.8. Контрольные пуски

В плоскость 3 устанавливают контрольный груз, создающий дисбаланс $10U_{mar}$ (см. 3.2). Осуществляют пуск ротора, измеряют дисбаланс и записывают его значения в контрольный лист испытаний (табл. 7).

чений менее $0,5U_{mar}$ в каждой плоскости при динамической балансировке или менее U_{mar} при статической балансировке, можно предположить, что балансировочный станок не выдержит испытание данного вида.

2.6.6. Изменение системы координат

При испытании горизонтальных балансировочных станков после проведения этапов, описанных в 2.6.2–2.6.5, изменяют систему угловых координат станка на 60°. С этой целью:

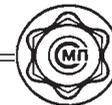
- для станков с приводом на конец ротора изменяют положение приводного вала относительно ротора;
- для станков с ременным приводом сдвигают метку начала отсчета угла.

Примечания: 1. При невозможности сдвига на 60° допускается изменять положение угловых координат на 90°.

7. Контрольный лист испытаний (проверка U_{mar})

Положение контрольного груза, °	Значение дисбаланса		Относительное значение дисбаланса	
	Плоскость 1	Плоскость 2	Плоскость 1	Плоскость 2
0				
30				
60				
90				
120				
150				
180				
210				
240				
270				
300				
330				
Сумма				
Среднеарифметическое				

Примечание. Для станков для статической балансировки результаты измерений и вычислений вносят в столбец для плоскости 1.



Контрольный груз устанавливают во все отверстия плоскости 3 в произвольной последовательности.

Для каждого положения контрольного груза осуществляют пуск ротора, измеряют дисбаланс в обеих плоскостях и записывают его значения в контрольный лист испытаний (см. табл. 7).

2.6.9. Оценка U_{mar}

2.6.9.1. Расчеты

Вычисляют среднеарифметическое значение для каждой плоскости, суммируя значение показаний для этой плоскости и деля полученное значение на 12. Вычисленное среднеарифметическое значение вносят в контрольный лист испытаний (см. табл. 7), строка "Среднеарифметическое".

Показания для каждой плоскости делят на полученное среднеарифметическое значение для данной плоскости и результаты записывают в контрольный лист испытаний (см. табл. 7) в столбце "Относительное значение дисбаланса".

2.6.9.2. Построение графика

Для полученных относительных значений дисбаланса строят график на разграфленном листе (рис. 9).

2.6.9.3. Характеристические значения на графике

На разграфленном листе (см. рис. 9) средняя горизонтальная линия соответствует среднеарифметическому показанию в данной плоскости. Две пунктирные линии, соответствующие значениям 0,88 и 1,12, представляют собой 12%-ные границы от среднеарифметического значения, которые учитывают заявленное значение U_{mar} с добавлением 20 % на влияние отклонения в положении контрольных масс и статистический разброс результатов измерений.

2.6.9.4. Заключение

Балансировочный станок считают успешно прошедшим проверку (т.е. в процессе испытаний достигнуто заявленное значение минимально достижимого остаточного дисбаланса), если на построенном графике все точки (за исключением, может быть, одной) лежат в диапазоне между двумя пунктирными линиями.

2.7. Проверка коэффициента уменьшения дисбаланса (URR-испытание)

