

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ  
ЖУРНАЛ

# СБОРКА

## В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ



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

9 2013  
(158)

### СОДЕРЖАНИЕ

#### *Экономика и организация сборочного производства*

- Бойкачёв В.Н., Хоменко В.В. Оптимизация планирования технологической подготовки производства высокотехнологичных изделий на основе принципов "бережливого производства" . . . . . 3

#### *Современные технологии сборки*

- Медведев А.М., Мылов Г.В. Надежность электрических межсоединений в электронных сборках авионики . . . . . 12

#### *Обеспечение качества. Испытания. Контроль*

- Безъязычный В.Ф., Замятин В.Ю., Замятин А.Ю. Проект мегасистемы качества и конкурентоспособности промышленного предприятия. Понимание и структурные критерии базовых категорий . . . . . 19

- Диланян Р.З., Кравченко И.И., Штейнбрехер М.А. Конструкторско-технологическое обеспечение и управление качеством производственных процессов . . . . . 27

#### *В помощь конструктору, технологу*

- Брылёв А.В., Марецкая В.В., Савельева Л.В. Обеспечение посадки с гарантированным зазором в соединении в условиях инструментальной ограниченности . . . . . 34

- Иванов А.А. Моделирование объектов автоматизированного производства на основе теории массового обслуживания . . . . . 40

- Полякова М.В., Рабинович Л.А., Плешаков А.А., Горелова А.Ю., Кристаль М.Г. Технологические особенности пригонки деталей для прецизионной сборки . . . . . 44

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  
Tel.: (499) 268-38-42; тел./факс: 268-85-26. Факс: (499) 269-48-97.

E-mail: sborika@mashin.ru

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Сборка в машиностроении, приборостроении", допускаются только с разрешения редакции и со ссылкой на источник информации.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

Председатель  
редакционного совета  
Ф.М. МИТЕНКОВ, академик РАН

#### Редакционный совет

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

#### Региональные редсоветы **БЕЛГОРОД**

Н.А. ПЕЛИПЕНКО

#### **БРЯНСК**

О.А. ГОРЛЕНКО

#### **ВЛАДИВОСТОК**

Ю.Н. КУЛЬЧИН

А.А. СУПОНЯ

В.М. КОРНИЕНКО

#### **ВОЛГОГРАД**

В.Г. КАРАБАНЬ

М.Г. КРИСТАЛЬ

В.И. ЛЫСАК

В.М. ТРУХАНОВ

#### **ИЖЕВСК**

И.В. АБРАМОВ

Б.А. ЖИКИМОВИЧ

В.Г. ОСЕТРОВ

#### **КАЗАНЬ**

Р.И. АДГАМОВ

#### **КОВРОВ**

Ю.З. ЖИТНИКОВ

#### **КОЛОМНА**

Ю.Д. АМИРОВ

#### **КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ**

Б.Н. МАРЫН

В.И. ШПОРТ

А.М. ШПИЛЕВ

#### **НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ**

С.В. ДМИТРИЕВ

Р.М. ХИСАМУТДИНОВ

#### **НИЖНИЙ НОВГОРОД**

С.В. ГОЛУБЕВ

#### **ОМСК**

В.Н. КОСТЮКОВ

#### **ОРЕЛ**

Ю.С. СТЕПАНОВ

Г.А. ХАРЛАМОВ

А.И. КУМЕНКО

А.В. МЕДАРЬ

Е.А. МИКРИН

В.В. ПОРОШИН

Б.В. ШАНДРОВ

А.А. ШАТИЛОВ

А.Г. ХОЛОДКОВА

Г.А. ЯРКОВ

#### **ОРЕНБУРГ**

А.Н. ПОЛИКОВ

А.И. СЕРДЮК

А.П. ФОТ

#### **РЫБИНСК**

В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ

В.В. НЕПОМИЛУЕВ

А.Н. СЕМЕНОВ

#### **САМАРА**

М.А. ЕВДОКИМОВ

Ю.А. ВАШУКОВ

Г.А. КУЛАКОВ

В.А. НИКОЛАЕВ

#### **САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**

В.Ф. КУЗЬМИН

Е.В. ШАЛОБАЕВ

#### **СОЛЫГИНЫ**

А.И. РЫЖКОВ

#### **ТУЛА**

В.В. ПРЕЙС

#### **ХАБАРОВСК**

В.А. ЛАШКО

#### **Украина**

#### **КИЕВ**

А.С. ЗЕНКИН

В.А. МАТВИЕНКО

#### **ДОНЕЦК**

А.Н. МИХАЙЛОВ

#### **СЕВАСТОПОЛЬ**

Е.Л. ПЕРВУХИНА

#### **Беларусь**

#### **МИНСК**

В.Л. БАСИНЮК

М.Л. ХЕЙФЕЦ

#### **Гомель**

В.Е. СТАРЖИНСКИЙ

#### **Израиль**

В.М. БЕДРИН

#### **Польша**

П. ЛЕБКОВСКИ

Е. ЛУНАРСКИ

#### **Ответственные за подготовку и выпуск номера:**

Ю.А. ЧИЧОВ, И.М. ГЛИКМАН

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

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*

9            2013  
              (158)

### CONTENTS

#### *Economy and the organization of assembly*

Boykachev V.N., Khomenko V.V. Technological planning optimization of high-tech production works, based on the principles of "lean manufacturing" . . . . . 3

#### *Modern technologies in assembly*

Medvedev A.M., Mylov G.V. Reliability of electrical interconnections of electronic assemblies of avionics . . . . . 12

#### *Quality assurance. Testing. Monitoring*

Bezyazychny V.F., Zamyatin V.Yu., Zamyatin A.Yu. Project of megasystem of quality and competitiveness for industrial enterprises. Understanding and structural criteria of basic categories . . . . . 19

Dilanjan R.Z., Kravchenko I.I., Shtejnbreher M.A. Product design and production engineering maintenance and quality management of productions . . . . . 27

#### *Industrial and design engineer's aid*

Brylev A.V., Maretskaya V.V., Savelieva L.V. Clearance fit ensuring in conditions of tool limitedness . . . . . 34

Ivanov A.A. Object modeling of the automated production based on the theory of mass service . . . . . 40

Polyakova M.V., Rabinowitz L.A., Pleshakov A.A., Gorelova A.Yu., Kristal M.G. Technological specificity at adjusting components for precision assembly . . . . . 44

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

#### Editors

##### MOSCOW

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

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

##### Regional editors

##### BELGOROD

N.A. PELIPENKO

##### BRIANSK

O.A. GORLENKO

##### VLADIVOSTOK

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

##### VOLGOGRAD

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

##### IZHEVSK

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

##### KAZAN

R.I. ADGAMOV

##### KOVROV

Yu.Z. ZHITNIKOV

##### KOLOMNA

Yu.D. AMIROV

##### KOMSOMOLSK-ON-AMUR

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

##### NABEREZHNYE CHELNY

S.V. DMITRIEV  
R.M. KHISAMUTDINOV

##### NIZHNY NOVGOROD

S.V. GOLUBEV

##### OMSK

V.N. KOSTIUKOV

##### OREL

Yu.S. STEPANOV  
G.A. KHLARLAMOV

##### ORENBURG

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

##### KIEV

A.S. ZENKIN  
V.A. MATVIENKO

##### DONETSK

A.N. MIKHAILOV

##### SEVASTOPOL

E.L. PERVUKHINA

##### Belarus

##### MINSK

V.L. BASINJUK

M.L. KHEIFETZ

##### GOMEL

V.E. STARZHINSKI

##### ISRAEL

V.M. BEDRIN

##### POLAND

P.LEBKOVSKI

E. LUNARSKI

#### Executive editors of current issue:

Yu.A. CHICHOV, I.M. GLIKMAN

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-radio Broadcasting and Mass Communications Media.

Registration certificate ПИ № 77-1747,

February 25, 2000

Free price

Journal is distributed on subscription, which can be issued in any post office (index on the catalogue of the "Rospechat" agency – 79748, the union catalogue "Pressa Rossi" – 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](mailto:sborka@mashin.ru)  
Labor Red Banner Order Public Corporation "Publishing House "Mashine Building"  
107076, Moscow, Stromynsky per. 4  
The reference to the Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making  
Journal during reprint of the materials is mandatory.  
Advertisers are responsible for the content of their advertisements.

# ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 658.5.012.2

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

E-mail: Techcom.space@gmail.com

## Оптимизация планирования технологической подготовки производства высокотехнологичных изделий на основе принципов "бережливого производства"

Сформулировано несколько методических подходов к решению проблемы оптимизации затрат на технологическую подготовку, а также коэффициента технологической оснащенности производства высокотехнологичной продукции, позволяющих решать различные задачи, имеющие определенное практическое значение.

*Several methodological approaches to optimize the process design costs, and the rate of technological equipment of the high-tech production that address a variety of tasks with a certain practical value are stated.*

**Ключевые слова:** оптимизация затрат на технологическую подготовку производства, коэффициент технологической оснащенности производства, специальные средства технологического оснащения, оптимизация планирования производства.

**Keywords:** to optimize the process design costs, rate of technological equipment, special means of technological equipment, optimization of production planning.

**Основными задачами технологической подготовки производства (ТПП) являются:**

- проектирование технологических процессов изготовления изделия;
- отработка и освоение в производстве новой технологии;
- проектирование специальных средств технологического оснащения (ССТО);
- проектирование технологических процессов изготовления комплектов ССТО;
- изготовление ССТО;
- перепланировка цехов и перестановка оборудования.

Проектирование технологических процессов изготовления изделия, а также конструкции и технологии изготовления ССТО выполняют службы

отдела главного технолога (ОГТ), а также соответствующие подразделения (например, конструкторское бюро) по проектированию ССТО. Затраты на их содержание и выполнение указанных работ включаются в себестоимость товарной продукции через накладные расходы (цеховые и общезаводские), которые в практике учета затрат на производство относятся к условно-постоянным (т.е. мало изменяющимся). Поэтому оптимизация данных затрат малоэффективна. Кроме того, она трудноосуществима методически.

Работы по перепланировке и перестановке оборудования, а также по отработке и освоению технологических процессов выполняют в соответствии со сметами цехов (т.е. разрозненно) и они, как правило, не носят определяющего характера.

Наибольшее значение при оценке общих затрат на ТПП имеют затраты на изготовление комплекта ССТО нового изделия. Поэтому данным работам и затратам ресурсов на них уделяется наибольшее внимание, организованы оперативный и бухгалтерский учеты этих работ и затрат. На многих предприятиях (включая авиакосмическую промышленность) в структуре себестоимости имеется статья затрат "Износ инструментов и приспособлений целевого назначения", что позволяет получать более полную и достоверную информацию для учета и анализа выполненных работ и осуществленных затрат.

В связи с этим при проведении укрупненных расчетов, например, при оценке технологической реализуемости программы или инновационного проекта на ранних стадиях создания нового изделия для определения затрат на ТПП  $C_{\text{TPP}}$  можно пользоваться следующими формулами:

$$C_{\text{TPP}} = C_{\text{ССТО}} + C_{\text{пп}} ; \quad (1)$$



$$C_{\text{ TPP}} = K_{\text{ np}} C_{\text{ ССТО}}, \quad (2)$$

где  $C_{\text{ ССТО}}$  – себестоимость первоначального комплекта ССТО;

$C_{\text{ np}}$  – прочие затраты;

$K_{\text{ np}}$  – коэффициент, учитывающий прочие затраты на ТПП.

Формулу (1) применяют в случаях, когда имеется необходимая информация (например, нормативы) для расчета прочих затрат  $C_{\text{ np}}$  прямым счетом. В остальных случаях используют формулу (2).

Планирование основного и инструментального производства предприятий осуществляют разные службы. Согласование планов производства изделия и ССТО проводят, как правило, только в оперативно-календарном планировании с целью обеспечения своевременного поступления в цеха основного производства специального инструмента и технологической оснастки для изготовления соответствующих деталей и сборочных единиц.

В технико-экономическом планировании такое согласование не производят, что приводит к нерациональным затратам ресурсов, уровень которых зависит от объема затрат на изготовление ССТО. При этом потери ресурсов возникают в двух случаях, а именно: при недостаточном объеме затрат на ССТО возникают нерациональные затраты ресурсов в основном производстве из-за роста трудоемкости и потеря от брака, а при избытке ССТО они возникают в инструментальном производстве (ИП) из-за изготовления экономически неэффективных инструментов и оснастки, т.е. роста нерациональных затрат. Второй случай в практике работы предприятий менее характерен в связи с недостатком производственных мощностей ИП на многих предприятиях.

Основным принципом "бережливого производства" является минимизация сроков и затрат ресурсов на производство продукции при обеспечении заданного уровня ее качества. Для его реализации в данном случае возникают две задачи: оптимизация затрат на изготовление ССТО и оптимизация производственных мощностей ИП. Вторая задача в данной работе не рассматривается, так как для ее решения требуется применение специально разрабатываемого методического аппарата.

При использовании различных технико-экономических показателей (ТЭП) для измерения объемов основного производства и ИП (как правило, это трудоемкость и себестоимость) число необхо-

димых экономико-математических моделей критериев оптимизации возрастает. Чаще применяют показатель трудоемкости. В этом случае упрощается методика расчета и не требуется обеспечение соизмеримости результатов по годам расчетного периода.

В практике управления ТПП применяют также коэффициент технологической оснащенности  $K_{\text{ то}}$ , позволяющий получить информацию о ходе оснащения производства нового изделия. Как показал проведенный анализ, затраты ресурсов, приходящиеся в среднем на одно наименование ССТО, колеблются в довольно ограниченных пределах, что указывает на наличие тесной корреляционной зависимости между объемами производства ССТО и  $K_{\text{ то}}$ , поэтому  $K_{\text{ то}}$ , информация о котором имеется в оперативном учете, также является оптимизируемой величиной.

При анализе динамики уровня технологической оснащенности производства предприятия необходимо получить следующую информацию:

- 1) какой должна быть динамика  $K_{\text{ то}}$  в предстоящие плановые периоды и, соответственно, потребность в специальной технологической оснастке;
- 2) как связать изменения  $K_{\text{ то}}$  с изменениями программы выпуска изделий.

Эти вопросы возникают в практике работы предприятий, но достаточно обоснованных ответов на них пока нет из-за отсутствия соответствующего методического обеспечения. В результате уровень оснащенности на заводах колеблется случайным образом, а оптимальные его размеры не определяются.

Оптимационные задачи будем называть *статическими*, если их решение позволяет оценить только оптимальный уровень затрат ресурсов на изготовление ССТО или уровень  $K_{\text{ то}}$ .

Если решение оптимационной задачи позволяет получить рациональное распределение затрат ресурсов по времени (оптимальный план), то такие задачи будем называть *динамическими*.

В соответствии с данной классификацией изложенные ранее задачи относят к группе статических задач оптимизации затрат на изготовления комплекта ССТО.

Математические основы методологии решения инженерных задач динамической оптимизации планирования производства ССТО разработаны в работах [1–3] и др. При этом была использована хорошо известная монотонно убывающая зависи-



мость затрат на производство изделия в ходе его освоения [4] в результате роста уровня технологической оснащенности производства и действия других факторов.

Снижение затрат на производство в процессе его освоения может достигать двух и более раз. Зная зависимость себестоимости изделия  $C_{изд}$  или его трудоемкости  $T_{изд}$  от уровня его технологической оснащенности, например, вида  $C_{изд} = f(C_{ССТО})$  или  $T_{изд} = f(T_{ССТО})$ , с помощью разработанных в работах [1–3] математических методов можно определить оптимальные планы основного производства и ИП по критерию минимума суммарных затрат на основное производство и ИП.

Важной проблемой является проблема обеспечения расчетов по разработанным математическим моделям исходной информацией. По своей сложности она не уступает разработке самих моделей, так как в практической работе предприятий в условиях затратного хозяйственного механизма такая информация не требовалась. Поэтому при внедрении рассматриваемой методологии одновременно необходимо создавать соответствующее информационное обеспечение, что при отсутствии статистической информации весьма затруднительно. В связи с этим в ближайшие годы можно рассчитывать лишь на приближенное решение задач по созданию информационного обеспечения математических моделей для оптимизации планирования ТПП.

Необходимо учитывать, что любая математическая модель отображает моделируемый объект лишь в его наиболее существенных чертах и свойствах, в результате чего она имеет методическую погрешность. Одновременное проявление методической погрешности модели и погрешности информационного обеспечения может привести к тому, что разработанная математическая модель будет в целом недостаточно точной.

В таких случаях в качестве информации для принятия решения используют не конкретное решение задачи оптимизации, а результаты исследования наиболее существенных свойств оптимальных решений. В частности, рассматриваемые в настоящей работе типы моделей оптимизации могут быть использованы для оценки вариантов планов основного производства и ИП. Они также позволяют изменять планы для улучшения каких-либо других критериев так, чтобы минимально ухудшить

критерий минимума суммарных затрат на основное производство и ИП. Поскольку в этих случаях не требуется высокая точность, такие задачи можно решать, начиная с ранних стадий создания изделий, в частности при оценке технологической реализуемости инновационных проектов и программ для определения потенциальных возможностей предприятий – изготовителей создаваемых изделий с точки зрения достижения оптимальных затрат ресурсов в основном производстве и ИП.

Изложенные ранее основные методические принципы статической оптимизации  $K_{то}$  и планирования производства ССТО обладают одним общим недостатком: в них не учитывается принцип интеграции конструкторских и технологических решений, реализованный в понятии конструктивно-технологического решения (КТР).

Это связано с тем, что учет данного принципа резко усложняет задачи оптимизации вследствие увеличения числа переменных и факторов, которые необходимо учитывать в моделях. Например, учет таких факторов, как внутрипроектная и межпроектная унификация, может существенно изменить облик комплекта ССТО для производства создаваемых изделий и, соответственно, затраты и сроки ТПП.

Наиболее актуальной и реальной с точки зрения получения хотя бы приближенного решения является задача оптимизации сквозного планирования производства ССТО в системе "КБ– завод" с учетом межпроектной и (или) внутрипроектной унификации.

Как следует из изложенного, а также анализа научно-технической литературы [1–4], общая постановка задачи оптимизации затрат на ТПП пока не разработана. Существуют лишь ряд методических подходов к решению этой проблемы, позволяющих, хотя и в ограниченной постановке, решать различные задачи, имеющие определенное практическое значение. Эти подходы сводятся к трем научным направлениям:

- 1) методология оптимизации коэффициента технологической оснащенности производства;
- 2) методология совместного планирования основного производства и ССТО;
- 3) методология сквозного планирования ТПП (ССТО) в системе "КБ– завод" (или в цикле "разработка–производство").

В качестве общего методического принципа при решении указанных задач предлагается использо-

вание единого критерия эффективности — минимума приведенных затрат в основном производстве и ИП.

Структура методов оптимизации планирования ТПП представлена на рис. 1.

Разработке и внедрению всех трех методических подходов сопутствуют одни и те же трудности, связанные с неподготовленностью КБ и промышленных предприятий к решению рассматриваемых задач. Основными из них являются затратные методы планирования, включая и цеха ИП, неразвитость нормативной базы, а также отсутствие в подразделениях заинтересованности в оптимизации планируемых ТЭП. Очевидно, что указанные факторы будут затруднять практическую реализацию принципов «бережливого производства» при решении рассматриваемых задач.

При рассмотрении методов оптимизации  $K_{\text{то}}$  производства необходимо учитывать, что этот показатель не имеет предельного числового значения. Он основан на подсчете числа наименований специальной оснастки и поэтому был бы абсолют-

но достоверен при одном из двух условий: либо в том случае, когда все наименования технологической оснастки равнозначны друг другу (по трудоемкости изготовления, эффективности и т.п.), либо в случае, если бы структура средств оснащения была всегда одинакова.