2.7.1. URR-испытание на балансировочном станке для статической балансировки

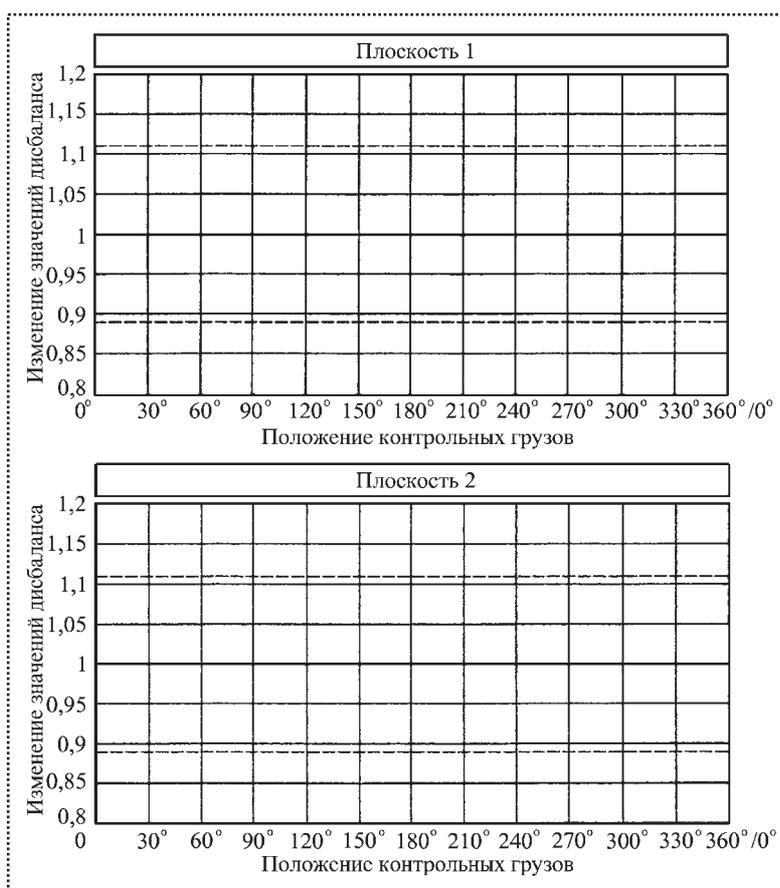


Рис. 9. График для оценки минимально достижимого остаточного дисбаланса (измеренное значение дисбаланса отложено в долях среднеарифметического значения)

В случае горизонтальных или вертикальных станков для статической балансировки в одной плоскости испытание данного вида проводят только в целях совместной проверки погрешностей индикации значения и угла дисбаланса.

Расположение контрольных плоскостей и плоскостей измерения дисбаланса указано в табл. 4 и 5.

2.7.2. URR-испытание на балансировочном станке для динамической балансировки

В случае горизонтальных или вертикальных станков для динамической балансировки испытание данного вида проводят для совместной проверки погрешностей индикации значения и угла дисбаланса, а также разделения плоскостей коррекции.

Расположение контрольных плоскостей и плоскостей измерения дисбаланса указано в табл. 4 и 5.

Примечание. Для консольных контрольных роторов типа С допускается проведение испытаний с наборами симметричных (кососимметричных) контрольных грузов. Имеющиеся при этом особенности указывают при описании испытания.



Система технического обслуживания и ремонта автомобильной техники*

Представлены методы определения показателей эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности при испытаниях.

Determination of maintainability and repairability characteristics during the tests have been considered.

Ключевые слова: техническое обслуживание, ремонт, испытание.

Key words: maintainability, repair, test.

Настоящий стандарт устанавливает методы определения фактических значений показателей эксплуатационной технологичности (ЭТ) и ремонтпригодности (РП), предусмотренных ГОСТ 20334–81, при испытаниях новых и модернизируемых изделий автомобильной техники на их соответствие значениям показателей, заданным в конструкторской документации на испытываемую модель.

Обработка и оценка результатов испытаний

1. Фактические значения основных показателей ЭТ и РП изделий определяют на основе хронометрирования оперативного (основного и вспомогательного) времени выполнения операций технического обслуживания (ТО) и ремонта оцениваемого изделия за период соответствующих испытаний. Допускается на стадии разработки изделия и доводочных испытаний определение оперативной трудоемкости операций ТО, текущего ремонта (ТР) и капитального ремонта (КР) проводить с использованием методов прогнозирования, приведенных в ГОСТ 23660–79.

2. Необходимое число хронометражных наблюдений по каждой операции ТО, ТР и КР изделия определяют исходя из условий относительной ошибки $\delta = 10\%$ и доверительной вероятности $\beta = 0,90$, с учетом коэффициента вариации v , характеризующего вид распределения чисел в ряду.

3. Данные хронометражных наблюдений заносятся в карты анализа.

4. На основании карт анализа заполняются карты–накопители сведений о ТО и ТР оцениваемых изделий.

5. Величину трудозатрат на ТО определяют как сумму средних значений оперативной трудоемкости всех операций, предусмотренных инструкцией по эксплуатации (проектом) или сервисной книжкой (проектом) оцениваемого изделия отдельно для каждого вида ТО.

6. Величину трудозатрат на ТР определяют как сумму средних значений оперативной трудоемкости устранения последствий отказов и неисправностей оцениваемого изделия за заданную наработку.