Однако на практике не существует ни того, ни другого. Комплекты оснастки состоят из весьма отличающихся друг от друга изделий, и доля простых или сложных видов ССТО изменяется в широких пределах. Поэтому данный показатель дает лишь приблизительно верную оценку (характеристику) уровня технологической оснащенности производства.

В последние годы в результате широкого внедрения в производство оборудования с ЧПУ, новых технологий и методов организации производства потребность в ССТО уменьшается, в результате чего снижается и оптимальный размер  $K_{\text{то}}$ . Однако для высокотехнологичных машиностроительных и приборостроительных производств практическое значение этого показателя в ближайшие годы будет сохраняться.

Укрупненное определение численных значений коэффициентов  $K_{\text{то}}$  технологической оснащенности (оптимальных, плановых, нормативных) является сложной задачей, до настоящего времени решаемой преимущественно эксперты путем.

Плановые  $K_{\text{то}}$  обычно рассчитывают один раз в ходе технологической подготовки производства под какое-то среднее значение объема выпуска продукции. Поскольку эти вычисления производят за много месяцев, а нередко и за несколько лет до начала собственно производства, исходя из расчета на средний объем выпуска продукции (который впоследствии не всегда реализуется), и, наконец, проводят без применения методов оптимизации, то отрицательные экономические последствия такой системы неизбежны. В результате уровень оснащенности на заводах колеблется случайным образом, а оптимальные его размеры не определяются.

В современных условиях на многих предприятиях имеет место дефицит мощностей ИП. В связи с этим существенно повышаются требования к уровню экономической эффективности ССТО: если известно, что всю необходимую оснастку изготовить в заданные сроки невозможно, то заказывать (причем в возможно

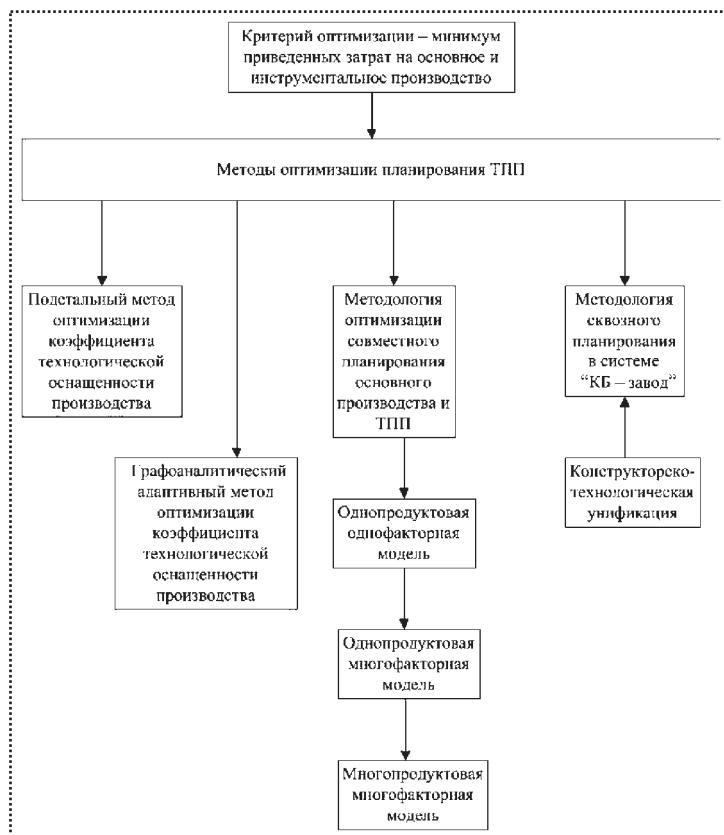


Рис. 1. Структура методов оптимизации планирования ТПП и коэффициента технологической оснащенности производства



ранние сроки) следует прежде всего ту оснастку, которая даст наибольший экономический эффект в производстве (при сохранении ограничения в виде требований к качеству изделия). Как представляется, для этих условий для многих предприятий более перспективным может оказаться применение метода индивидуального учета экономической эффективности ССТО (дифференциального подхода), суть которого излагается далее.

Так как каждое наименование спецоснастки заказывают и запускают в ИП индивидуально, по каждому ее наименованию перед запуском в производство проводят оценку экономической эффективности (путем сопоставления затрат на ее изготовление с ожидаемой их экономией в основном производстве), кроме случаев, когда без нее невозможно обеспечить требуемый уровень качества изделия. При этом наиболее эффективную оснастку запускают в производство в кратчайшие сроки.

На основе этой концепции разработана принципиальная организационно-функциональная модель формирования объемов производства ССТО с учетом их экономической эффективности, показанная на рис. 2. Реализация этой схемы позволит оптимизировать планирование изготовления ССТО на стадиях отработки и освоения производ-

ства новых изделий и повысить его эффективность. Работы осуществляют в следующем порядке.

Конструкторская документация (КД) по маршруту, определенному группой расщеповок отдела главного технолога (ОГТ), последовательно поступает в цехи основного производства, где разрабатывают карты оснащения. Исходным требованием при этом является обеспечение необходимого качества изделий. Если изготовление детали без спецоснастки не обеспечивает требуемого качества, цех приступает к поиску готовой оснастки для изготовления детали через информационно-поисковую систему и в случае, если оснастка отсутствует, оформляет заказ на изготовление оснастки.

В случае, если без спецоснастки деталь изготавливать можно, определяют ее экономическую эффективность, т.е. сравнивают трудоемкость изготовления детали без спецоснастки и трудоемкость изготовления детали с применением спецоснастки, включая трудоемкость изготовления последней. Если применение оснастки увеличивает суммарную трудоемкость, то оснастка неэффективна и заказ на ее изготовление не оформляют.

Если же применение оснастки снижает суммарную трудоемкость изготовления изделия, оснастка является эффективной и цех приступает к поиску

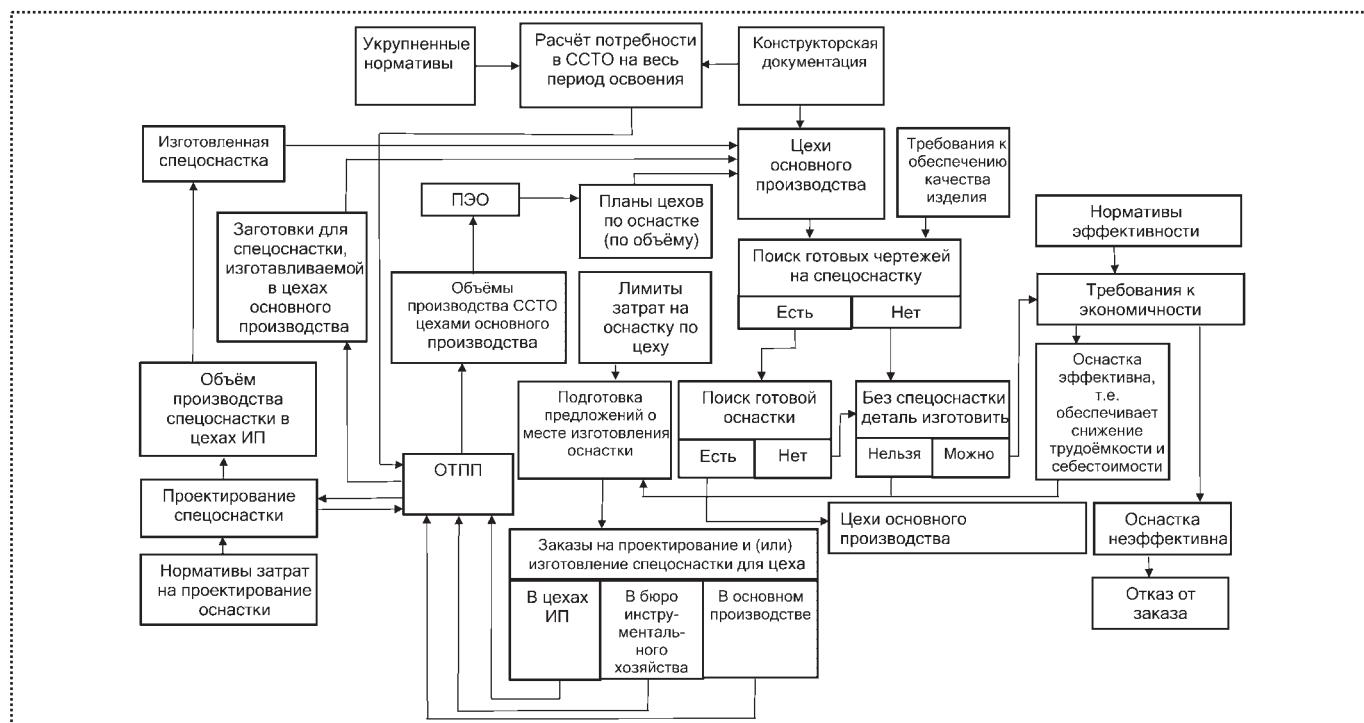


Рис. 2. Организационно-функциональная модель формирования объемов ССТО с учетом их экономической эффективности



готовой или спроектированной оснастки требуемого вида.

В случае, если оснастка отсутствует, цех основного производства оформляет заказ на изготовление оснастки и передает его в отдел ТПП (ОТПП).

Отдел ТПП на основе анализа мощностей ИП и лимитов затрат на спецоснастку цехам основного производства формирует объемы ее производства в цехах основного и инструментального производства и передает заказы на проектирование оснастки в КБ ОГТ. Кроме того, ОТПП организует передачу заготовок для спецоснастки, изготавливаемой в цехах основного производства.

Сведения о всей изготовленной на предприятии оснастке и о движении ее в цехах основного производства заносят в информационно-поисковую систему движения оснастки.

Для оценки  $K_{\text{то}}$  сформированные таким образом объемы производства ССТО (в натуральном выражении и исчисленные нарастающим итогом) делят на число оригинальных деталей в изделии. Проводимые с определенной периодичностью такие расчеты позволяют получить динамику экономически обоснованного уровня  $K_{\text{то}}$ .

Для реализации приведенной схемы на предприятиях необходимы высококвалифицированные специалисты-технологи и соответствующая нормативно-методическая база, а также хорошо отлаженный учет движения оснастки в виде автоматизированной информационно-поисковой системы (которая есть далеко не на всех предприятиях). Кроме того, необходимы определенные затраты на администрирование достаточно сложной работы данной системы.

Весь комплект ССТО необходимо разделить на три части:

- ССТО, без которых невозможно изготовить изделие (например, сборочная оснастка, включающая в себя стапели, кондукторы, кантователи, сборочно-сварочные приспособления, стенды, контрольно-проверочная аппаратура и т.д.);
- ССТО, без которых невозможно изготовить изделие с требуемым уровнем качества (шаблоны, включая контрольно-контуры, мерительный инструмент и приспособления, кондукторы и т.д.);
- ССТО, по которым проводят оценку экономической эффективности.

Поскольку отнесение ССТО к той или иной категории выполняют люди, то здесь имеет место влияние "человеческого фактора".

В ряде высокотехнологичных отраслей промышленности стоимость и требования к качеству изделий очень высоки, так как дефект одной детали или узла может принести убытки в сотни миллионов рублей. В этом случае влияние "человеческого фактора" должно быть сведено к минимуму. В связи с этим авторами был предложен графоаналитический адаптивный метод оптимизации  $K_{\text{то}}$  производства радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

Данный метод предполагает применение в виде основного критерия индекса качества ССТО ( $I_q$ ), измеряемого потерями от брака деталей, изготавливаемых с использованием ССТО:

$$I_q = C_{\text{бр}_{T-1}} / C_{\text{бр}_T}, \quad (3)$$

где  $C_{\text{бр}_T}$  и  $C_{\text{бр}_{T-1}}$  – потери от брака деталей, изготавливаемых с использованием ССТО, в период  $T$  и  $T-1$ .

Применение данного метода проиллюстрировано на рис. 3 применительно к процессу технологического оснащения приборостроительного производства. Это производство отличается от машиностроительного тем, что помимо ССТО создается специальное программное обеспечение (СПО), в процессе отработки которого также выявляют дефекты различной природы. Индекс качества СПО будем обозначать  $I_{q_{\text{СПО}}}$ .

При отработке технологических процессов с использованием ССТО индексы  $I_q$  и  $I_{q_{\text{СПО}}}$  чаще всего изменяются по S-образной кривой. На начальном

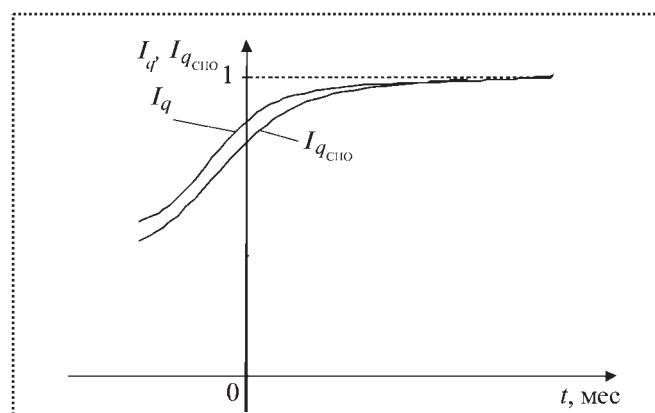


Рис. 3. Графоаналитический адаптивный метод оптимизации коэффициента технологической оснащенности производства РЭА



этапе они изменяются довольно медленно, затем следует участок более быстрого роста качества изготавливаемых деталей и узлов, а также качества отрабатываемого СПО, характеризующийся снижением потерь от брака и дефектов, что приводит к более активному росту индексов качества.

В заключительной части срока отработки индексы качества изменяются медленно, приближаясь к максимальному значению, равному 1. На этом участке оснащение производства изделия можно заканчивать.

Зависимость роста  $K_{\text{то}}$  от времени имеет характер, близкий к линейному. Значение  $K_{\text{то}}$  в момент окончания оснащения производства изделия (при достижении индексами качества значений, близких или равных 1) считается оптимальным. Наибольший эффект при использовании данного методического подхода к оптимизации уровня технологической оснащенности производства достигается при участии в этом процессе системы менеджмента качества предприятия.

Планирование в "бережливом производстве" в перспективе представляется как единое целое, где будут взаимосвязаны, сбалансированы и учтены все основные технико-экономические показатели планирования выпуска продукции. Одним из современных направлений совершенствования планирования производства является применение математического моделирования.

Математическая модель, давая возможность оптимизировать значения ТЭП в условиях реальных ограничений, позволяет получить экономический эффект за счет повышения обоснованности планирования.

Большой объем работ по созданию методов динамической оптимизации совместного планирования основного производства и его ТПП отражен в трудах В.Б. Зябрева и других ученых [1–3]. В настоящей работе данный подход рассматривается на примере наиболее простой однопродуктовой одноФакторной задачи совместного планирования основного производства и ССТО (базовой модели).

Решение данной задачи должно дать ответы на следующие вопросы: какими должны быть максимально допустимые затраты на проектирование и изготовление технологической оснастки в каждом конкретном случае в зависимости от объема производства, особенностей изделия и производства и в какой мере, вслед за ростом объема выпуска изделий должен экономически оправданно расти уро-

вень технологической оснащенности производства?

Задачи совместного планирования допускают целый ряд постановок, отличающихся учитывающими факторами, числом наименований изделий, а также набором ограничений. Суть же методического подхода остается неизменной – это увязка в одном критерии оптимальности плана затрат на производство изделий и ССТО, измеряемых показателем трудоемкости. В базовой модели рассматривается одно изделие и учитывается только один фактор, влияющий на динамику его трудоемкости, а именно: объем выпуска ССТО (по показателю трудоемкости).

При росте объема производства ССТО в процессе освоения производства нового изделия, который оценивается с помощью  $K_{\text{то}}$ , трудоемкость его изготовления в сумме с трудоемкостью ССТО снижается, достигая оптимума (минимального значения), а при дальнейшем росте  $K_{\text{то}}$  сумма этих показателей начинает расти. Зона роста суммарной трудоемкости изделия и ССТО характеризуется как зона производства экономически не эффективных ССТО. Тем не менее, на практике эта зона существует, так как в нее попадают ССТО, без которых невозможно изготовить изделие или обеспечить необходимый уровень его качества.

Методический подход к решению динамической задачи технико-экономической оптимизации уровня технологической оснащенности производства изделий в данной постановке заключается в следующем.

1. Рассчитывают технологическую трудоемкость изготовления изделия как функцию времени  $t$ :

$$T(t) = A[N(t)]^\gamma,$$

где  $T(t)$  – технологическая трудоемкость изготовления изделия, нормо-ч;

$t$  – время с начала серийного производства изделия, мес.;

$A$  – коэффициент, постоянный для данного изделия (он представляет собой значение трудоемкости первого изделия);

$N(t)$  – порядковый номер производимого изделия;

$\gamma$  – показатель степени, постоянный для данного изделия, определяемый статистическими методами.



2. Рассчитывают трудоемкость изготовления технологической оснастки  $T_{\text{ССТО}}$ , нормо-ч.

3. Рассчитывают (в динамике)  $K_{\text{то}}$ :

$$K_{\text{то}}(t) = Q(t) / N_{\text{o.d.}},$$

где  $Q(t)$  – планируемое число наименований специальной технологической оснастки;

$N_{\text{o.d.}}$  – число наименований оригинальных деталей в изделии.

4. Рассчитывают суммарную трудоемкость производства технологического оснащения и производства изделия, нормо-ч:

$$T_{\Sigma}(t) = T(t) + T_{\text{ССТО}}(t).$$

5. Определяют минимальную суммарную трудоемкость  $T_{\Sigma_{\min}}$ .

6. Определяют момент времени, соответствующий минимальной суммарной трудоемкости:

$$t_{\text{opt}} = t(T_{\Sigma_{\min}}).$$

7. Определяют значение  $K_{\text{то}}$  в момент времени  $t_{\text{opt}}$ . Полученное значение и будет оптимальным коэффициентом оснащенности  $K_{\text{TO}_{\text{opt}}}$ .

С учетом полученного  $K_{\text{TO}_{\text{opt}}}$  проводят мероприятия по обеспечению соответствия соотношения объемов подготовки производства и основного производства изделия оптимальному уровню.

Необходимо отметить, что для высокотехнологичных изделий характерен высокий уровень трудоемкости. Поэтому данный метод может быть использован в следующих случаях:

- при оценке реализуемости инновационных проектов и программ на начальной стадии планирования работ по технологической подготовке производства инновационных проектов и изделий, когда не требуется высокая точность расчетов и могут быть использованы укрупненные методы;
- при разработке оптимальных планов постановки и освоения производства инновационных изделий;
- при выборе стратегии инновационного развития предприятия в случае существенных структурных сдвигов плана производства.

Методология сквозного планирования ТПП (ССТО) в системе "КБ– завод" для высокотехнологичных производств еще слабо разработана. Целесообразность такого методического подхода обусловлена высокой эффективностью типизации, унификации и стандартизации (ТУС) производства как изделий, так и ССТО.

Данный подход применяют в производствах легковых и грузовых автомобилей, дорожной техники, подвижного состава железнодорожного транспорта и т.д., которые имеют серийный и крупносерийный характер производства. Для высокотехнологичной продукции более характерно единичное и мелкосерийное производство. В этих случаях решение задач ТУС требует большого объема аналитической и творческой работы, на которую при частой сменяемости производства у предприятий не хватает времени.

Типизация, унификация и стандартизация – важнейшие направления работ по созданию "безреживого производства". Наибольший эффект от их выполнения достигается в том случае, когда эту задачу начинают решать целенаправленно в системе "КБ– завод" на начальной (конструкторской) стадии процесса реализации инновационного проекта. Прежде, чем приступить к решению задачи, необходимо оценить ее эффективность. Для этого можно воспользоваться приближенной формулой:

$$\mathcal{E}_{\text{TUC}} = H_{c_{cp}} T_{\text{ССТО}} K_{\text{TUC}}, \quad (4)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{TUC}}$  – экономия затрат на ССТО в результате внедрения ТУС, руб.;

$H_{c_{cp}}$  – средняя себестоимость 1 нормо-ч по цехам ИП, руб.;

$T_{\text{ССТО}}$  – трудоемкость изготовления комплекта ССТО, нормо-ч;

$K_{\text{TUC}}$  – коэффициент, характеризующий снижение потребности в ССТО при внедрении ТУС (коэффициент унификации ССТО).

В зависимости от специфики проектов  $K_{\text{TUC}}$  может составлять 0,2...0,5 и более. Так, на АНО "Научно-технический инновационный центр "ТЕХКОМ" коэффициент унификации базовых несущих конструкций, в которые монтируют платы печатного монтажа, составляет порядка 0,8.

Эффект, рассчитанный по формуле (4), минимальный, так как в ней не учтена экономия затрат при внедрении ТУС на стадии разработки инновационных проектов.

Если ожидаемый эффект от работ по ТУС значительный, начинают выделение в разрабатывающем инновационном проекте унифицированных и стандартизованных узлов и деталей. При этом используют возможности и межпроектной унификации. В качестве примера на рис. 4 приведены последовательность основных направлений, области применения и методы осуществления конструк-

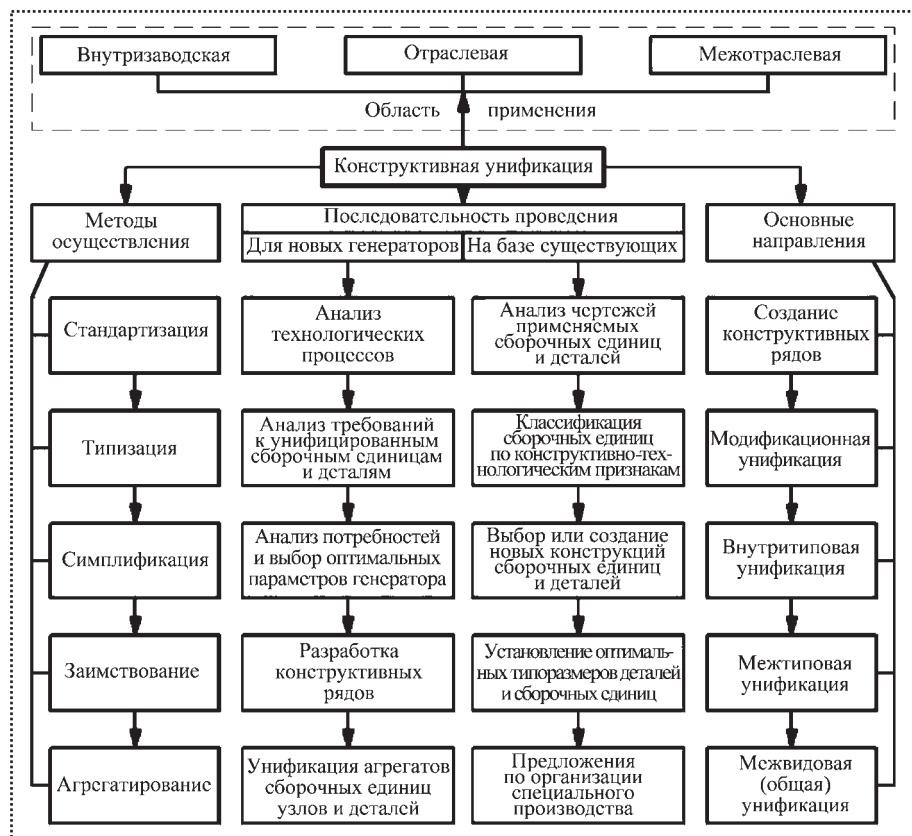


Рис. 4. Области применения и основные направления конструктивной унификации при производстве турбогенераторов

тивной унификации при производстве турбогенераторов [5].

После проведения работ по ТУС ССТО долю унифицированных ССТО выделяют из комплекта ССТО и определяют  $K_{\text{тус}}$ . Результатом этой работы является снижение  $K_{\text{то}}$ , которое приближенно можно определить по формуле:

$$K_{\text{то(тус)}} = K_{\text{то}} - K_{\text{тус}}, \quad (5)$$

где  $K_{\text{то(тус)}}$  –  $K_{\text{то}}$  после проведения работ по ТУС.

Формула (5) позволяет оценить уровень снижения оптимального  $K_{\text{то}}$  после проведения работ по ТУС.

Методология планирования унификации пока еще несовершенна. Технико-экономическое обоснование (ТЭО) планов унификации отсутствует. В целях упрощения задачи данной работе предложен агрегатный подход к решению задачи ТЭО ТУС, заключающийся в том, что по каждому агрегату нового изделия рассматривают основные направления конструктивной унификации на перспективу (несколько лет) и оценивают их эффективность по критерию снижения  $K_{\text{то}}$  (с учетом как внутрипро-

ектной, так и межпроектной унификации). Исходя из результатов конструктивной унификации, составляется план технологической унификации. Результатом конструктивно-технологической унификации является плановое снижение трудоемкости изготовления ССТО  $\Delta T_{\text{ссто тус}}$ . Плановое значение трудоемкости ССТО с учетом проведения работ по ТУС составит:

$$T_{\text{ссто тус}} = T_{\text{ссто}} - \Delta T_{\text{ссто тус}},$$

где  $T_{\text{ссто}}$  – значение трудоемкости ССТО без учета проведения работ по ТУС.

Разработанные методические подходы к постановке и приближенному решению задачи оптимизации затрат на ТПП на принципах "бережливого производства" можно применять на ранних стадиях разработки инновационных проектов и программ создания новых изделий при решении актуальных задач оптимизации  $K_{\text{то}}$  производства, совместного планирования основного производства и ССТО, а также сквозного планирования и ТЭО ТПП (ССТО) в системе "КБ– завод" с учетом типизации, унификации и стандартизации производства как изделий, так и ССТО.

#### Библиографический список

1. Зябрев Н.Б. Задача нелинейного программирования с убывающей функцией затрат и свойства ее решений // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1987. Т. 27. № 3. С. 357–367.
2. Тихонов А.Н., Егорушкин А.А., Зябрев Н.Б. Многофакторная задача оптимального планирования с убывающей функцией затрат // Доклады АН СССР. 1988. Т. 299. № 66. С. 1329–1332.
3. Зябрев Н.Б. Об одной задаче оптимального планирования производства сложных изделий // Экономика и математические методы. 1988. Т. XXIV. № 1. С. 94–102.
4. Технологичность конструкций изделий: справочник / Ю.Д. Амиров и др. Под общ. ред. Ю.Д. Амирова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990. 768 с.
5. Кац Г.Б., Ковалев А.П. Технико-экономический анализ и оптимизация конструкций машин. М.: Машиностроение, 1981. 213 с.

# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ

УДК 620.168.36:621.3.049.75

А.М. Медведев, д-р техн. наук (Московский авиационный институт –

Национальный исследовательский университет),

Г.В. Мылов (ПТК "Печатные платы", г. Рязань)

E-mail: medvedevam@bk.ru

## Надежность электрических межсоединений в электронных сборках авионики

Рассмотрено использование в качестве физической основы для межсоединений и размещения электронных компонентов многослойных печатных плат, выполняющих роль монтажной подложки. Слабым звеном в электрических цепях таких плат является металлизация сквозных отверстий, выполняющих роль трансверсальных межсоединений с проводниками внутренних слоев многослойных печатных плат. При групповой пайке электронных сборок такие платы подвергаются многократным тепловым воздействиям, последствием которых могут стать отказы, если не обеспечить определенные условия производства. В экстремальных условиях эксплуатации, характерных для авионики, проблема надежности электронных сборок стоит особенно остро.

Приведено решение вопросов технологического обеспечения надежности межсоединений в электронных сборках, получившее подтверждение в производстве аппаратуры ответственного назначения.

Modern electronic assembly as a physical basis for interconnections and placement of electronic components using multilayer boards, performing the role of circuit substrate. The weak link in the electrical circuits of the boards is the metallization of through-holes, performing the role of transversal interconnections with conductors inside layers of multilayer boards. When soldering electronic assemblies multilayers boards group subjected to multiple thermal impacts, the effect of which may be refused if you do not provide specific production conditions. In extreme operating conditions characteristic of avionics, electronic assemblies reliability problem is particularly acute. The technological reliability interconnection in electronic assemblies having received confirmation of the production equipment of responsible destination is discussed.

**Ключевые слова:** авионика, электронная сборка, многослойная печатная плата, надежность межсоединений, пластичность металлизации.

**Keywords:** avionics, electronic assembly, multilayer printed circuit board, interconnection reliability, ductility of metallization.

### Элементы структуры электрических межсоединений

Структуры межсоединений электронных сборок имеют большое разнообразие, но наиболее характерные сочетания элементов соединений содержат многослойные печатные платы (МПП), изготавли-

ваемые методом металлизации сквозных отверстий. Их можно разделить по конструктивным признакам, физико-механическим характеристикам и возможностям контроля на три основные группы (рис. 1):

- печатные проводники и проводящие плоскости, осуществляющие продольные соединения в слоях в направлениях  $X-Y$ ;
- металлизированные отверстия, выполняющие поперечные (трансверсальные) соединения печатных проводников в разных слоях в направлении  $Z$ ;
- внутренние соединения печатных проводников с металлизацией отверстий (соединения продольной и поперечной структур).

Сопоставления сечений элементов соединений показывают, что наиболее слабым по сечению звеном является печатный проводник. Площадь сечения металлизации отверстий и внутреннего соединения почти в 10 раз больше площади сечения печатного проводника. Такое сопоставление может создать впечатление, что наиболее вероятным источником отказов соединений должен являться печатный проводник.

Однако практика эксплуатации электронных устройств показывает, что подавляющая часть отказов приходится на металлизацию отверстий и

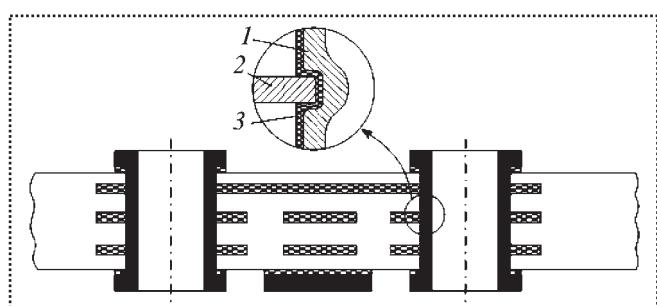


Рис. 1. Элементы межсоединений в многослойных структурах:  
1 – гальваническая металлизация отверстий; 2 – проводник внутреннего слоя; 3 – химическая металлизация



внутренние соединения. Это объясняется, в частности, наличием в процессе производства случайных источников ухудшения физико-механических характеристик химического и гальванического осаждений меди.

Напряжения, возникающие в гальванических осадках, создают предпосылки для образования кольцевых трещин и вызывают тем самым отказ внутренних соединений. Во время пайки печатного проводника кольцевые трещины являются препятствием на пути потока припоя и ухудшают теплопередачу вдоль стенок отверстий. Это нарушает температурные условия пайки, что может явиться причиной образования "холодных" спаев или не пропаев отверстий.

После монтажа температурная усадка припоя в отверстиях может привести к отрыву металлизации от стенок отверстий и торцов внутренних контактных площадок, если очистка отверстий после сверления или химически осажденная медь на стенках отверстий не отвечают определенным требованиям.

Наиболее опасными дефектами металлизации отверстий и внутренних соединений являются:

- недопустимо малая толщина металлизации;
- локальное отсутствие меди в отверстиях;
- кольцевые трещины в металлизации отверстий;
- отслоение металлизации от стенок отверстий;
- неполное контактирование металлизации с контактными площадками внутренних слоев;
- недоброкачественный по физико-механическим свойствам осадок меди;
- недопустимо большое смещение рисунка слоев относительно центров сверления отверстий под металлизацию;
- грубые наросты меди в отверстиях;
- неудовлетворительное состояние диэлектрика в зоне металлизации.

Следует иметь в виду, что не каждый из названных дефектов, взятый в отдельности, может вызвать нарушение работоспособности печатного проводника. Чаще к отказам приводит сочетание нескольких дефектов, суммарное действие которых постепенно приводит к ослаблению соединений и последующему отказу.

Большую часть перечисленных дефектов межслойных соединений выявляют методом неразрушающего и разрушающего контроля: условие со-

вмещения слоев должно обеспечиваться размером контактных площадок, конструктивный расчет которых должен выполняться с учетом производственных погрешностей. Обязателен в производстве МПП контроль позиционных точностей на всех операциях технологического процесса, ответственных за надежность совмещения элементов соединений. Повсеместно следует использовать металлографический анализ шлифов сечений отверстий печатных плат.

### Модель отказов соединений

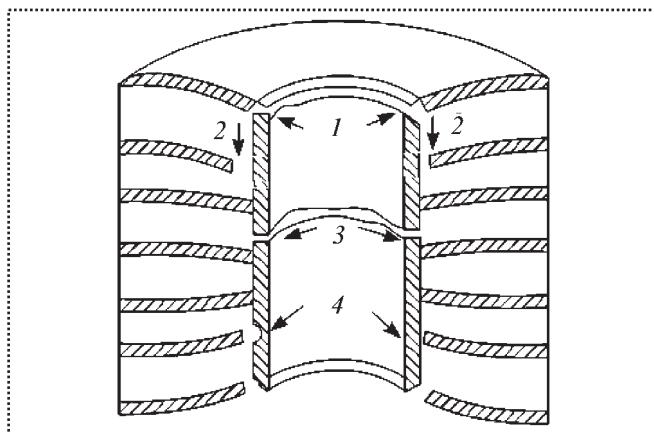
Печатная плата представляет собой сложную композиционную систему, содержащую разнородные материалы: медь, стекло, полимер (например, эпоксидную смолу). Они имеют значительно различающиеся термические коэффициенты линейного расширения  $\alpha$ .

Высокий коэффициент линейного расширения имеют полимеры, использующиеся в качестве связующего стеклопластика. Поэтому для улучшения размерной стабильности полимеры армируют волокном.

Однако этим приемом уменьшают  $\alpha$  только вдоль волокон стеклоткани, т.е. вдоль плоскости листов материала. В направлении, перпендикулярном плоскости армирования,  $\alpha$  остается сравнительно большим и основные материалы имеют следующие значения величины  $\alpha \cdot 10^6 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ :

Эпоксидная смола . . . . .	600
Эпоксидная смола, армированная стеклотканью:	
в плоскости листа . . . . .	20
в трансверсальном направлении:	
при $T < T_g$ . . . . .	100
при $T > T_g$ . . . . .	400
Медь . . . . .	17

Из-за разных значений коэффициента  $\alpha$  при температурах оплавления, пайки и перепайки, а также при существенных изменениях температур в процессе эксплуатации, в элементах соединений МПП возникают значительные термомеханические напряжения, приводящие к отказам соединений (рис. 2) в результате: кольцевого разрыва по внутреннему диаметру контактной площадки наружного слоя (тип 1), разрыва внутреннего соединения (тип 2) кольцевого разрыва металлизации



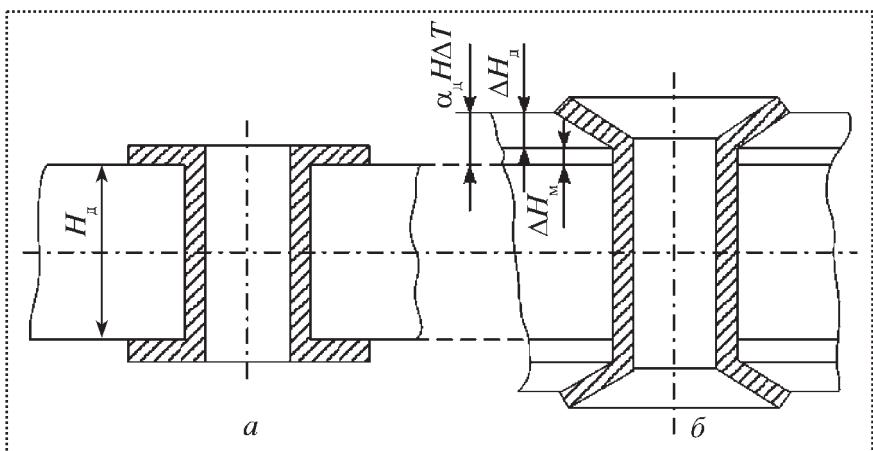
**Рис. 2. Типы отказов соединений:**

1 – кольцевой отрыв контактной площадки наружного слоя; 2 – разрыв внутреннего соединения; 3 – кольцевой разрыв металлизации отверстия; 4 – сдвиг металлизации относительно стенок отверстия с разрушением внутренних соединений

(тип 3), сдвига металлизации относительно стенок отверстия с разрушением внутренних соединений (тип 4).

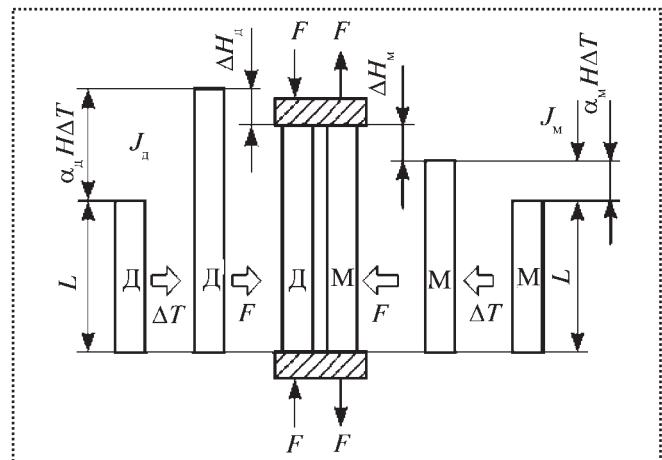
Термомеханические напряжения приводят к растяжению металлизации вдоль оси отверстия (осевые напряжения) и изгибу контактных площадок. Наибольшая концентрация напряжений на стыке с металлическим цилиндром отверстия (напряжение изгиба). Типичное искажение формы отверстия при нагреве показано на рис. 3.

Анализ осевых термомеханических напряжений, возникающих в металлизации отверстий, можно свести к задаче с двумя стержнями, скрепленными по торцам и имеющими в исходном состоянии длину  $L$  (рис. 4).