7. Величину оперативных трудозатрат на КР определяют как сумму средних значений оперативной трудоемкости всех операций КР оцениваемого изделия, предусмотренных технологическим процессом.

8. Расчет основных показателей ЭТ и РП выполняют применительно к первой категории условий эксплуатации.

9. Основные показатели ЭТ и РП вычисляют по формулам:

■ разовую оперативную трудоемкость E_O (S_{EO}), чел.-ч:

$$S_{EO} = \sum_{i=1}^n S_i^{e.o}, \quad (1)$$

где n – количество операций ежедневного технического обслуживания;

$S_i^{e.o}$ – средняя оперативная трудоемкость i -й операции ежедневного технического обслуживания;

■ удельную оперативную трудоемкость ТО (\bar{S}_{TO}), чел.-ч/тыс. км:

$$\bar{S}_{TO} = \sum_{i=1}^n \frac{(\tau_i)^{т.о}}{(l_i)^{т.о}} \cdot 1000, \quad (2)$$

где $(\tau_i)^{т.о}$ – средняя трудоемкость i -й операции ТО, чел.-ч;

$(l_i)^{т.о}$ – средняя периодичность i -й операции ТО, км;

*По материалам ГОСТ 21758–81.



n – количество всех операций ТО;

■ удельную оперативную трудоемкость ТР ($\bar{S}_{\text{ТР}}$), чел.-ч/тыс. км:

$$\bar{S}_{\text{ТР}} = \frac{\sum_{i=1}^b (\tau_i)^{\text{т.р.}}}{l_n} \cdot 1000, \quad (3)$$

где $(\tau_i)^{\text{т.р.}}$ – средняя трудоемкость i -го ТР, чел.-ч;

l_n – суммарный пробег изделия до капитального ремонта, км;

b – количество всех случаев ТР за период испытаний.

10. Уровень ЭТ и РП при КР определяют сравнением вычисленных основных показателей для испытуемой модели с показателями, заданными в конструкторской документации по формуле

$$K_{yi} = \frac{\Pi_i}{\Pi_3}, \quad (4)$$

где K_{yi} – уровень ЭТ и РП испытуемой модели по отношению к заданному значению по i -му показателю;

Π_i – численное значение основного показателя испытуемой модели;

Π_3 – заданное значение показателя.

11. Принятие решения об уровне ЭТ и РП испытуемой модели осуществляют по следующим показателям:

◆ по периодичности технического обслуживания:

$$K_{y1} = \frac{L_{\text{т.о.}}}{L_{\text{зад. т.о.}}};$$

◆ по разовой оперативной трудоемкости ЕО:

$$K_{y2} = \frac{S_{\text{ЕО}}}{S_{\text{зад. ЕО}}};$$

◆ по удельной оперативной трудоемкости ТО:

$$K_{y3} = \frac{\bar{S}_{\text{ТО}}}{\bar{S}_{\text{зад. ТО}}};$$

Уровень эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности

Наименование показателя	Уровень ЭТ и РП испытуемой модели	
	соответствует значению	не соответствует значению
Периодичность ТО	$K_{y1} \geq 1$	$K_{y1} < 1$
Разовая оперативная трудоемкость ЕО	$K_{y2} \leq 1$	$K_{y2} > 1$
Удельная оперативная трудоемкость ТО	$K_{y3} \leq 1$	$K_{y3} > 1$
Удельная оперативная трудоемкость ТР	$K_{y4} \leq 1$	$K_{y4} > 1$

◆ по удельной оперативной трудоемкости ТР:

$$K_{y4} = \frac{\bar{S}_{\text{тр}}}{\bar{S}_{\text{зад. тр}}}$$

в соответствии с таблицей.

12. Дифференцированный анализ основных показателей ЭТ и РП оцениваемых изделий в ходе исследований можно проводить с применением дополнительных показателей, рекомендуемых ГОСТ 20334–81.

Формулы для расчета численных значений дополнительных показателей ЭТ и РП по ремонтпригодности

1. Удельная оперативная продолжительность капитального ремонта $\bar{T}_{\text{кр}}$, тыс. км:

$$\bar{T}_{\text{кр}} = \frac{T_{\text{кр}}}{t},$$

где $T_{\text{кр}}$ – средняя оперативная продолжительность КР, ч;

t – заданная наработка до первого КР, тыс. км;

$$T_{\text{кр}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m T_{\text{кр}j},$$

где m – количество наблюдений;

$T_{\text{кр}j}$ – значение оперативного времени, затрачиваемого на выполнение операции КР при j -м наблюдении.