**Рис. 3. Искажение формы metallизированного отверстия в исходном состоянии (а) и в процессе нагрева (б):**

$H_d$  – толщина диэлектрического основания;  $\alpha_d H \Delta T$  – свободное термическое расширение материала диэлектрического основания;  $\Delta H_d$  – расширение материала диэлектрического основания, сдерживающего металлизацией отверстия;  $\Delta H_m$  – принудительное растягивание металлизации отверстия расширяющимся диэлектриком

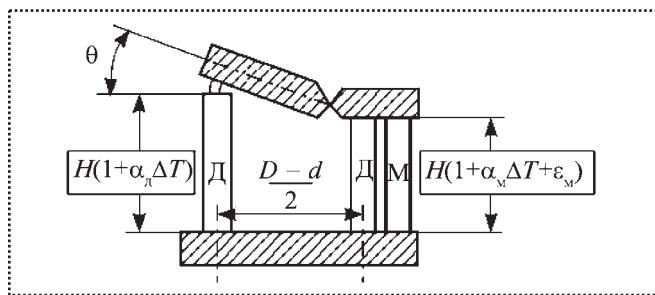


**Рис. 4. Линейная модель осевых термомеханических напряжений: слева – температурное расширение свободного диэлектрика, справа – температурное расширение свободной меди, посередине – расширение диэлектрика и медной металлизации сквозного отверстия:**

$L$  – толщина композиции диэлектрик-металлизации в исходном состоянии;  $J_d$  и  $J_m$  – жесткости материала диэлектрика и металлизации отверстия; Д и М – материалы диэлектрического основания и металлизации отверстия (медь);  $F$  – силы, действующие на материалы диэлектрика и металлизации при термических нагрузках;  $\alpha_m H \Delta T$  – свободное термическое расширение металлизации отверстия (остальные обозначения – см. на рис. 3)

Если бы стержни не были скреплены по торцам, при изменении температуры на величину  $\Delta T$  каждый из них свободно расширялся бы в соответствии со своим коэффициентом  $\alpha$ . Но поскольку они скреплены, удлинившийся в большей мере стержень диэлектрика должен быть сжат, а медный – растянут силой  $F$ :

$$F = \frac{(\alpha_d - \alpha_m) \Delta T J_m}{1 + J_m / J_d}.$$



**Рис. 5. Модель изламывающих напряжений в углу отверстия в результате нагрева платы:**

$D$  и  $d$  – диаметры контактной площадки и отверстия;  $\alpha_m \Delta T$  – коэффициент термического расширения металлизации;  $\varepsilon_m$  – принудительное расширение металлизации;  $\theta$  – угол излома контактной площадки

Можно показать, что возникающая под действием этой силы деформация меди

$$\varepsilon_m = \frac{(\alpha_d - \alpha_m) \Delta T}{1 + J_m / J_d}.$$

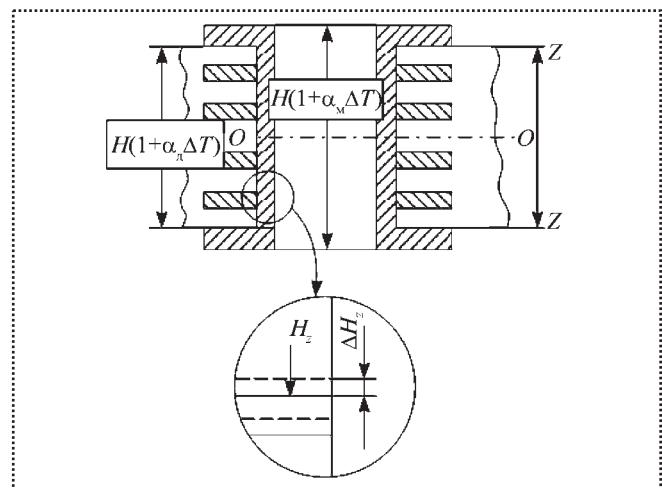
Если деформация  $\varepsilon_m$  вызвана напряжением, превышающим предел прочности медного осадка в отверстии, то наступает отказ 3-го типа – кольцевой разрыв металлизации.

Модель напряжений на стыке металлизации отверстия с внутренним кольцом контактной площадки можно интерпретировать добавлением к предыдущей модели врачающегося элемента, представляющего собой контактную площадку (рис. 5), края которой поднимаются, отрываясь от диэлектрика. Напряжение изгиба, концентрирующееся по внутреннему кольцу контактной площадки, тем больше, чем больше угол изгиба  $\theta$ :

$$\theta = \arctg \frac{2H_d [(\alpha_d - \alpha_m) \Delta T - \varepsilon_m]}{D - d}.$$

Если силы сцепления металлизации со стенками отверстия малы, напряжения сдвига могут привести к разрыву внутреннего соединения (отказ 4-го типа показан на рис. 6). Напряжение сдвига, очевидно, должно увеличиваться по мере увеличения расстояния стыка от нейтральной оси  $O-O$ . Расстояние сдвига  $\Delta H_z$ , если бы он произошел,

$$\Delta H_z = H_z (\alpha_d - \alpha_m) \Delta T.$$



**Рис. 6. Сдвиг металлизации относительно стенок отверстия и торца внутреннего слоя:**

$Z$  – симметричные направления термического расширения материала основания относительно середины основания;  $\Delta H_z$  – размер сдвига внутреннего слоя относительно металлизации стенок отверстия

Но если силы сцепления удерживают металлизацию на стыках отверстия, то развивающееся при повышении температуры напряжение сдвига

$$\sigma_{\text{сдв}} = G(\alpha_d - \alpha_m) \Delta T.$$

Значение разрушающего напряжения сдвига определяют усилием вырыва металлизации из отверстия, отнесенным к площади стенки. Вырыв осуществляют после впаивания в отверстие проволоки соответствующего диаметра. Чтобы определить усилие вырыва при температурах, превышающих температуру плавления оловянно-свинцовового припоя, провода в отверстие впаивают с помощью галиевых припоев, твердеющих при температурах около 50 °C. После затвердевания, которое длится около 1 ч, такое паяное соединение может работать при температурах до 800 °C.

Если диэлектрик не имеет армирующего наполнителя или наполнитель слабо армирует связующее, коэффициент  $\alpha$  вдоль плоскости листа материала может оказаться настолько значительным, что приведет к разрыву проводников внутренних соединений (отказ типа 2). Чтобы избежать таких отказов, в производстве МПП используют армированные стеклотканью полимеры либо материалы с низким значением  $\alpha$ , такие как полиимида, триазины и др.



### Пороговые температуры, °С, разрушения металлизации отверстий различного диаметра

Относительное удлинение, %	Отношение толщины МПП к диаметру отверстия				
	2:1	3:1	5:1	10:1	20:1
4	290	250	220	210	190
6	320	290	260	240	220
8	360	350	320	280	260

Загрязнения существенно влияют на прочностные характеристики медных гальванических осадков (рис. 7 на стр. 2 обложки). Загрязнения органическими примесями не только снижают пластичность меди, но и уменьшают ее прочность при температурах пайки.

Результаты непосредственных измерений деформации металлизированных отверстий при нагреве, охлаждении и диаграмма свободного расширения при повторных нагреве и охлаждении показаны на рис. 8 (стр. 2 обложки). Из графика нагрева видно, что разгрузка медного цилиндра начинается при температуре стеклования, а повторное нагружение наступает в диапазоне 140...160 °С. Охлаждение и повторные циклы нагрев—охлаждение при пайке характеризуются меньшими деформациями металлизированных отверстий. Гистерезис в температурной диаграмме свидетельствует об определенной доле пластической деформации меди.

Полученные экспериментально диаграммы изгиба контактных площадок в результате интенсивного расширения диэлектрика вдоль оси металлизированного отверстия показаны на рис. 9 (стр. 2 обложки). Можно заметить, что значительный изгиб контактные площадки получают только при температурах выше температуры стеклования, т.е. при температурах пайки. Очевидно, что угол изгиба будет тем больше, чем дальше контактная площадка от нейтральной линии, находящейся по центру толщины платы, и чем больше толщина МПП.

На вероятность разрушения влияет отношение глубины отверстия к его диаметру. Тонкие отверстия больше подвержены деформации, они ближе к разрыву при температурных нагрузках, если не обеспечить их хорошую пластичность. Пороговые

значения температур разрушения межсоединений в МПП приведены в таблице.

### Управление реологическими свойствами медного гальванопокрытия

Медь имеет большую пластичность с удлинением до 20 %, высокую механическую прочность и среднюю твердость  $HV_{0,02} \approx 1000$  мн/м<sup>2</sup> 1 ГПа. Для того, чтобы достичь таких свойств, для металлизации отверстий необходимы мелкокристаллическая структура, хорошее макро- и микросглаживание слоя.

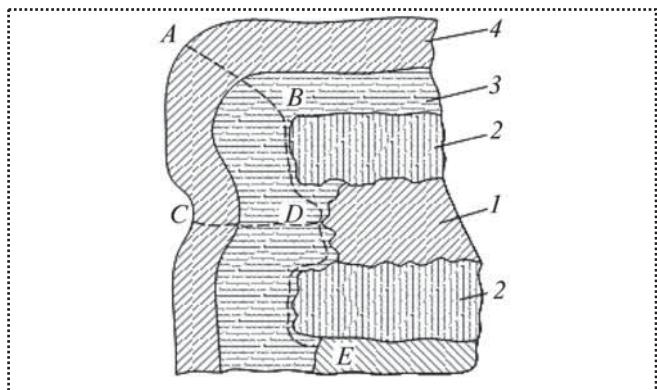
На структуру и механические свойства осажденной меди оказывают влияние посторонние органические и неорганические вещества и газы, которые, внедряясь в межкристаллитные пространства, снижают сцепление слоя по границам зерен и повышают хрупкость.

Постоянный контакт электролита с поверхностями полимеров служит причиной его загрязнений органическими примесями. Основные источники — выщелачивание органического резиста и облицовки ванн, попадание масла из воздушной магистрали при барботаже, разложившиеся органические присадки и добавки. Обработка активированным углем и фильтрация устраняют эти загрязнения.

Очень важно поддерживать постоянным состав электролита: например, уменьшение содержания ионов металла и (или) концентрации кислоты уменьшает электропроводность, что вызывает увеличение напряжения на электродах, перегрев ванны, многочисленные проколы резиста, подгар покрытия, хрупкость гальванического покрытия.

В хорошо очищенных сернокислых электролидах можно создавать гальванические покрытия с пластичностью 22...26 %. Борфтористоводородные электролиты в силу особых свойств их компонентов быстро загрязняются органическими примесями, выщелачивая резисты и футеровку ванны. Поэтому, несмотря на известные преимущества перед сернокислыми электролитами по производительности осаждения в технологии МПП, они редко используются из-за необходимости частой остановки процесса для чистки ванн.

Линии трещин, возникающих при пайке из-за недостаточной пластичности меди, показаны на рис. 10.



**Рис. 10. Модель образования трещин при недостаточной пластичности меди:**

1 – диэлектрическое основание (межслойная изоляция); 2 – медная фольга (контактная площадка); 3 – медное гальваническое покрытие (металлизация отверстия); 4 – гальваническое покрытие оловом-свинцом (металлорезист); *AB* – диагональная трещина, возникающая в момент контакта припоя с наружной контактной площадкой; *CD* – по-перечная трещина, возникающая при подъеме горячего припоя в отверстие; *ABD* – продольная трещина, проходящая по слабому слою химически осажденной меди, соединяющая две трещины – *AB* и *CD*, и способная вызвать дальнейший отрыв покрытия в отверстии по линии *DE*

Для обеспечения высокой надежности сквозных металлизированных отверстий достаточно иметь минимальную разрывную прочность 350 МПа и минимальную пластичность 6 %. Разнообразие методов измерения пластичности тонких пленок приводят к широкому диапазону результатов. В связи с этим исследователи идут на всевозможные экспериментальные усложнения, чтобы получать одно-

значные результаты с высокой степенью повторяемости.

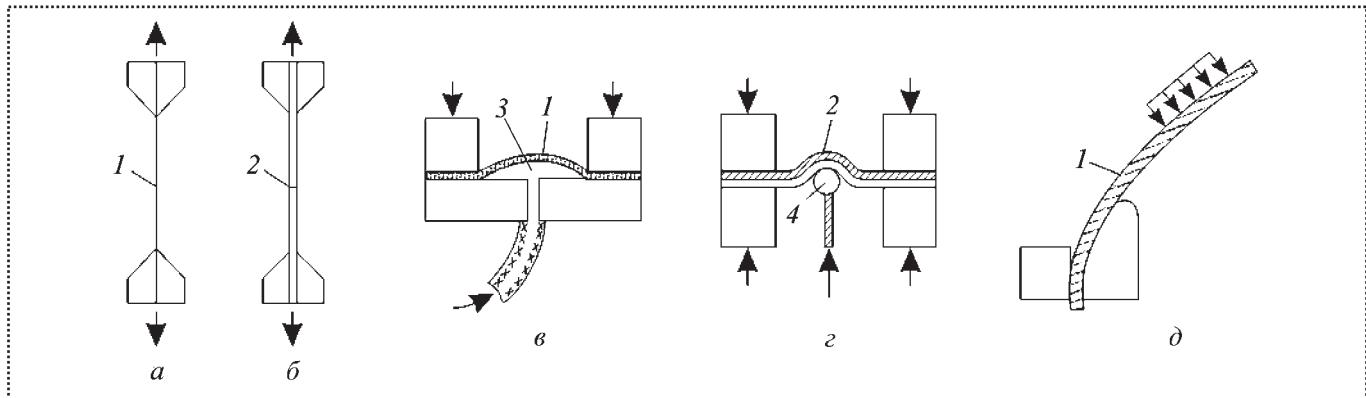
Варианты таких испытаний, нашедших применение в практике экспериментов, показаны на рис. 11. Однако в производственной практике целесообразно испытывать отделенную от подложки пленку гальванического покрытия, используя для этого обычную разрывную машину (рис. 11, *a*).

Из существующих способов регистрации пластической деформации, показанных на рис. 12, наиболее удобным признан метод, по которому на образцах заранее нанесенными рисками обозначают базу *L*, в процессе растяжения следят за появлением на образце сетки трещин (предвестников разрыва) и при их появлении сбрасывают давление (рис. 12, *a*).

Геометрия образца и режимы подготовки и испытаний пленки оказывают значительное влияние на результаты измерений пластичности. Наиболее стабильные результаты измерения пластичности получаются при скорости растяжения 50...100 мм/мин. Термообработка пленок перед испытаниями ускоряет процессы рекристаллизации меди и тем самым, казалось бы, способствует получению стабильных результатов. Но при этом достоверность результатов вызывает сомнения.

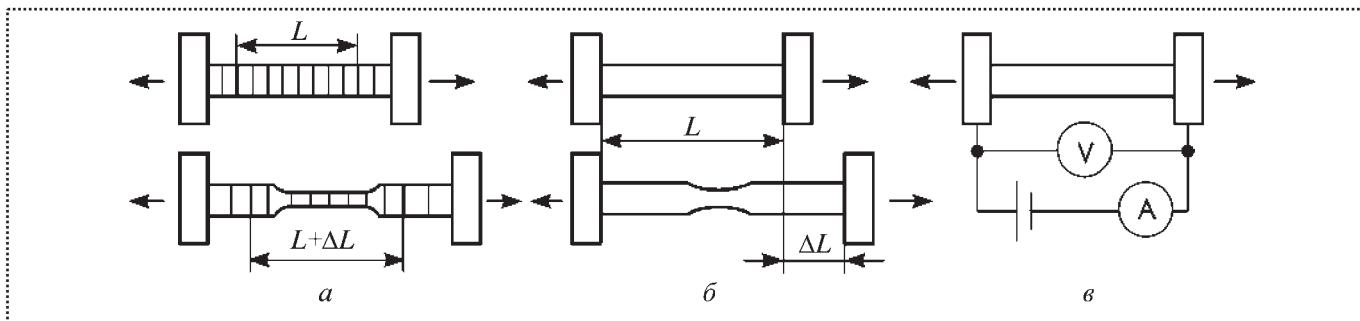
Анализ зависимости результатов измерения пластичности пленок от геометрии образца и режимов испытаний позволяет рекомендовать следующие условия получения устойчивых результатов:

- ширина базы –  $(12 \pm 0,05)$  мм;
- длина базы –  $(50 \pm 0,25)$  мм;



**Рис. 11. Способы нагружения пленок гальванического покрытия при контроле пластичности:**

*a* – растяжение отделенной от подложки пленки гальванического осадка; *b* – растяжение пленки гальванического покрытия на подложке; *c* – растяжение вспучиванием; *d* – растяжение продавливанием шарика; *e* – испытание на перегибы; 1 – пленка гальванического покрытия (реплика); 2 – пленка гальванического покрытия на подложке; 3 – вода под давлением; 4 – стальной шарик



**Рис. 12. Способы измерения пластичности при растяжении пленок:**

*а – по изменению расстояния между заранее нанесенными рисками; б – по изменению расстояния между захватами разрывной машины; в – по изменению сопротивления растягивающейся пленки*

- толщина пленки –  $(50 \pm 5)$  мкм (идентично осаждению на поверхности);
- скорость растяжения – 50...80 мм/мин;
- режимы термообработки – 2 ч при 120 °C на воздухе или 5 мин при 230 °C в масле.

Пластина для изготовления тестовых образцов пленок показана на рис. 13. В качестве материала используют коррозионно-стойкую сталь, поверхность которой сначала полируют, затем делают матовой, чтобы получить необходимую плотность центров кристаллизации на первой стадии гальванического наращивания (для получения мелкокристаллического осадка). В то же время необходимо обеспечить отделение пленки после завершения процесса наращивания. Очень важно при наращивании пленок тестовых образцов полностью воспроизвести режимы осаждения, принятые для рабочих плат. Четкое соблюдение указанных реко-

мендаций позволяет поддерживать ванны гальванического меднения в состоянии, обеспечивающем качественную металлизацию отверстий.

Особенно чувствительна металлизация отверстий к воздействию высоких температур пайки бесцинцовыми припоями (рис. 14 на стр. 2 обложки).

## Заключение

*Надежность печатных плат во многом определяется пластичностью металлизации отверстий. Поэтому управление пластичностью медных осадков – важный фактор технологического обеспечения надежности межсоединений. Все затраты, направленные на поддержание процессов металлизации, оправдывают себя не только за счет снижения брака на конечных стадиях производства, но и создают гарантии долговременной работоспособности электронных изделий.*

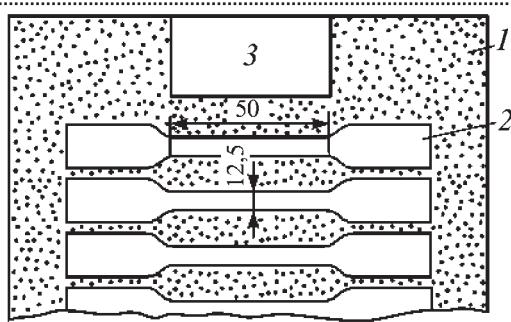
## Библиографический список

1. Medvedev A. Optimierte Leiterplatten für die blifreie Lottechnologie – physikalische Grundlagen der Verbindungszuverlässigkeit (Физические основы обеспечения надежности межсоединений). Мат. Междунар. конф. "Electronische Baugruppen und Leiterplatten – EBL 2008". Schwabenlandhalle Fellbach. 13–14.02.2008.

2. Medvedev A. Relation of reliability & precision in electronic assembly (Соотношение надежности и точности в электронных сборках). Viertes Seminar für aktuelle Trends in der aufbau- und Verbindungstechnologie. 17–18 Juni 2009. Dresden.

3. Медведев А.М. Общие технические требования к паяным сборкам поверхностного монтажа и связанным с ними технологиям сборки // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. 2009. № 5. С. 27–35.

4. Медведев А.М. Сборка и монтаж печатных узлов. М.: Техносфера, 2007. 256 с.