2. Удельная оперативная трудоемкость КР $\bar{S}_{кр}$, чел.-ч/тыс. км:

$$\bar{S}_{кр} = \frac{S_{кр}}{t},$$

где $S_{кр}$ – средняя оперативная трудоемкость КР, чел.-ч;

t – заданная наработка до первого КР, тыс. км;

$$S_{кр} = \sum_{f=1}^F \sum_{\mu=1}^M t_{f\mu},$$

где $t_{f\mu} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m t_{f\mu j}$;

m – количество наблюдений;

$t_{f\mu j}$ – значение оперативного времени, затрачиваемого f -м исполнителем на выполнение μ -операции КР при j -м наблюдении.

3. Коэффициент оперативной трудоемкости КР $K_{кр}$:

$$K_{кр} = \frac{S_{кр}}{S_0},$$

где $S_{кр}$ – средняя оперативная трудоемкость КР, чел.-ч;

S_0 – средняя оперативная трудоемкость изготовления одноименного изделия (задается в конструкторской документации).

4. Удельная оперативная трудоемкость ТО, отнесенная к номинальному значению его основного параметра, $R_{то}$, $\frac{\text{чел.-ч/тыс. км}}{\text{единица параметра}}$:

$$R_{то} = \frac{\bar{S}_{то}}{N},$$

где $\bar{S}_{то}$ – удельная оперативная трудоемкость технического обслуживания изделия, чел.-ч/тыс. км;

N – основной параметр.

5. Удельная оперативная трудоемкость текущего ремонта, отнесенная к номинальному значению его основного параметра, $R_{тр}$, $\frac{\text{чел.-ч/тыс. км}}{\text{единица параметра}}$:

$$R_{тр} = \frac{\bar{S}_{тр}}{N},$$

где $\bar{S}_{тр}$ – удельная оперативная трудоемкость текущего ремонта, чел.-ч/тыс. км.

6. Уровень ремонтпригодности изделия по техническому обслуживанию $K_{уто}$:

$$K_{уто} = \frac{R_{то}}{R_{то}^{зад}},$$

где $R_{то}^{зад}$ – заданное значение показателя ремонтпригодности изделия по техническому обслуживанию.

7. Уровень ремонтпригодности изделия по текущему ремонту $K_{утр}$:

$$K_{утр} = \frac{E_{тр}}{R_{тр}^{зад}},$$

где $R_{тр}^{зад}$ – заданное значение показателя ремонтпригодности изделия по текущему ремонту.

По эксплуатационной технологичности

8. Коэффициент доступности изделия при техническом обслуживании $K_{дто}$:

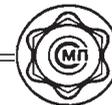
$$K_{дто} = \frac{(S_{осн}^{то})_и}{(S_{осн}^{то})_и + (S_{в}^{то})_и},$$

где $(S_{осн}^{то})_и$, $(S_{в}^{то})_и$ – суммарные соответственно основная и вспомогательная трудоемкости операций всех видов технического обслуживания за период испытаний, чел.-ч.

9. Коэффициент доступности изделия при текущем ремонте $K_{дтр}$:

$$K_{дтр} = \frac{(S_{осн}^{тр})_и}{(S_{осн}^{тр})_и + (S_{в}^{тр})_и},$$

где $(S_{осн}^{тр})_и$, $(S_{в}^{тр})_и$ – соответственно основная и вспомогательная суммарные трудоемкости ремонта за период испытаний, чел.-ч.



10. Удельное число операций при техническом обслуживании изделия по видам работ n_0 , ед. операций:

тыс. км

$$n_0 = \sum_{i=1}^n \frac{n_i}{l_i} \cdot 1000,$$

где n_i – i -я операция технического обслуживания;
 l_i – периодичность i -й операции технического обслуживания, км.

Примечание. Данный показатель рассчитывается отдельно по смазочным, крепежным и регулировочным работам.

11. Число марок применяемых топливосмазочных материалов n_m и технических жидкостей $n_{ж}$:

$$n_m = n_1 + n_2 + n_3,$$

где n_1, n_2, n_3 – суммарное число применяемых соответственно топлив, масел, пластичных (консистентных) смазок.