**Рис. 13. Пластина для изготовления тестовых образцов (реплик) для измерения пластичности гальванических покрытий:**  
*1 – фоторезист; 2 – оголенная металлическая поверхность пластины для осаждения пленки гальванического покрытия; 3 – металлическая поверхность пластины для присоединения к катодной штанге*

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА. ИСПЫТАНИЯ. КОНТРОЛЬ

УДК 658.562.012 (075)

**В.Ф. Безъязычный**, д-р техн. наук (Рыбинский государственный авиационный технологический университет им. П. А. Соловьева),

**В.Ю. Замятин**, канд. техн. наук (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург),

**А.Ю. Замятин**, д-р техн. наук (Синергия Инвест, Болгария, г. Несебр)

E-mail: technology@rgata.ru

## Проект мегасистемы качества и конкурентоспособности промышленного предприятия. Понимание и структурные критерии базовых категорий

*Рассмотрен подход к пониманию и тематической структурной характеристике категорий "качество" и "конкурентоспособность" предприятий и их продукции. Излагаемый подход используется при разработке проекта, направленного на оптимизационное построение и обеспечение функционирования открытой глобально интегрированной мегасистемы качества и конкурентоспособности промышленного предприятия.*

*An approach to the understanding and thematic structural characteristic of "quality" and "competitiveness" categories of enterprises and their products is considered. The described approach is used in project development for optimization composition and maintenance of open globally integrated megasystem of quality and competitiveness for industrial enterprises.*

**Ключевые слова:** промышленное предприятие, продукция, мегасистема качества и конкурентоспособности, понимание и структурные критерии качества и конкурентоспособности.

**Keywords:** industrial enterprises, products, megasystem of quality and competitiveness, understanding and structural criteria of quality and competitiveness.

Одной из главных целей любого промышленного предприятия является завоевание, удержание и расширение доли соответствующего потребительского рынка, достаточной для обеспечения рентабельности вложенных инвестиций и получения доходов и прибыли, при которых достигаются устойчивое развитие предприятия, его поставщиков и других заинтересованных сторон.

В современных социально-экономических, информационных, коммуникационных и хозяйствен-

но-производственных условиях такая прибыль может быть получена только при должном уровне конкурентоспособности и качества как производства, так и его результатов.

Ряд специалистов указывает, что опора на систему менеджмента качества (СМК), построенную только в соответствии с требованиями стандарта ISO 9001 (ГОСТ Р ИСО 9001), нередко не обеспечивает нужного качества и, тем более, конкурентоспособности продукции, не приводит к ожидаемым положительным эффектам. А некоторые эксперты даже считают, что внедрение этого стандарта приводит к "плачевным результатам", к "опасному заболеванию экономики" [1, 2]. В связи с этим в литературе и на практике все большее внимание уделяют интегрированным системам качества.

С точки зрения авторов, на промышленных предприятиях необходимы оптимизационное формирование и функционирование открытых общекорпоративных, глобально-интегрированных, обучающих и обучающихся, интерактивных, процессно- и проектно-ориентированных, социально-направленных, инновационных, синергетических мегасистем качества и конкурентоспособности ( $MSS_{KK}$ ), структура которых соответствует текущим и прогнозируемым реалиям, вызовам и тенденциям мирового общественного развития.

Любая область деятельности не может выполнять свои функции без собственной терминологии. В связи с тем, что ключевыми терминами мегасистемы  $MSS_{KK}$  являются "качество" и "конкурентоспособность", в первую очередь необходимо определиться с четким, недвусмысленным пониманием именно этих категорий. Такого понимания в настоящее время нет. Более того, при раздельном



рассмотрении существующих определений качества предприятий и продукции острота неопределенности границ распространения его характеристик явно не обнаруживается. Лишь совместное обращение к этим категориям наглядно свидетельствует о необходимости разработки таких формулировок, которые позволили бы четко обозначить пространства качества КЧ<sub>об</sub> и конкурентоспособности КСП<sub>об</sub> объекта, имея в виду, что конкурентоспособность – это целое, а качество – его часть [3]:

$$\text{КСП}_{\text{об}} = \text{КЧ}_{\text{об}} + \text{РП}_{\text{об}}, \quad (1)$$

где РП<sub>об</sub> – рыночные показатели продукции – цена (стоимость), скорость выполнения заказа, ресурсоемкость и трудоемкость эксплуатации (использования), совершенство послепродажного обслуживания, ускорение NPI (New Product Introduction – освоение новой продукции), имидж, потребительская стоимость и др.

Иллюстрацией справедливости подобного вывода являются приведенные далее примеры [4–11 и др.].

Вальтер (Уолтер) Эндрю Шухарт (1891–1967) видел в качестве субстанцию, включающую два аспекта:

- 1) объективные физические характеристики (в частности, прочность, надежность, габариты, массу);
- 2) субъективную сторону (оценку, насколько вещь "хороша").

Уильям Эдвардс Деминг исходил из того, что качество – это "соответствие запросам рынка" и считал, что "качество можно определить только пользуясь системой оценок того человека, который пользуется товаром, кто судит о качестве".

Джозеф Мозес Джуран, представляя качество в виде "соответствия назначению", отмечал, что "качество – это субъективное понятие, и каждый определяет его по-своему". Качество изделия или услуги он оценивал как пригодность для использования и включал в это понятие следующие элементы:

- 1) восприятие потребителями проекта (дизайна) товара;
- 2) степень, с которой тот или иной товар соответствует проекту (спецификациям);
- 3) доступность товара для приобретения, его надежность и ремонтопригодность, доступный сервис.

Арманд Вэллин Фейгенбаум рассматривает качество как "общую совокупность технических, технологических и эксплуатационных характеристик изделия или услуги, посредством которых изделие или услуга будут отвечать требованиям потребителя при эксплуатации". Он подчеркивает, что:

- 1) представление о качестве постоянно меняется;
- 2) на разных этапах развития продукции происходит изменение того, что потребитель признает для себя качественным.

А.В. Фейгенбауму принадлежит, в частности, следующая характеристика качества:

- 1) качество – процесс, охватывающий всю компанию;
- 2) качество – это то, что под ним подразумевает потребитель;
- 3) качество – самый экономичный, наименее капиталоемкий способ повышения производительности;
- 4) качество требует постоянного улучшения.

Филип Кросби исходил из того, что:

- 1) "качество означает соответствие требованиям, а не элегантность", чувство отличного;
- 2) "качество не только бесплатно, это еще и самый мощный рычаг, позволяющий любому человеку честно получать прибыль".

Каору Исикава, как и У.Э. Деминг, не дает прямого определения качества. Он трактует эту категорию как:

- 1) "свойство, реально удовлетворяющее потребителей", включая управление и послепродажное обслуживание;

- 2) качество не только продукции, но и послепродажного обслуживания, управления, компаний и каждого ее работника.

В словаре Европейского общества качества (ЕОК) качество объекта определяется как степень, с которой совокупность собственных характеристик этого объекта выполняет установленные требования. Применительно к деятельности (производству) предприятия указывается, что в этом случае качество – комплексная характеристика, отражающая все стороны производства, значит, необходимо различать предметное и функциональное качество.

В Академии проблем качества Российской Федерации сформировалось емкое "концептуальное видение качества как одной из фундаментальных категорий, определяющих образ жизни, социаль-



ную и экономическую основу для успешного развития человека и общества".

Здесь же подчеркивается, что качество – политическая, нравственная и экономическая категория, комплексное понятие, характеризующее эффективность всех сторон деятельности (разработки стратегии, организации производства, маркетинга и др.).

Александр Владимирович Гличев, являющийся одним из создателей отечественной теории управления качеством, отмечает существующее разнообразие и трудности в ответах на вопрос, что такое качество, и считает, что это связано:

1) с "чрезвычайной сложностью категории качества, а также бесконечным разнообразием ... носителей качества";

2) с различиями "в индивидуальном восприятии продукции";

3) с полисемией и синонимией языка.

А.В. Гличев предлагает читателю в каждом конкретном случае, в каждой конкретной ситуации, при решении каждой проблемы "самому проникать в суть природы качества продукции, самому описать увиденные черты качества, находя нужные слова".

Виктор Михайлович Мишин характеризует качество как емкую и универсальную категорию, имеющую множество особенностей и различных аспектов (философский, социальный, технический, экономический, правовой). Применительно к качеству продукции и услуг он считает предпочтительной формулировку: "качество – определенная совокупность свойств продукции и услуги, потенциально или реально способных в той или иной мере удовлетворять требуемым потребностям при их использовании по назначению, включая утилизацию или уничтожение".

В ГОСТ Р ИСО 9000 качество (процессов и продукции) определяется как степень соответствия совокупности присущих характеристик требованиям.

Александр Владимирович Гугелёв и Виталий Юрьевич Огвоздин считают, что в определениях категории "качество", приведенных в стандарте ГОСТ Р ИСО 9000 и словаре ЕОК, дается трактовка полезности или ценности. В связи с этим они считают такие определения неприемлемыми. По В.Ю. Огвоздину, "качество – это совокупность объективно присущих продукции свойств и характеристик, уровень или вариант которых формиру-

ется поставщиками при создании продукции с целью удовлетворения существующих потребностей".

Под конкурентоспособностью в целом понимается, к примеру [12–14 и др.]:

1) способность вести конкурентную борьбу на рынке;

2) совокупность технико-экономических характеристик объекта, выгодно отличающихся от подобных характеристик аналогичных объектов по степени удовлетворения потребительских интересов покупателя;

3) совокупность характеристик товара, позволяющая ему в условиях свободной и честной конкуренции быть проданным на национальном или мировом рынке по цене более привлекательной, чем у иностранных или национальных конкурентов;

4) свойство объекта (субъекта), характеризующееся степенью реального или потенциального удовлетворения им конкретной потребности по сравнению с аналогичными объектами (субъектами), представленными на данном рынке в данное время;

5) способность объекта (субъекта) выдерживать конкуренцию по сравнению с аналогичными объектами (субъектами) на данном рынке.

Существующее на сегодня многообразие формулировок, определяющих качество и конкурентоспособность, свидетельствует об отсутствии единого мнения относительно этих категорий. Более того, некоторыми известными специалистами (Э.У. Демингом, А.В. Гличевым, К. Исикавой и др.) рекомендуется определять эти категории в каждом конкретном случае самостоятельно.

В настоящем проекте эту рекомендацию используем совместно с базовыми положениями терминоведения, согласно которым определение термина в прикладном значении:

1) должно как можно более точно и полно описывать рассматриваемое понятие;

2) не должно противоречить фундаментальному определению;

3) должно обладать целостностью.

Учитываем также следующее:

- собственно качество объектов напрямую не связано с рыночной экономикой и характеризуется объективными показателями (критериями), которые могут быть измерены изготовителем или его представителями, и в основном оценены количе-



ственно независимо от рынка, от мнения потребителя;

• в том случае, когда в оценку включается потребитель, речь должна идти не о качестве, а о потребительской ценности и конкурентоспособности объекта (субъекта);

• подходы к качеству и конкурентоспособности должны быть связаны с социально-экономическими реалиями, вызовами и тенденциями, с местом и временем, иметь пространственно-временной масштаб.

На основе изложенного рассматриваемые категории в масштабе мегасистемы  $MSS_{KK}$  трактуют следующим образом:

• **качество предприятия** – это фактическое состояние, определяемое открытой, управляемой системой информативных, общественно значимых характеристик:

а) отражающих всестороннее совершенство:

1) человеческого капитала, его развития и вовлечения;

2) корпоративной культуры, социокультурного и жизненно-ситуационного обеспечения персонала и его корпоративного поведения;

3) постановки и осуществления образования, обучения и иных аспектов «спирали» профессиональных явных, скрытых, теоретических и прикладных знаний;

4) организационно-управленческого, научно-технического, информационно-коммуникационного, аналитического, материального и энергетического ресурсного обеспечения в области качества;

5) реализуемых бизнес-процессов и бизнес-проектов;

6) системы выделения, учета и оптимизации затрат на достижение качества продукции;

7) выходов процессов и проектов производства в виде изделий и услуг;

б) устанавливаемых на основе требований потребителей, измеряемых и ощущаемых с контролируемым риском (с заданной доверительной вероятностью) собственными силами предприятия или сторонними организациями по заказу предприятия;

• **конкурентоспособность продукции предприятия** – суммарная объективно-субъективная оценка предприятия потребителями и другими заинтересованными сторонами с помощью открытой, управляемой, измеряемой и ощущаемой с ограниченно контролируемым риском системы информативных индивидуальных потребительских и общественно значимых эксклюзивных ценностей, определяющих степень и уровень реального и потенциально-го удовлетворения конкретных нужд, запросов, устремлений и требований потребителей и других заинтересованных сторон по сравнению с аналогичной продукцией, представленной на данном рынке в данное время.

лируемым риском системы информативных, общественно значимых показателей, определяющих степень реального и потенциального социально-экономического превосходства над другими предприятиями, продвигающими и (или) продвинувшими однотипные (однородные) изделия (услуги) на данный рынок в данное время;

• **качество продукции предприятия** – фактическое состояние этой продукции, определяемое открытой, управляемой системой в основном объективных присущих (собственных) информативных, общественно значимых характеристиках (показателей):

а) являющихся результатом перевода реальных и потенциальных запросов и ожиданий внутренних и внешних потребителей на инженерный язык (в конкретные требования);

б) устанавливаемых, измеряемых и ощущаемых с контролируемым риском (заданной доверительной вероятностью) на стадиях создания и производства продукции;

• **конкурентоспособность продукции предприятия** – суммарная субъективно-объективная оценка продукции с помощью открытой, управляемой, измеряемой и ощущаемой с ограниченно контролируемым риском системы информативных индивидуальных потребительских и общественно значимых эксклюзивных ценностей, определяющих степень и уровень реального и потенциального удовлетворения конкретных нужд, запросов, устремлений и требований потребителей и других заинтересованных сторон по сравнению с аналогичной продукцией, представленной на данном рынке в данное время.

В соответствии с принятыми определениями структурно-факторное пространство качества продукции, например неспецифицированных и специфицированных машиностроительных изделий ( $KCh_{MI}$ ), может быть в обобщенном, лингвистическом виде представлено "открытой" функцией параметрического вида (здесь и далее УК – уровень качества):

$$KCh_{MI} = f_{\Sigma}(UK_{ПЭ}, UK_{ПП}, UK_{ВЗФ}, UK_{над}, UK_{тоб}, UK_{без}, UK_{кп}, UK_{uti}, UK_{...}), \quad (2)$$

где  $UK_{ПЭ}$  – УК, зависящий от совершенства подготовительных этапов и процессов производства изделий;



$УК_{пп}$  – УК, вытекающий из совершенства процессов собственно производства изделий;

$УК_{взф}$  – УК, отражающий степень зависимости выполнения изделиями заданных функций от производственных условий и среды;

$УК_{над}$  – УК, отражающий уровень надежности (безотказности, долговечности, ремонтопригодности, сохраняемости) изделий;

$УК_{тov}$  – УК, вытекающий из товарно-рыночных свойств изделий;

$УК_{без}$  – УК как комплексная характеристика безопасности изделий при изготовлении, эксплуатации, утилизации;

$УК_{кп}$  – УК, отражающий уровень контролепригодности и диагностирования изделий;

$УК_{ути}$  – УК, свидетельствующий об уровне приспособленности к утилизации изделий;

$УК_{...}$  – здесь и далее дополнительные оценочные уровни качества, необходимость в которых возникает в процессе работы.

В свою очередь, варианты структурно-факторного представления показателей, входящих в формулу (2), приведены далее в виде "открытых" индивидуальных функций (3)–(9).

$$\begin{aligned} УК_{пЭ} = f_{пЭ} (УК_{пЭ(ми)}, УК_{пЭ(тз)}, \\ УК_{пЭ(ФФА)}, УК_{пЭ(КР)}, УК_{пЭ(НТП)}, \\ УК_{пЭ(ИТ)}, УК_{пЭ(КВ)}, УК_{пЭ(...)}), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $УК_{пЭ(ми)}$  – УК изделий, связанный с объективностью, полнотой и достоверностью маркетинговых исследований;

$УК_{пЭ(тз)}$  – УК, исходящий из технического задания (ТЗ);

$УК_{пЭ(ФФА)}$  – УК функционально-физического анализа изделий;

$УК_{пЭ(КР)}$  – УК принятых критериев оценки текущего состояния изделий и критериев их развития;

$УК_{пЭ(НТП)}$  – УК, зависящий от степени совершенства научной, конструкторской, технологической подготовки производства;

$УК_{пЭ(ИТ)}$  – УК, следующий из уровня инженерного творчества и конструкторской документации (КД);

$УК_{пЭ(КВ)}$  – УК, зависящий от результативности и эффективности взаимодействия конструкторов и

технологов и совершенства технологической документации (ТД).

$$\begin{aligned} УК_{пп} = f_{пп} (УК_{пп(тс)}, УК_{пп(им)}, \\ УК_{пп(РЗП)}, УК_{пп(ДФП)}, УК_{пп(РУТ)}, \\ УК_{пп(ПСП)}, УК_{пп(мон)}, УК_{пп(...)}), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $УК_{пп(тс)}$  – УК изделий, связанный с уровнем совершенства технологической системы, технологических процессов, оборудования и оснастки;

$УК_{пп(им)}$  – УК изделий, зависящий от уровня делового совершенства поставщика, от своевременности поставок и характеристик исходных материалов и комплектующих изделий;

$УК_{пп(РЗП)}$  – УК, вытекающий из видов, уровня, продолжительности и режимов раскройно-заготовительного производства;

$УК_{пп(ДФП)}$  – УК, связанный с видами, уровнем, продолжительностью и режимами деталеформообразующего производства;

$УК_{пп(РУТ)}$  – УК изделий, зависящий от видов, уровня, продолжительности и режимов реализации регулирующе-упрочняющих технологий;

$УК_{пп(ПСП)}$  – УК, исходящий из совершенства методов и средств управления процессами собственно производства, своевременности и адекватности научного, конструкторского, технологического (научно-технического) сопровождения производства;

$УК_{пп(мон)}$  – УК изделий, связанный с надежностью, объективностью, достоверностью и прослеживаемостью результатов мониторинга средств технологического оснащения, технологических процессов и операций, промежуточных и конечных изделий.

$$\begin{aligned} УК_{над} = f_{над} (УК_{над(БР)}, УК_{над(дол)}, УК_{над(МВП)}, \\ УК_{над(мех)}, УК_{над(физ)}, УК_{над(хим)}, \\ УК_{над(тех)}, УК_{над(рем)}, УК_{над(сох)}, УК_{над(...)}), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $УК_{над(БР)}$  – УК, в обобщенном виде отражающий уровень безопасности и рисков при использовании изделий;

$УК_{над(дол)}$  – УК, характеризующий уровень долговечности;

$УК_{над(МВП)}$  – УК, связанный с уровнем материаловедческих составляющих параметров материалов изделий при действующих на изделие внешних



факторах (температура, влажности среды, степени деформации и пр.);

$УК_{над(мех)}$  – УК, связанный с механическими характеристиками материалов изделий;

$УК_{над(физ)}$  – УК, исходящий из физических свойств материалов, использованных при изготовлении изделий;

$УК_{над(хим)}$  – УК, связанный с химическими свойствами конструкционных материалов;

$УК_{над(тех)}$  – УК, отражающий влияние технологичности материалов и конструкции изделий;

$УК_{над(рем)}$  – УК, исходящий из ремонтопригодности изделий;

$УК_{над(сох)}$  – УК, характеризующий сохраняемость изделий.

$$УК_{тоб} = f_{тоб} (УК_{тоб(ТР)}, УК_{тоб(ПП)}, УК_{тоб(ПЧ)}, \dots), \quad (6)$$

$$УК_{тоб(эст)}, УК_{тоб(эрп)}, УК_{тоб(СТУ)}, УК_{тоб(\dots)},$$

где  $УК_{тоб(ТР)}$  – УК, отражающий уровень транспортабельности изделий;

$УК_{тоб(ПП)}$  – УК, определяющий уровень патентно-правовых показателей и новизны изделий;