В общем количестве марок применяемых топливосмазочных материалов и технических жидкостей не включаются заменители, зимние сорта, неосновное (добавочное) топливо для многотопливных двигателей.

12. Коэффициент K_n применяемости инструмента:

$$K_n = \frac{n_n}{n_{общ}},$$

где $n_n, n_{общ}$ – соответственно количество инструмента и общее количество точек, для которых этот инструмент предназначен в процессе технического обслуживания и текущего ремонта.

Требования к авторам

Статьи в журнале публикуются бесплатно. Все статьи проходят рецензирование ведущими учеными России.

Наш журнал входит в перечень изданий, утвержденных ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней.

Объем статьи, предлагаемой к публикации, не должен превышать 15 страниц машинописного текста, напечатанного на белой бумаге формата А4 на одной стороне листа через два интервала.

В редакцию предоставляются в двух экземплярах:

Текст статьи, подписанный всеми авторами, с указанием даты представления.

Иллюстрации, подписанные на обороте карандашом, с указанием номера иллюстрации и названия статьи.

Перечень подрисовочных подписей на отдельной странице.

Аннотации (5–10 строк) – на русском и английских языках.

Ключевые слова на русском и английском языках.

Фамилия, инициалы авторов и название статьи и на английском языке.

Сведения об авторах (фамилия, имя, отчество, ученая степень, место работы, занимаемая должность, домашний и служебный адреса и телефоны, факс и e-mail, а также паспортные данные, ИНН, ГПС).

Статьи, набранные на компьютере, желателно представлять как в виде распечатки на принтере, так и в файло-

вом виде по e-mail. Текст в формате Microsoft Word (Times New Roman, 12 шрифт, два интервала), иллюстрации в виде отдельных файлов – TIFF, BMP, JPEG, CDR с максимально возможным разрешением. В статье рекомендуется указать поставленную цель, задачи, пути их решения и сделать соответствующие выводы. Если предложенная методика, разработка и т.д. имеют практическую ценность, очень желательно это подчеркнуть в статье.

Формулы, буквенные обозначения, цифры, знаки и их расположение должны быть четкими и различимыми.

Иллюстрации выполняются с учетом последующего воспроизведения их средствами оперативной полиграфии (с использованием сканера).

Библиографический список составляется по алфавиту в тексте и оформляется следующим образом: для книги сборников – фамилии и инициалы авторов, полное название книги (сборника), город, издательство, год, желательное общее число страниц; для журнальных статей – фамилии и инициалы авторов, полное название статьи, название журнала, год, номер журнала, номер страниц. Если число авторов более четырех, то необходимо указывать первых трех со словами "и др.". Ссылки на иностранную литературу следует писать на языке оригинала без сокращений.

Материалы, присланные в редакцию, обратно не высылаются.

Ю.Г. Козырев, канд. техн. наук

Выставка "Робототехника–2008"

С 4 по 6 ноября 2008 г. на ВВЦ в павильоне 69 проходила Шестая специализированная выставка "Робототехника–2008" (Робототехника, макро-, микро- и нанотехнологии), которая была организована при поддержке Российской Академии Наук, Министерства образования и науки Российской Федерации, Федерального агентства по науке и инновациям и Департамента науки и промышленной политики города Москвы.

Как и в период предшествующих выставок, цели и тематику выставки "Робототехника–2008" прорекламировали достаточно широко. Так, **целями проведения выставки** объявлялись:

- показ передовых технологий, робототехнических, интеллектуальных и мехатронных систем, разработанных или производимых в России и за рубежом;
- отбор отечественных инновационных разработок и инвестиционных проектов в области робототехники для расширения возможностей их коммерциализации и вывода на мировые рынки высокотехнологичной продукции.

Тематика выставки предусматривала весь спектр вопросов робототехники: от промышленных робототехнических систем до роботов сферы обслуживания, специального назначения, интеллектуальных роботов и т.д.

Однако на практике выставка "Робототехника–2008" оказалась самой скромной из всех предыдущих выставок подобного рода. Общее число участников-экспонентов едва превысило два десятка, включившее пять вузов, восемь научно-исследовательских институтов РАН, Всесоюзный институт научной и технической информации (ВИНИТИ), МОУ Центр детского творчества "Родник" и четыре компании, занимающиеся непромышленной робототехникой (например, "Техновижн" и "Андроидные роботы"). Предприятия, способные поделить свой опыт применения роботов в промышленности, не приняли участия в работе выставки. Да и в целом, натурные образцы новой техники на выставке почти не были представлены.