$УК_{тоб(ПЧ)}$  – УК, характеризующий патентную чистоту изделий;

$УК_{тоб(эст)}$  – УК, составленный из показателей эстетичности изделий;

$УК_{тоб(эрп)}$  – УК, характеризующий эргономичность изделий и уровень ее воздействия на оператора;

$УК_{тоб(СТУ)}$  – УК, отражающий уровень стандартизации и унификации при создании изделий.

$$УК_{без} = f_{без} (УК_{без(и)}, УК_{без(б)}, УК_{без(эк)},$$

$$УК_{без(в)}, УК_{без(мех)}, УК_{без(п)},$$

$$УК_{без(пр)}, УК_{без(т)}, УК_{без(х)},$$

$$УК_{без(эл)}, УК_{без(рад)},$$

$$УК_{без(ЭМС)}, УК_{без(инф)}, УК_{без(АТ)},$$

$$УК_{без(СБ)}, УК_{без(сох)}, УК_{без(\dots)}), \quad (7)$$

где  $УК_{без(и)}$  – УК в виде безопасности, достигаемой при действии различных излучений;

$УК_{без(б)}$  – УК, характеризующий биологическую безопасность изделия;

$УК_{без(эк)}$  – УК в виде экологической безопасности;

$УК_{без(в)}$  – УК как характеристика взрывобезопасности;

$УК_{без(мех)}$  – УК, определяющий степень механической безопасности;

$УК_{без(п)}$  – УК, отражающий пожарную безопасность;

$УК_{без(пр)}$  – УК, характеризующий промышленную безопасность;

$УК_{без(т)}$  – УК, отражающий уровень термической безопасности;

$УК_{без(х)}$  – УК, отражающий уровень химической безопасности;

$УК_{без(эл)}$  – УК, определяющий электрическую безопасность;

$УК_{без(рад)}$  – УК, исходящий из степени радиационной безопасности;

$УК_{без(ЭМС)}$  – УК, характеризующий электромагнитную совместимость;

$УК_{без(инф)}$  – УК, отражающий информационную безопасность;

$УК_{без(АТ)}$  – УК, исходящий из антитеррористической безопасности;

$УК_{без(СБ)}$  – УК, характеризующий сейсмическую безопасность;

$УК_{без(сох)}$  – УК, отражающий уровень сохранения качества при отклонении условий функционирования от номинала.

$$УК_{кп} = f_{кп} (КК, УК_{кп(ДКТ)}, УК_{кп(инф)}, \dots), \quad (8)$$

$$УК_{кп(дп)}, УК_{кп(\dots)}),$$

где КК – число, вид и сложность определения контролируемых критериев (параметров);

$УК_{кп(ДКТ)}$  – УК, исходящий из доступности контролируемых элементов к обслуживанию и диагностированию;

$УК_{кп(инф)}$  – УК, характеризующий достоверность оценки текущего состояния конкретных элементов по результатам контроля;

$УК_{кп(дп)}$  – УК, свидетельствующий о достоверности прогноза будущих состояний этих элементов по результатам контроля.

$$УК_{uti} = f_{uti} (УК_{uti(ДМ)}, УК_{uti(тр)}, УК_{uti(уту)}, \dots), \quad (9)$$

$$УК_{uti(иуи)}, УК_{uti(\dots)}),$$

где  $УК_{uti(ДМ)}$  – УК, характеризующий трудоемкость демонтажа изделия, предназначенного для утилизации;

$УК_{uti(тр)}$  – УК в виде показателей трудоемкости транспортирования к пункту утилизации;



$УК_{ути(уту)}$  – УК, отражающий уровень трудоемкости утилизации;

$УК_{ути(иуи)}$  – УК, определяющий степень и эффективность дальнейшего использования утилизированного изделия.

В самом общем смысле конкурентоспособность производителя продукции целесообразно рассмотреть исходя из двух аспектов:

1) суммарного уровня доверия и отношения потребителей, поставщиков и других заинтересованных сторон к предприятию (внешняя оценка конкурентоспособности, доверия и имиджа КРС<sub>пп</sub>);

2) суммарного уровня конкурентоспособности и отношения к ней с точки зрения самого предприятия (корпоративная, или собственная оценка конкурентоспособности КРС<sub>п</sub>).

Тогда с точки зрения всех заинтересованных сторон коэффициент конкурентоспособности предприятия  $k_{KPC}$  может быть рассмотрен как комплекс

$$k_{KPC} = KPC_{пп} / KPC_{п}. \quad (10)$$

Использование такого подхода к оценке конкурентоспособности предприятия приводит, во-первых, к обязательной оценке удовлетворенности всех заинтересованных сторон деятельностью предприятия и ее результатами и, во-вторых, к более целенаправленному осуществлению анализа положения предприятия на рынке и соответствия внутренних компонентов производства требованиям окружения.

Сопоставление различных взглядов на конкурентоспособность позволяет считать, что эта интегральная, многодисциплинарная, многоаспектная и многоадресная категория для различных объектов (субъектов) суммарно может быть оценена каждой заинтересованной стороной социально-экономическим множеством следующего обобщенного структурно-лингвистического вида:

$$KPC_{пп(п)} = U_{\Sigma} \{ \gamma_1 U_1 (\text{ПХК}), \gamma_2 U_2 (\text{РПО}), \quad (11) \\ \gamma_3 U_3 (\text{ККП}), \gamma_4 U_4 (\text{ПУВ}), \gamma_5 U_5 (\text{УЛП}),$$

где  $\gamma_1 - \gamma_5$  – весовые коэффициенты множеств  $U_1 - U_5$  при условии, что  $\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 + \gamma_5 = 1$  [15].

$U_1 (\text{ПХК})$  – множество присущих характеристик качества объекта;

$U_2 (\text{РПО})$  – множество рыночных показателей объекта;

$U_3 (\text{ККП})$  – множество факторов конкуренции, конкурентных преимуществ, конкурентоспособности;

$U_4 (\text{ПУВ})$  – множество показателей, отражающих уровень и тесноту взаимодействия первых трех множеств, синергизм системного мышления при обращении к конкурентоспособности;

$U_5 (\text{УЛП})$  – множество показателей удовлетворенности и лояльности потребителей и других заинтересованных сторон.

В частном случае, например для изделий машиностроения (неспецифицированных и специфицированных), выражение (11) в более развернутом варианте может быть представлено функцией:

$$KPC_{из} = f_{из(KPC)} (\zeta_1 KЧ_{ОСХ}, \zeta_2 ЦН_{из}, \zeta_3 КЧ_{ппо}, \\ \zeta_4 КП_{из}, \zeta_5 ПХ_{ик}, \zeta_6 ФК_{из}, \zeta_7 УРСЕ_{из}, \zeta_8 УТЭ_{из}, \\ \zeta_9 УР_{НБР(из)}, \zeta_{10} ПЦ_{из}, \zeta_{11} ИМ_{из}, \zeta_{12} ИМ_{пи}, \quad (12) \\ \zeta_{13} РЛП_{из}, \zeta_{14} ПСП_{из}, \zeta_{15} ПКНСХ_{из}, \\ \zeta_{16} УК_{из}, \zeta_{17} ПВЗ),$$

где  $\zeta_1 - \zeta_{17}$  – частные весовые коэффициенты ( $\sum \zeta = 1$ );

$KЧ_{ОСХ}$  – качество как совокупное многообразие действительно присущих (внутренних) общих и специальных характеристик изделия;

$ЦН_{из}$  – цена (стоимость) изделия;

$КЧ_{ппо}$  – качество поставки и послепродажного обслуживания;

$КП_{из}$  – вид, число (и значимость) эксклюзивных ценностей и конкурентных преимуществ изделия;

$ПХ_{ик}$  – виды, абсолютное число и доля внутренних присущих характеристик (эксклюзивных ценностей), превосходящих аналогичные характеристики изделий конкурентов (суммарно);

$ФК_{из}$  – вид, число (и значимость) факторов конкурентоспособности, связанных с изделием;

$УРСЕ_{из}$  – уровень ресурсоемкости технического обслуживания изделия в условиях эксплуатации;

$УТЭ_{из}$  – уровень трудоемкости эксплуатации изделия;

$УР_{НБР(из)}$  – уровень надежности, безопасности, экологичности и риска изделия (как требование потребителя и общества), определенный с учетом воздействия и состояния внешних воздействий;

$ПЦ_{из}$  – суммарная потребительская ценность изделия;



$ИМ_{из}$  – обобщенный имидж (бренд) изделия;  
 $ИМ_{пи}$  – обобщенный имидж предприятия-изготовителя;

$РЛП_{из}$  – реакция, удовлетворенность и лояльность настоящих и потенциальных потребителей изделия;

$ПСП_{из}$  – покупательная способность потребителей изделия;

$ПКНСХ_{из}$  – пространственно-временная, количественная, номенклатурная и сегментная характеристика вывода изделия на рынок;

$УК_{из}$  – уровень конкуренции на рынке однородных изделий;

$ПВЗ$  – множество показателей, отражающих уровень и тесноту взаимодействия первых трех множеств, синергизм системного мышления при обращении к конкурентоспособности.

На практике к рассмотрению принимают такие характеристики-критерии качества и конкурентоспособности, которые соответствуют приведенной структурной направленности, стратегии предприятия и заинтересованных сторон и отвечают следующим основным требованиям:

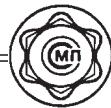
- измеримость и оцениваемость по шкале отношений или, в крайних случаях, по шкалам интервалов и порядка;
- минимум числа критериев при достаточной информативности;
- обеспечение сопоставимости объектов разных времен, производителей, стран (в случае, если имеется возможность использовать безразмерные или удельные величины, предпочтение должно отдаваться им);
- оказание определяющего влияния на развитие производства, продукции;
- выполнение условия исключения (при необходимости);
- независимость критериев друг от друга, невозможность их логического построения из других критериев или наличие возможности исходить из этих критериев в виде прямого следствия.

Значимость цены, ценности и сочетания других приоритетов с каждым годом возрастает. Качество продукции как таковое уже не удовлетворяет потребителей (клиентов). Для них становится важной комбинация качества с прочими указанными ранее переменными приоритетами.

Другие стороны проекта мегасистемы  $MSS_{KK}$  будут рассмотрены в последующих статьях авторов.

### Библиографический список

1. Версан В.Г. Кризис в стандартизации систем менеджмента. Причины. Пути выхода // Стандарты и качество. 2009. № 3. С. 78–83.
2. Седдон Дж. Стандарты ИСО серии 9000: болезнь экономики? // Деловое совершенство. 2005. № 4. С. 8–13.
3. Фатхутдинов Р.А. Конкурентоспособность России: как ее повысить // Стандарты и качество. 2004. № 1. С. 60–63.
4. Аристов О.В. Управление качеством. М.: ИНФРА-М, 2009. 240 с.
5. Гличев А.В. Основы управления качеством продукции. 2-е изд., перераб. и доп. М.: РИА "Стандарты и качество", 2001. 424 с.
6. Мазур И.И., Шапиров В.Д. Управление качеством. 4-е изд., стер. М.: Омега-Л, 2007. 400 с.
7. Мишин В.М. Управление качеством. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2008. 463 с.
8. Огвоздин В.Ю. Управление качеством. Основы теории и практики. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Дело и сервис, 2007. 288 с.
9. Салимова Т.А. Управление качеством. 2-е изд., стер. М.: Омега-Л, 2008. 414 с.
10. Чупилин А.И. Управление качеством. М.: Дашков и К°, 2006. 156 с.
11. Эванс Джеймс Р. Управление качеством / Пер. с англ. под ред. Э.М. Короткова. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. 671 с.
12. Зайцев Н.Л. Краткий словарь экономиста. М.: ИНФРА-М, 2010. 224 с.
13. Фатхутдинов Р.А. Стратегический маркетинг. 5-е изд. СПб.: Питер, 2008. 368 с.
14. Экономика предприятия (фирмы) / А.Я. Горфинкель и др. М.: Проспект, 2010. 640 с.
15. Шестopal Ю.Т., Щетинина Н.Ю. Конкурентоспособность и качество // Стандарты и качество. 2010. № 2. С. 62–65.



УДК 658.562

**Р.З. Диланян, И.И. Кравченко, канд-ты техн. наук,  
М.А. Штейнбрехер (МГТУ им. Н.Э. Баумана)**  
E-mail: kriig@yandex.ru

## Конструкторско-технологическое обеспечение и управление качеством производственных процессов

Изложены основные положения конструкторско-технологического обеспечения и управления качеством изделий на основе программных продуктов системы TCS. Рассмотрены процессы: оформления сборочных чертежей изделий в соответствии с требованиями ЕСКД; проектирования технологических процессов сборки изделий и изготовления деталей; планирования производственного процесса изготовления изделий с оформлением их фактической сдачи; проведения анализа результатов измерений, полученных при сдаче изделий, посредством статистической обработки данных; получения комплекта документации по управлению качеством.

*Give an account of problems principal, system engineering methods design-technological maintenance and quality management on the basis of modeling of all productions are stated. There are considered processes: registration of assembly drawings of products and details in conformity by ESKD requirements; designing of technological processes of assemblage of products; planning of production of manufacturing of products of by registration of their actual delivery; carrying out of the analysis of results the measurements received at delivery of products, by means of statistical data processing; reception of the complete set of the documentation on quality management.*

**Ключевые слова:** качество изделий, моделирование и проектирование производственного процесса сборки, статистическая обработка данных.

**Keywords:** quality of products, modeling of manufacturing assemblage process, statistical data processing.

Задача обеспечения качества в современных условиях конкурентной борьбы [1, 2] приобретает все большее значение, и именно качество производственных процессов обеспечивает жизнеспособность предприятия. В понятие качества включают качество всех процессов, выполняемых на предприятии

начиная с целей, которые ставит перед собой руководство (качество цели), и заканчивая организацией конкретных производственных процессов (качество исполнения).

Учитывая всеобъемлющий характер вопросов управления качеством, следует отметить, что сегодня в условиях жесткой конкуренции между производителями формируется новая концепция управления производством, в основу которой заложен главный критерий, которым является качество. Такой подход сформирован на двух стратегических функциях достижения конечных целей. *Первая* – определение целевого рынка, выявление нужд и запросов для того, чтобы выявить продукцию, которая самым наилучшим образом удовлетворяет ожиданиям потребителей. *Вторая* – ответственность за качество продукции.

Исследование рынка и статистический контроль – два инструмента, основанные на двух различных подходах: один сфокусирован на внешней среде – творческий, всегда в развитии, чтобы следовать малейшим изменениям в настроении потребителей; другой – статичный, консервативный.

Качество должно быть "встроено" в продукт. Все отделы (не только отдел контроля качества) должны принять полную ответственность за качество на каждом уровне и внедрить такие методы, чтобы установились межфункциональные связи с целью "построения качества в продукте", "делать то, что надо и необходимо, с первого раза". Качество больше не связано только исключительно с физическими характеристиками и свойствами продукта. В работе "История управления ради качества" проф. Д. Джурган сделал такой прогноз: "ХХ век был веком производительности, но ХХI век будет веком качества" [3, 4].

С этим постулатом нельзя не согласиться. В стандарте ИСО 9000–2008 был упущен из виду тот факт, что продукция может быть превосходно произведена, но в то же время может не удовлетворять нужды

потребителя, более того, может не выдерживать конкуренции. Качество сейчас воспринимается как сотрудничество связки звеньев одной цепи "поставщик–потребитель".

Исходя из указанной концепции в данной статье предложено на конкретном примере сборки датчика скорости автомобиля (рис. 1) рассмотреть возможность одной из систем проектирования решать поставленную задачу.

Известно, что сегодня методической основой обеспечения качества являются стандарты международной организации по стандартизации ISO (International Standard Organization). В соответствии с требованиями данных стандартов на предприятии должна быть создана, как было отмечено ранее, система качества, регламентирующая выполнение всех действий согласно последним достижениям в области управления процессами.

Система качества представляет собой совокупность задач, решаемых на разных этапах производства и методов (инструментов) их реализации. Среди них отметим методы математической статистики, разрабатывающие способы регистрации, описания и анализа данных наблюдений и экспериментов с целью построения вероятностных моделей массовых случайных явлений (что связано со статистической природой информации, существующей в производственных процессах).

В зависимости от математической природы конкретных результатов наблюдений математическую статистику делят на статистику чисел, многомерный статистический анализ, анализ функций (процессов) и временных рядов, статистику объектов нечисловой природы [5].

Действительно, даже при строгом соблюдении технологии, на производственный процесс влияет множество случайных факторов, которые не позволяют получить желаемый детерминированный показатель качества. Это приводит к необходимости анализировать ситуацию в среднем, с вероятностной оценкой ожидаемого значения показателя. Состав статистических методов регламентируется российскими стандартами группы ГОСТ Р ИСО 50779 и они перечислены в отчете технического комитета Госстандарта ИСО/ТК 10017.

Исходной информацией для проведения статистических процедур являются результаты оценки параметров производства, определяющих качество конечной продукции. Измерения параметров качества производят на различных этапах технологиче-

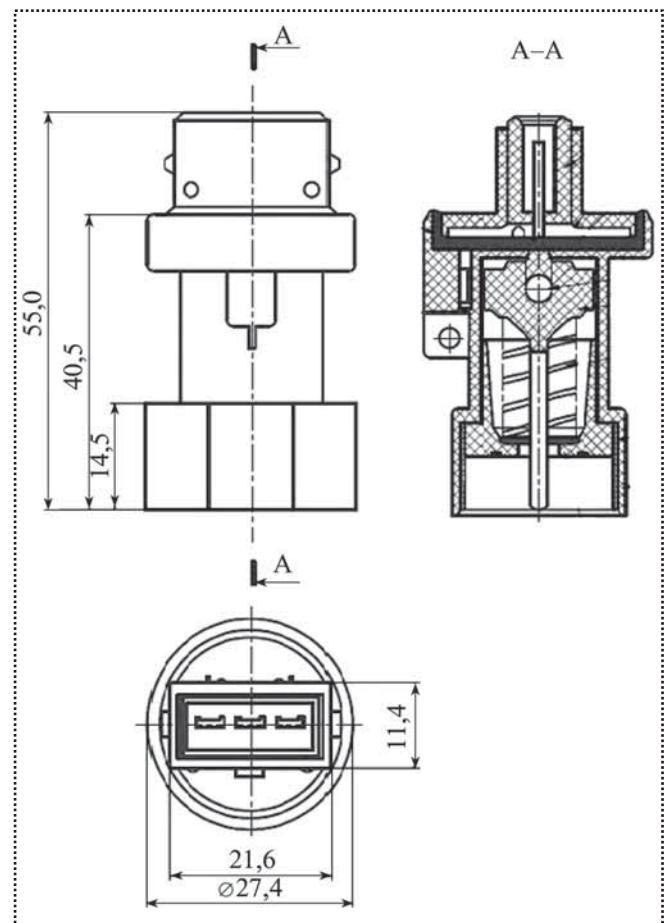


Рис. 1. Датчик скорости автомобиля

ского цикла, они накапливаются в реляционных (жестких) базах данных (БД) системы управления предприятием. До недавнего времени применение статистических методов сдерживало низкий уровень автоматизации сбора, обработки и хранения информации для создания реляционных баз данных о производственных процессах.

За последние годы в информационных технологиях произошел существенный прогресс в управлении производством, появился широкий спектр программных продуктов, обеспечивающих его планирование. Одним из таких продуктов является автоматизированная система технической подготовки и учета производства TechnologiCS или TCS (CS – российская компания Consistent Sofware), где данные о технологических процессах и оборудовании представлены в БД в форме, удобной для последующей обработки.

Рассмотрим основные положения и метод разработки системы конструкторско-технологического обеспечения и управления качеством на основе



моделирования производственных процессов с использованием системы TCS.

Система TCS – это совокупность специализированных программных продуктов для производственных предприятий. TCS – это автоматизированная система технической подготовки производства, которая позволяет на современном уровне организовать совместную работу конструкторов, технологов, планировщиков, снабженцев, экономистов, производственников и других специалистов, на всех этапах выполнения заказа: от разработки конструкции изделия до изготовления его в цехах.

Система предназначена для решения задач конструкторско-технологической подготовки, планирования и управления производством на предприятиях различных отраслей промышленности. Объектом автоматизации может быть предприятие в целом, отдельное производство или служба. Вся рабочая информация системы TCS хранится в ее основных (номенклатурных) справочниках. Основные справочники системы имеют одинаковую структуру, но в разных подсистемах могут обрабатываться по-разному.

Работа в указанной системе потребовала:

- в системе AutoCad – MechaniCS создать сборочный чертеж, чертежи деталей и импортировать их в систему;
- разработать технологические процессы изготовления деталей и сборки датчика скорости;
- выполнить планирование производственного процесса изготовления датчика скорости и оформить фактическую сдачу изделия;
- произвести анализ результатов измерений, полученных при сдаче изделия, с помощью инструментов статистической обработки данных, входящих в программный пакет TCS;
- получить комплект документации по управлению качеством в соответствии с ГОСТ Р 50779 "Статистические методы" [6–8].

Разработка спецификаций на все узлы датчика скорости и на сам датчик скорости была произведена в системе TCS. В справоч-

ники системы TCS вносят данные обо всех сборочных единицах, деталях, имеющейся документации, стандартных и прочих изделиях, которые позволяют укомплектовать все спецификации в одной БД.

В результате разработанных спецификаций программа TCS формирует отчеты в виде готовых документов на все сборочные единицы датчика скорости, оформленных по ЕСКД. Кроме спецификаций на сборочные единицы программа составляет ведомость спецификаций на детали датчика скорости (рис. 2).

Проектирование технологических процессов изготовления деталей и сборки изделия произведена также в системе TCS (рис. 3).

Перед разработкой технологических процессов изготовления деталей и сборки датчика скорости были заполнены все необходимые справочники для проведения сборочно-монтажных работ и изготовления деталей методами механообработки и литья. В результате были спроектированы технологические процессы изготовления деталей и сборки датчика скорости. Одновременно с этим был произведен ввод данных о трудовом и материальном нормировании.

Система TCS позволяет оформлять результаты технологического проектирования в виде комплекс-

TechnologiCS Спецификация: ИГЛМ.402139.001 - Датчик скорости Версия: Версия2 - Разработка							
		Обозначение		Нанесение			
Документ	Часть	Форма	Поз.	Обоз.	Нанесение	Кол-во	Коммент.
Документ			4 *	ДОК. Документ ИГЛМ.402139.001СБ	Сборочный чертеж	0.0000	*A4xA3
Сбороч.			6 А3	ДОК. Документ ИГЛМ.402139.001ГЧ	Габаритный чертеж		
Детали			8 А4	ДОК. Документ ИГЛМ.402139.001З	Схема электрическая принципиальная		
Стандарт			12 А3	ДОК. Документ ИГЛМ.402139.001ВП	Ведомость покупных изделий		
Комплект			16 А4	ДОК. Документ ИГЛМ.402139.001ТУ	Технические условия		
			18 А4	ДОК. Документ ИГЛМ.40214.001И1	Датчики скорости автомобиля 01.		
			24 А4	ДОК. Документ ИГЛМ.402139.001И1	Датчики скорости автомобиля 01.		
			30 А4	ДОК. Документ ИГЛМ.40214.001И5	Датчики скорости автомобиля 01.		
			44 А4*3	СБ Сборочный ИГЛМ.304143.001	Ротор	1.0000	
			46 А4	СБ Сборочный ИГЛМ.687242.036	Плата	1.0000	
			52 А3	ДЕ Детали ИГЛМ.712242.001	Втулка	1.0000	
			54 А1	ДЕ Детали ИГЛМ.724211.001	Корпус	1.0000	
			56 А4	ДЕ Детали ИГЛМ.753513.004	Пружина	1.0000	
			58 А4	ДЕ Детали ИГЛМ.758495.001	Шайба	1.0000	
			60 А3	ДЕ Детали ИГЛМ.724211.002	Корпус	1.0000	
			66	СТД Стандарт	Шарик 64-100 ГОСТ 3722-81	1.0000	
			72 А4	КОМП Комплект ИГЛМ.463946.032**	Уплаковка	0.0000	1/500
			74 А4	КОМП Комплект ИГЛМ.463946.032-01*	Уплаковка	0.0000	1/500 на заг
			76 А4	КОМП Комплект ИГЛМ.463946.033**	Уплаковка	1.0000	на запчасти
			78 А4	КОМП Комплект ИГЛМ.463946.034	Уплаковка	0.0000	1/480
			80 А3	КОМП Комплект ИГЛМ.754461.021-04	Уплаковочный лист	0.0000	1/1920
			82 А3	КОМП Комплект ИГЛМ.754461.038	Сертификат качества	0.0000	1/10000
			84 А3	КОМП Комплект ИГЛМ.754461.110	Этикетка	0.0000	1/10000

Рис. 2. Пример разработки ведомости спецификации на датчик скорости в системе TCS



TechnologiCS Техпроцесс: ИГЛМ.402139.001 - Датчик скорости Версия: 1 - Разработка						
Файл	Правка	Вид	Справочники	Номенклатура	Производство	Документооборот
Операции	№ рех:	№ позиции	Класс	Наименование	Владелец	
ИГЛМ.402139.001-Датчик ск						
1.[47/] Подготовка	0	0	1 ИИН	Халат х/б тип А ГОСТ 12.4.131-83	Администратор	
2.[47/] Приготовление клея	0	0	2 ИИН	Головной убор х/б	Администратор	
3.[47/] Заливка	0	0	3 КОММЕ	Запись в сопроводительном документе	Администратор	
4.[47/] Транспортирование	1	0	1 ОПР	Подготовка	Маркова	
5.[47/] Герметизация	1	0	2 ОБР	Стол НО-34225	Маркова	
6.[47/] Транспортирование	1	1	1 ТПР	Подготовить рабочее место, детали к	Маркова	
7.[47/] Контроль	1	2	1 ТПР	Выписать сопроводительный документ	Маркова	
8.[47/] Транспортирование	1	2	2 ИИН	Ручка РШСИ 1.08707 ГОСТ 28937-91	Маркова	
9.[47/] Контроль	1	3	1 ТПР	Нанести клей	Администратор	
10.[47/] Транспортирование	2	0	1 ОПР	Приготовление клея	Маркова	
11.[47/] Ремонт	2	0	2 ОБР	Стол НО-34225	Маркова	
12.[47/] Транспортирование	2	0	3 ВМАТ	Спиронитрофасовая смесь ОСТ 4Г0.02 Шваб О.С.	Маркова	
13.[47/] Контроль	2	0	4 ВМАТ	Смазка ЦИАТИМ221 ГОСТ 9433-80 Шваб О.С.	Шваб О.С.	
14.[47/] Транспортирование	2	0	5 ВМАТ	Полиамид стеклонаполненный ударопрочный Шваб О.С.	Шваб О.С.	
15.[47/] Сборка	2	0	6 ВМАТ	Мадаполам отбеленный 348 ГОСТ 292 Шваб О.С.	Шваб О.С.	
16.[47/] Транспортирование	2	0	7 ВМАТ	Перчатки х/б двойные типа А ГОСТ 500 Шваб О.С.	Шваб О.С.	
17.[47/] Испытания	2	0	8 ВМАТ	Перчатки резиновые ГОСТ 3-75 Шваб О.С.	Шваб О.С.	
18.[47/] Контроль	2	0	9 ВМАТ	Нигрозин сплиторсторнирный ГОСТ 930 Шваб О.С.	Шваб О.С.	
19.[47/] Транспортирование	2	0	10 ВМАТ	Спирт этиловый технический марки А Шваб О.С.	Шваб О.С.	
20.[47/] Регулировка	2	0	11 ВМАТ	Микранка T1 суроный ТУ17 РСФСР 11: Шваб О.С.	Шваб О.С.	
21.[47/] Транспортирование	2	1	1 ТПР	Приготовить клей ВК-9. Готовить клей	Маркова	
22.[47/] Контроль	3	0	1 ОПР	Заливка	Маркова	
23.[47/] Транспортирование	3	0	2 ОБР	Стол НО-34225	Маркова	
24.[47/] Контроль	3	1	1 ТПР	Обезжирить поверхности корпусов по	Маркова	
25.[47/] Транспортирование	3	1	2 ИИН	Кисть худ. КХКК №4 ТУ17-15-07-89	Маркова	
26.[47/] Контроль	3	1	3 ИИН	Тара 65071 или аналогичная	Маркова	
27.[47/] Транспортирование	3	2	1 ТПР	Нанести клей согласно чертежу и п.4т	Маркова	
28.[47/] Контроль	3	2	2 ИИН	Тара 207516 или аналогичная для пер-	Маркова	
29.[47/] Транспортирование						
30.[47/] Контроль						
31.[47/] Транспортирование						

Рис. 3. Представление технологического процесса сборки датчика в системе TCS

та технологических документов. Разработанный комплект документов включает в себя:

- маршрутно-операционные карты на все сборочные единицы датчика скорости и детали;
- маршрутный технологический процесс;
- ведомость комплектования по цехам;
- ведомость специфицированных норм расхода основных и вспомогательных материалов;
- ведомость подетальной специфицированной трудоемкости;
- ведомость подетальной по-операционной трудоемкости;
- сводную ведомость сборочных единиц и деталей;
- сводную ведомость сборочных единиц и деталей.

Основная задача управления качеством состоит в том, чтобы обнаружить и предупредить возможность разладки на ранних стадиях производства. Но задача эта решалась бы просто, если бы

предприятие занималось изготовлением лишь одной детали. Очень сложной задачей управления качеством на предприятии является задача управления всем производством в целом. Возникает необходимость структурирования большого объема производственной информации.

Для того чтобы качественно управлять производством, необходимо иметь полный свод информации о конструкторском и технологическом проектировании изделий, об их производственном планировании. Все эти задачи могут быть комплексно решены в программном пакете TCS.

Для того чтобы сформировать план производства датчика скорости в программном продукте "производство" TCS, необходимо предварительно создать производственную спецификацию (ПСп) и построить технологический цикл изготовления изделия

(рис. 4). При создании ПСп вводят основные данные, создают перечень элементов ПСп, определяют состав номенклатурных позиций, планируемых в производство, которые дополняют технологическими процессами.

Производственная спецификация служит для ведения перечня номенклатурных позиций производственного заказа, для оперативного изменения его состава, последовательности изготовления по-

Производственная спецификация (редактирование)					
		Раздел		Номенклатура	
Не изгот. родит.	Не изгот.	Обоз.	Наименование	Обозначение	Наименование
ПСП: ИГЛМ.402139.001					
ИГЛМ.402139.001 - Датчик ск					
ИГЛМ.304143.001 - Ротор			СБ	Сборочные единицы ИГЛМ.402139.001	Датчик скорости
ИГЛМ.687242.036 - Плата			СБ	Сборочные единицы ИГЛМ.304143.001	Ротор
			СБ	Сборочные единицы ИГЛМ.687242.036	Плата
			ДЕ	Детали ИГЛМ.724211.001	Корпус
			ДЕ	Детали ИГЛМ.712242.001	Втулка
			ДЕ	Детали ИГЛМ.753513.004	Пружина

Рис. 4. Производственная спецификация датчика скорости

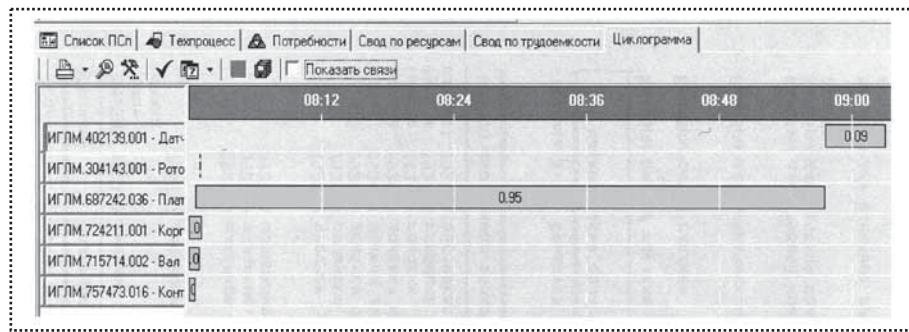


Рис. 5. Циклограмма

зий, а также для изменения вариантов изготовления позиций.

Далее созданная ПСП добавляется в список рабочих спецификаций и производится построение циклограммы, после чего все расчетные данные должны быть сохранены. При построении циклограммы производится расчет цикла изготовления ПСП. При вхождении в этот режим выводится окно, показанное на рис. 5.

Циклограмма показывает последовательность и длительность изготовления всех сборочных единиц, деталей и датчика скорости в целом.

Для того чтобы сформировать план производства, необходимо подготовить заказ (рис. 6) и создать профиль для работы с заказом, в котором указывается номер заказа и цехов, в которых будут изготавливать датчик скорости.

Затем система переносит ПСП в закладку "План производства" с последующим формированием производственного плана. Для формирования производственного плана необходимо перейти из режима проектирования в режим ведения производства и убедиться, что заказ, подготовленный на основании ПСП для датчика скорости, включен

в производство. Выделяя все строки таблицы технологических процессов, формирую план производства по выделенным позициям.

Сформированный производственный план система отсылает в закладку "План изготовления". И именно здесь производится оформление фактического изготовления.

В процессе работы модуля управления производством данные о фактическом изготовлении продукта вводятся на основе информации о выполнении технологических операций. Результаты измерений, предназначенные для последующей обработки, формируются в процессе работы модуля управления производством при вводе данных о фактическом изготовлении продукции.

Ввод данных производится по результатам измерений параметров детали, а также по результатам регистрации видов и причин брака. Оформление сдачи проводится по результатам измерения параметров изделия, определяющих качество конечной продукции. Измерения производятся на различных этапах технологического цикла. В нашем случае в качестве примера были введены результаты измерений параметров детали датчика скорости "контакт" согласно чертежу (рис. 7):

- длина  $16,5^{+0,1}_{-0,18}$ ;
- толщина  $0,8 \pm 0,05$ ;
- ширина 3–0,1.

В выборке контакта датчика скорости (100 шт.) были произведены измерения параметров штангенциркулем (рис. 8).

Данные о видах и причинах брака (рис. 9) фиксируются на контрольной операции технологического процесса сборки датчика скорости при проведении приемо-сдаточных испытаний (ПСИ) согласно имеющимся техническим требованиям на датчик скорости автомобиля.

Формируемые на этом этапе данные содержат информацию о подразделениях, о видах и причинах брака, количественных значе-

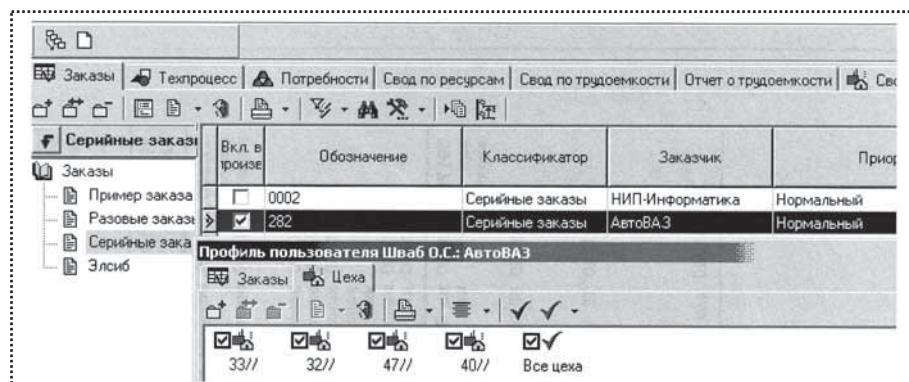


Рис. 6. Создание заказа и настройка профиля

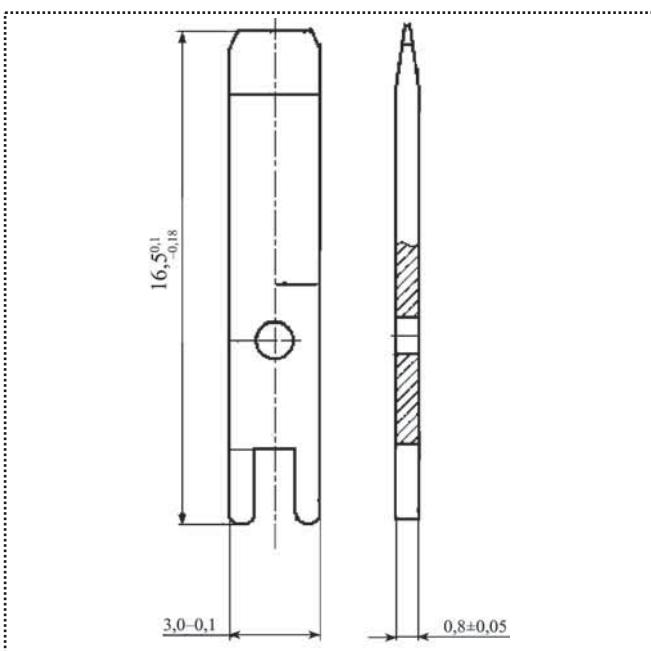


Рис. 7. Контакт датчика скорости

ниях параметров, а также множестве других атрибутов, характеризующих принимаемую продук-

цию. Кроме того, результаты измерений содержатся в БД модуля складского учета, где находится информация о параметрах материалов и комплектующих, поступающих на предприятие и используемых в технологических процессах, а также о параметрах готовой продукции.

Результаты измерений, сформированные модулем управления производством при вводе данных о фактическом изготовлении продукции, предназначены для последующей обработки в системе TCS, которая содержит модуль статистической обработки данных.

Наглядным и эффективным инструментом статистической обработки данных о производстве является диаграмма Парето. Диаграмма Парето предназначена для графического представления вклада от различных характеризующих брак факторов производства (такими факторами могут быть виды, причины брака, подразделения, исполнители и т.д.) в общее число случаев брака.

Диаграмма Парето строится следующим образом: по оси ординат откладывается число случаев брака, зарегистрированного в модуле фактического изготовления, а по оси абсцисс – выбранные пользователем источники брака.