Экспоненты ограничились в основном показом планшетов, фильмов и печатной рекламной ин-

формационной продукцией. Участники это объясняли организационными и финансовыми трудностями, связанными с перевозкой, установкой и демонстрацией натуральных образцов. На таком скромном материале, конечно, трудно было ожидать реализации тематических задач и выполнения целей, поставленных организаторами выставки.

Однако отдельные экспонаты выставки представляли несомненный интерес.

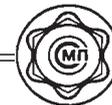
К таким экспонатам относится учебный комплекс, состоящий из **манипулятора SKAMCO** (производства Болгарии), оснащенного системой управления, разработанной Центром "Робототехника" МГТУ им. Баумана. Комплекс предназначен для изучения систем управления промышленными роботами и методов программирования на роботориентированном языке.

Система управления позволяет реализовывать управление приводами робота, инструментом, а также осуществлять по локальной сети управление группой роботов. Робот построен по кинематической схеме известных **роботов SCARA** и *ориентирован на применение в учебном процессе в технических университетах*. По своим техническим характеристикам может быть применен и в промышленных условиях.

Определенный интерес вызывают также разработанный в МГТУ им. Баумана **мобильный двухколесный робот Sybo S1000** с адаптивной системой стабилизации положения и предназначенный для осуществления различных сервисных функций при обслуживании человека. Робот задействован от аккумуляторов с запасом в 2,5 ч непрерывной работы. Он способен выполнять до 20 речевых команд и свободно перемещаться в пространстве к целевой точке, обходя как неподвижные препятствия, так и движущиеся предметы (например, людей).

Для специалистов, несомненно, представляли интерес система управления мобильным роботом и аппаратно-программный комплекс разработки устройств распознавания речи.

Институт проблем информации (ИПУ) РАН представил **компьютерные технологии автоматического распознавания и синтеза речи** в применении



к организации информационно-справочной телефонной службы, автодиспетчирования в режиме самообслуживания при вызове такси, взаимодействия с банковскими системами, интерактивного телефонного "секретаря".

Институт проблем лазерных и информационных технологий (ИПЛИТ) РАН, созданный в 1979 г. по инициативе академика Е.П. Велихова, представил информационно-рекламные материалы, характеризующие новейшие разработки по всем четырем направлениям деятельности:

- ◆ лазерно-информационные технологии;
- ◆ применение лазеров в биомедицине;
- ◆ технологические лазеры;
- ◆ лазерно-компьютерные системы и технологии обработки материалов.

Интерес посетителей привлекли разработки **интеллектуальной лазерной системы "ПЕРФОКОР"**, предназначенной для лечения ишемической болезни сердца. Для промышленной робототехники особый интерес представляет типовой ряд технологических CO₂-лазеров (три модели мощностью 1,5; 2,0; 3,0 кВт), предназначенных для применения в термических лазерных технологиях в составе роботизированных технологических комплексов (РТК).

Информацию и экспонаты, характеризующие использование наноструктурных материалов в микроробототехнике, представил **Уфимский научный центр института механики РАН**. Центром созданы экспериментальные *прототипы микроманипуляторов, осуществляющих*, например, *сборочные операции* в рабочей зоне площадью 100×100...400×400 мкм.

На выставке прошел симпозиум **"Тенденции развития робототехники и мехатроники"**. Четырнадцать докладов симпозиума были посвящены в основном *проблемам создания и управления мобильными роботами*, в том числе предназначенными для работы в экстремальных условиях и чрезвычайных ситуациях, а также вопросам миниатюризации робототехнических систем.

В то же время на симпозиуме не было представлено ни одного сообщения, связанного с разработкой и применением промышленных роботов в машиностроении и приборостроении. Так же как и на выставке, не было ни единого образца промышленного робота, ориентированного на выполнение операций, связанных с применением в машиностроении.

О чем это говорит? Ведь в 1990 г. парк промышленных роботов в СССР насчитывал более 130 тыс. единиц. По производству промышленных роботов наша страна уже в 1980 г. обогнала и США, и Японию. Но в результате перестройки и распада Советского Союза в России в 1992–1994 гг. прекратили производство средств робототехники, а промышленные роботы, равно как и большинство станков и других технологических машин, просто сдали в металлолом.

По данным доклада Заместителя Председателя Комитета Совета Федерации по промышленной политике Р.В. Шиянова в адрес Помощника Президента РФ – Начальника Контрольного управления Президента А.Д. Беглова от 03.05.2006 г. "В некоторых областях российские производители безнадежно отстали от мировых – это электроэрозионное, шлифовальное оборудование, средства автоматизации и управления... Сегодня в России **прекращено производство комплектных гибких производственных систем, роботизированных комплексов**, являющихся основой технического переоснащения производства".

В том же докладе приведены данные о том, что пополнение отечественных предприятий новой техникой на 77 % осуществляется за счет импорта. Производство станков составляет 6 % от уровня 1991 г. При этом платежеспособный спрос машиностроительных предприятий весьма низок (составляет 10 % от уровня 1991 г.) и на их переоснащение с учетом действующих темпов может понадобиться 45–50 лет.

По поводу состояния робототехники в России в одном из интервью президент Ассоциации "Робототехника", генеральный директор межотраслевого научно-технического комплекса "Робот" В.П. Степанов отметил: "Если бы в России в 1992–1994 гг. не прекратили производство робототехники и не уничтожили более 120 тыс. промышленных роботов, которые высвобождали из производства свыше миллиона человек, то сегодня не возник бы вопрос о привлечении в российскую промышленность мигрантов из ближнего зарубежья".

Таким образом, выставка "Робототехника–2008" является зеркальным отражением развала отечественного машиностроения, фактического разгрома его робототехнической отрасли и сведения до минимума удельного веса других наукоемких отраслей.



Значит ли все вышесказанное, что интерес к робототехнике в России снижается? Парадокс, но интерес к робототехническим дисциплинам в нашей стране растет, поскольку робототехника — это мультидисциплинарная наука. Она синтезирует в себе вопросы математики, механики, конструирования, управления и высоких технологий, наука, находящая прикладное применение в машиностроении, приборостроении, военном деле, медицине, в сфере обслуживания и т.п.

Косвенным свидетельством является резкий рост научно-технических изданий и учебной литературы по вопросам робототехники. Только за 2008 г. различными издательствами в нашей стране выпущено около 10 наименований книг по этой тематике. Среди них:

- **Робототехника**, прогноз, программирование. Антология. Изд: ЛКИ, 2008.
- **Б.В. Костров, В.Н. Ручкин, В.А. Фулин.** Искусственный интеллект и робототехника. Изд: Диалог-МИФИБ, 2008.
- **В.Л. Колюх.** Основы робототехники. Изд: Феникс, 2008.
- **Интеллектуальные роботы.** М.: Изд. Машиностроение, 2008.
- **Козырев Ю.Г.** Программно-управляемые системы автоматизированной сборки. М.: Изд. Центр "Академия", 2008.

Кстати, организаторам выставки, по-видимому, было бы целесообразно пригласить ведущие издательства и журналы по робототехнике, машиностроению и приборостроению для участия в этой выставке, тем более, что такая попытка уже предпринималась в 2006 г.

Всем давно уже ясно, что стране пора слезать с нефтяной иглы. Чтобы удержаться в числе развитых стран необходимо развивать под жестким контролем государства машиностроение и наукоемкие технологии. Поэтому завершить эту статью я хотел бы словами академика РАН Ф.М. Митенкова, написанными более 10 лет назад в докладе Правительству РФ: *"Состояние машиностроения — надежный индикатор состояния экономики, поскольку оно определяет уровень технической культуры, научно-производственный потенциал, стабильность и прогресс экономических процессов в стране. Без развитого машиностроения ни одна страна не может претендовать на лидирующую роль в мировой экономике. Поэтому тот факт, что в последние годы отечественное машиностроение не только не развивается, а постепенно и недопустимо быстро деградирует, расходуя не лучшим образом остатки научно-технического задела доперестроечных лет, должен послужить поводом для всестороннего изучения проблемы и принятия экстренных мер для ее положительного решения"*.

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

Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**".

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

редакции журнала: **sborka@mashin.ru; tsmm@mashin.ru http://www.mashin.ru**

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

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

Сдано в набор 04.12.08 г. Подписано в печать 02.02.09 г. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 6,86. Уч.-изд. л. 7,02. Заказ 32. 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.