На рис. 10 показана диаграмма Парето по видам брака для датчика скорости. Столбцы диаграммы (каждый соответствует отдельному виду) ранжированы в порядке убывания интенсивности брака, что позволяет оперативно оценивать "вклад" соответствующего вида. Первый столбец представляет наиболее «брокопроизводящий» фактор, процентный вклад этого фактора регистрируется по правой вертикальной оси диаграммы. На этой же диаграмме изображена кривая интегрального процента брака, которая в данном случае показывает, что 65,4 % брака обусловлено пятью первыми видами. Такая диаграмма может быть построена по подразделениям, оборудованию, работникам, разрядам работ, а также по любому другому интересующему пользователя фактору

Фактическая сдача по результатам измерений параметров											
Номенклатура	Обозначение	Назначение	Код	Назначение	Цех	Фактическое изготовление	Цех	Фактическое	Параметры сдачи		
									номер	номер	номер
Дет ИГЛМ.757473 Контакт	Контроль	0200 Стол ОТКНО-35985	3 1 0 32 II 1:0 F	Штангопечь	18.0300	0.8000	2.9200				
Дет ИГЛМ.757473 Контакт	Контроль	0200 Стол ОТКНО-35985	3 1 0 32 II 1:0 F	Штангопечь	18.0800	0.8000	2.9300				
Дет ИГЛМ.757473 Контакт	Контроль	0200 Стол ОТКНО-35985	3 1 0 32 II 1:0 F	Штангопечь	18.0600	0.8000	2.9200				
Дет ИГЛМ.757473 Контакт	Контроль	0200 Стол ОТКНО-35985	3 1 0 32 II 1:0 F	Штангопечь	18.0800	0.8000	2.9200				
Дет ИГЛМ.757473 Контакт	Контроль	0200 Стол ОТКНО-35985	3 1 0 32 II 1:0 F	Штангопечь	18.0400	0.8000	2.9200				
Дет ИГЛМ.757473 Контакт	Контроль	0200 Стол ОТКНО-35985	3 1 0 32 II 1:0 F	Штангопечь	18.0700	0.7500	2.9200				
Дет ИГЛМ.757473 Контакт	Контроль	0200 Стол ОТКНО-35985	3 1 0 32 II 1:0 F	Штангопечь	18.0800	0.7900	2.9300				
Дет ИГЛМ.757473 Контакт	Контроль	0200 Стол ОТКНО-35985	3 1 0 32 II 1:0 F	Штангопечь	18.0800	0.7600	2.9300				
Дет ИГЛМ.757473 Контакт	Контроль	0200 Стол ОТКНО-35985	3 1 0 32 II 1:0 F	Штангопечь	18.0700	0.7900	2.9200				
Дет ИГЛМ.757473 Контакт	Контроль	0200 Стол ОТКНО-35985	3 1 0 32 II 1:0 F	Штангопечь	18.0600	0.8000	2.9400				
Дет ИГЛМ.757473 Контакт	Контроль	0200 Стол ОТКНО-35985	3 1 0 32 II 1:0 F	Штангопечь	18.0400	0.8000	2.9200				
Дет ИГЛМ.757473 Контакт	Контроль	0200 Стол ОТКНО-35985	3 1 0 32 II 1:0 F	Штангопечь	18.0500	0.7700	2.9200				

Рис. 8. Фактическая сдача по результатам измерений параметров

Фактическая сдача по данным бракованных изделий											
Номенклатура	Обозначение	Назначение	Код	Назначение	Цех	Фактическое	Цех	Фактическое	Вид брака		
									номер	номер	номер
СБ 1 ИГЛМ.402139 Датчик скорости	Контроль	0200 Стол НО-36930 с к.	3 1 0 0 C	344.0000	22.03.2004	0	103	103	Дефекты поверхности, обра		
СБ 1 ИГЛМ.402139 Датчик скорости	Контроль	0200 Стол НО-35930 с к.	3 1 0 0 C	344.0000	23.03.2004	0	1	1	Клей на колодках и корпусе		
СБ 1 ИГЛМ.402139 Датчик скорости	Контроль	0200 Стол НО-35930 с к.	3 1 0 0 C	244.0000	23.03.2004	0	2	2	Трещина на корпусе		
СБ 1 ИГЛМ.402139 Датчик скорости	Контроль	0200 Стол НО-35930 с к.	3 1 0 0 C	181.0000	23.03.2004	0	3	3	Т/зашлифовка не соответств		
СБ 1 ИГЛМ.402139 Датчик скорости	Контроль	0200 Стол НО-35930 с к.	3 1 0 0 C	150.0000	23.03.2004	0	4	4	Шайба на роторе не по цент		
СБ 1 ИГЛМ.402139 Датчик скорости	Контроль	0200 Стол НО-35930 с к.	3 1 0 0 C	140.0000	23.03.2004	0	5	5	Колодка зазалицована нале		
СБ 1 ИГЛМ.402139 Датчик скорости	Контроль	0200 Стол НО-35930 с к.	3 1 0 0 C	133.0000	23.03.2004	0	6	6	Пропускают воду по окружн		
СБ 1 ИГЛМ.402139 Датчик скорости	Контроль	0200 Стол НО-35930 с к.	3 1 0 0 C	72.0000	23.03.2004	0	7	7	Плохо промыты пласти		
СБ 1 ИГЛМ.402139 Датчик скорости	Контроль	0200 Стол НО-35930 с к.	3 1 0 0 C	68.0000	23.03.2004	0	8	8	Не затянута втулка		
СБ 1 ИГЛМ.402139 Датчик скорости	Контроль	0200 Стол НО-35930 с к.	3 1 0 0 C	58.0000	23.03.2004	0	9	9	Сорвалы шлицы на втулках		
СБ 1 ИГЛМ.402139 Датчик скорости	Контроль	0200 Стол НО-35930 с к.	3 1 0 0 C	41.0000	23.03.2004	0	10	10	Контакты не по шаблону		
СБ 1 ИГЛМ.402139 Датчик скорости	Контроль	0200 Стол НО-35930 с к.	3 1 0 0 C	38.0000	23.03.2004	0	11	11	Не зазалицовены		
СБ 1 ИГЛМ.402139 Датчик скорости	Контроль	0200 Стол НО-35930 с к.	3 1 0 0 C	117.0000	23.03.2004	0	12	12	Прочее		

Рис. 9. Фактическая сдача по данным бракованных изделий

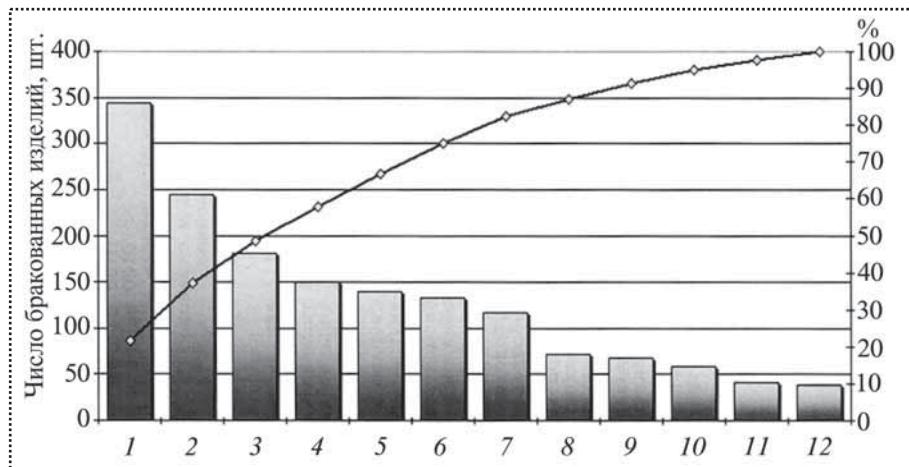


Рис. 10. Диаграмма Парето:

◆ — кривая интегрального процента

[4, 5]. Данные рис. 10 представлены также и в итоговой таблице.

По данным, полученным из диаграммы Парето, можно сделать вывод о необходимости повышения

качества выполнения следующих сборочных технологических операций:

- заливка (склеивание), в результате некачественного выполнения которой выявляется наибольшее число бракованных изделий;
- герметизации (термозавальцовки).

Результаты выполненной работы позволяют сделать вывод о широких возможностях системы TCS управлением качеством производственных процессов, ее универсальности моделирования ситуаций конструкторско-технологической подготовки производства

для различных объектов.

#### Библиографический список

1. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка научноемких изделий CALS-технологии. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 320 с.
2. CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support – Непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции) в авиастроении. М.: Изд-во МАИ, 2002, 670 с.
3. A history of managing for quality. The evolution, trends, and future directions of managing for quality / J.M. Juran, editor-in-chief. ASQC Quality Press. 1995. P. 597.
4. Juran's greatest contributions // Quality progress. May 2004. P. 34.
5. Вероятностные разделы математики / Под ред. Ю.Д. Максимова. Спб.: "Иван Федоров", 2001. 592 с.
6. ГОСТ Р 50779.10–2000. Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 2000.
7. ГОСТ Р 50779.30–95. Статистические методы. Приемочный контроль качества. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1995.
8. ГОСТ Р 50779.72–99. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Ч. 2. Планы выборочного контроля отдельных партий на основе предельного качества. М.: Изд-во стандартов, 1999.

# В ПОМОЩЬ КОНСТРУКТОРУ, ТЕХНОЛОГУ

УДК 621.9.07

**А.В. Брылёв, В.В. Марецкая, канд. техн. наук,  
Л.В. Савельева, канд. техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана)**  
E-mail: lsavelieva2007@gmail.com

## Обеспечение посадки с гарантированным зазором в соединении в условиях инструментальной ограниченности

*Рассмотрены особенности расчета величин полей допусков размеров сопрягаемых поверхностей при обеспечении гарантированного зазора для единичного, в частности ремонтного, производства при вынужденном изменении величин и расположения полей допусков размеров. Приведены алгоритмы расчета полей допусков сопрягаемых поверхностей в системе отверстия и в системе вала.*

*The features of dimetional tolerance calculation to provide clearance fit of mating surfaces in individual production or repair operations for the case of forced changing of tolerance size or location are considered. The algorithms for dimetional tolerance calculation in basic shaft and basic hole systems are presented.*

**Ключевые слова:** сборка, обеспечение точности сборки, посадка с зазором, поле допуска размера, ремонтное производство.

**Keywords:** assembling; assurance of assembling accuracy; clearance fit; dimetional tolerance; repair operations

### Введение

При сборке изделий необходимо выполнить заданные посадки в соединениях деталей. Требуемые зазор или натяг в соединении рассчитывают исходя из условий работы изделия и обеспечивают с помощью выбора определенного расположения и величин полей допусков размеров сопрягаемых поверхностей деталей. Причем это расположение выбирают по рекомендациям стандарта в системе отверстия или вала, чаще всего в системе отверстия.

Примерами соединений с зазором, имеющих высокие требования к точности сопрягаемых поверхностей, могут служить соединения толкателя плунжера с корпусом топливного насоса или

поршневого пальца с поршнем двигателя внутреннего сгорания.

Определенные конструктором поля допусков при изготовлении деталей обеспечивают технологическими методами. Однако в ряде случаев в условиях единичного и в том числе ремонтного производства необходимо изменить величину и/или расположение поля допуска на размер одной из сопрягаемых поверхностей. В этом случае необходимо проводить технологические расчеты для определения новых величин и расположения поля допуска на размер ответной детали для обеспечения заданной посадки. Причиной этих вынужденных мер может быть, например, отсутствие средств технологического оснащения (СТО) соответствующей точности (инструмента, оборудования).

### Обеспечение гарантированного зазора в соединении деталей типа тел вращения

Рассмотрим случай, когда на производстве отсутствует инструмент, с помощью которого можно достичь заданной на чертеже точности размеров внутренней или наружной цилиндрических поверхностей сопрягаемых деталей типа тел вращения. В таких случаях для обработки выбирают в первую очередь ту поверхность, точность размеров которой обеспечить проще в существующих производственных условиях.

Например, при восстановлении зазора между корпусом и толкателем топливного насоса с помощью ремонтных деталей для выполнения отверстия заданной точности требуется определенный набор инструментов: при изготовлении отверстия диаметром менее 30 мм с точностью размера по седьмому или восьмому квалитетам может быть достаточно однократного сверления при условии использования современного инструмента с соот-



ветствующими условиями обработки [1] либо эти квалитеты точности размера отверстия обеспечивают зенкерованием и/или развертыванием. Однако нужный инструмент может отсутствовать, тогда принимают решение обрабатывать поверхность настолько точно, насколько позволяют имеющиеся в наличии СТО, а сопрягаемую наружную цилиндрическую поверхность "подгоняют" под обработанную с соответствующим смещением поля допуска.

В рассматриваемом примере соответствующую отверстию наружную цилиндрическую поверхность выполнить проще, так как можно подобрать соответствующие режимы обработки для имеющихся в цехе инструментов.

Таким образом, сначала используют доступный инструмент для обработки отверстия с максимальной возможной точностью. Получаемый в результате такой обработки размер не соответствует чертежу детали, и поле допуска диаметра отверстия становится больше заданного.

Для обеспечения посадки необходима обработка сопрягаемой наружной цилиндрической поверхности вала (толкателя) с новыми допустимыми отклонениями. Расчет этих отклонений и назначение ограничений на их величину и расположение относительно номинального размера, возникающих в этом случае, являются задачами технologа.

Определим математические зависимости для решения задачи обеспечения посадки с гарантированным зазором в соединении по цилиндрической поверхности.

#### **Расчет предельных отклонений размеров для соединения с гарантированным зазором при изменении только взаимного расположения полей допусков**

В условиях ремонтного производства в общем случае расположение полей допусков диаметров отверстия и наружной цилиндрической поверхности может быть произвольное, не в системе отверстия и не в системе вала. На рис. 1 показано произвольное расположение полей допусков размеров сопрягаемых поверхностей.

Пусть заданы верхнее  $es$  и нижнее  $ei$  отклонения диаметра наружной цилиндрической поверхности, верхнее  $ES$  и нижнее  $EI$  отклонения диаметра отверстия, а также минимальный  $S_{min}$  и максимальный  $S_{max}$  зазоры в соединении.

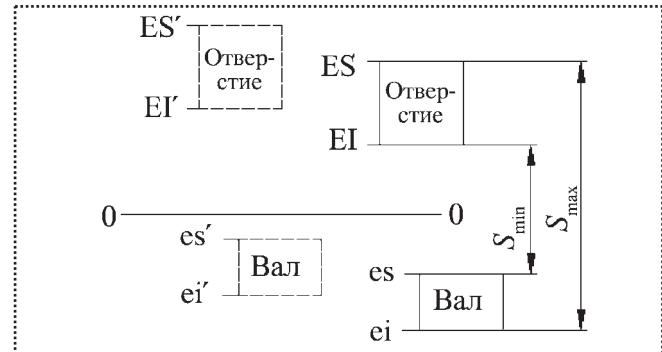


Рис. 1. Произвольное расположение полей допусков размеров сопрягаемых поверхностей

В результате обработки отверстия изменилось расположение поля допуска его диаметра относительно нулевой линии:  $ES'$ ,  $EI'$  – соответственно верхнее и нижнее отклонения диаметра отверстия готовой детали (которое не соответствует требованиям чертежа).

Для обеспечения заданных значений гарантированных зазоров  $S_{min}$  и  $S_{max}$  необходимо изготовить вал с наружной цилиндрической поверхностью, имеющей смещенные относительно заданных на чертеже значения верхнего  $es'$  и нижнего  $ei'$  отклонений диаметра.

Минимальный гарантированный зазор

$$S_{min} = EI - es = EI' - es'.$$

Тогда новое значение верхнего отклонения диаметра наружной цилиндрической поверхности можно определить по формуле

$$es' = EI' - EI + es. \quad (1)$$

Аналогично найдем зависимость для определения нижнего отклонения  $ei'$  диаметра наружной цилиндрической поверхности:

$$S_{max} = ES - ei = ES' - ei',$$

где  $S_{max}$  – максимальный гарантированный зазор в соединении.

Тогда

$$ei' = ES' - ES + ei. \quad (2)$$

В первом рассматриваемом случае размеры и расположения полей допусков ограничены только для диаметра отверстия, так как они определяются доступными СТО. Поле допуска диаметра наружной цилиндрической поверхности только смещается относительно нулевой линии, не изменяя своей

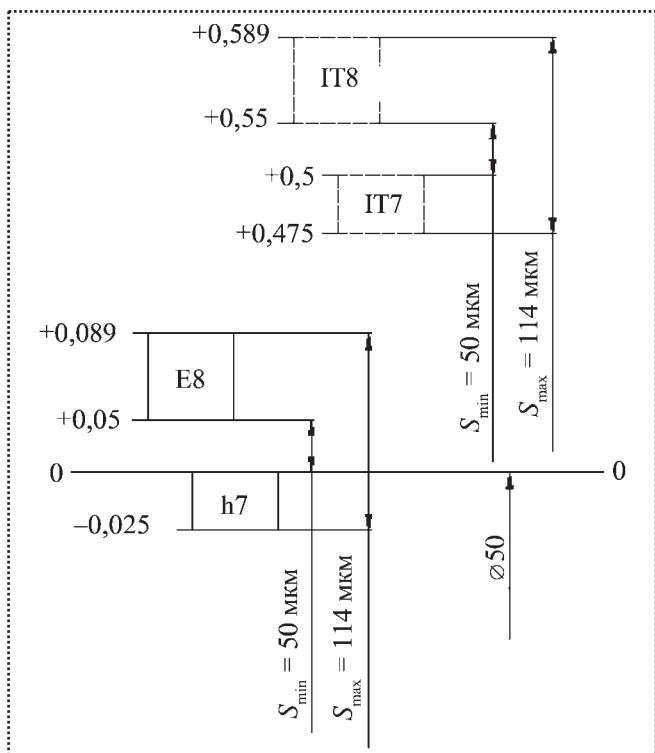


Рис. 2. Смещение полей допусков относительно нулевой линии без изменения величин допусков

величины (рис. 2), и, следовательно, может быть обеспечено соответствующей настройкой оборудования.

#### *Расчет предельных отклонений размеров для соединения с гарантированным зазором при изменении только величин полей допусков*

Изменение величины поля допуска диаметра отверстия влечет за собой изменение верхнего или нижнего отклонений его размера или обоих одновременно. Пример изменения полей допусков показан на рис. 3.

Для вычисления предельных отклонений размера сопрягаемой наружной цилиндрической поверхности также можно использовать формулы (1) и (2). Однако увеличение допуска размера отверстия приведет к изменению величины допуска размера наружной цилиндрической поверхности.

При этом возможное увеличение допуска отверстия может лежать в определенных пределах, вне которых сборка с заданным значением зазора будет теоретически невозможна или допустимые предельные отклонения диаметра наружной цилиндрической поверхности будут практически недости-

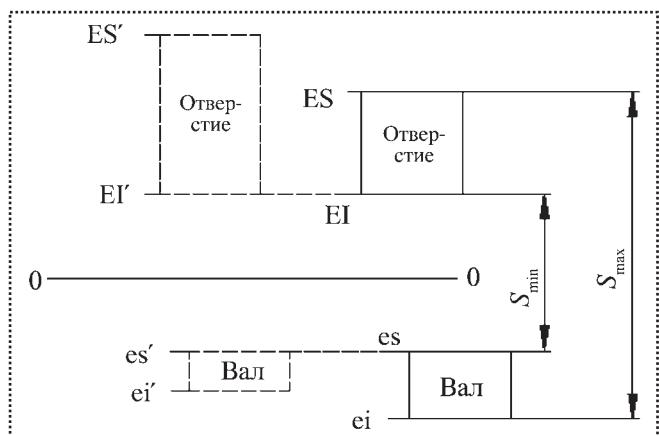


Рис. 3. Изменение величин полей допусков

жими при изготовлении (экономически нецелесообразны).

Обоснование указанного ограничения следующее: увеличение допуска диаметра отверстия влечет за собой уменьшение допуска на размер наружной цилиндрической поверхности. В предельном случае увеличение допуска диаметра отверстия приведет к тому, что расчетный допуск диаметра наружной цилиндрической поверхности будет "нулевым", т.е. верхнее и нижнее отклонения будут одинаковыми. Например,  $\varnothing 25^{+0,007}_{-0,007}$ , когда соединение с заданным зазором будет возможно только с размером вала 24,993 и никаким другим. Графически уменьшение поля допуска диаметра наружной цилиндрической поверхности вала при увеличении допуска диаметра отверстия до 6-го квалитета и до "нулевого" допуска представлено на рис. 4.

Определим зависимости для расчета предельных отклонений размеров отверстия и наружной цилиндрической поверхности с учетом указанного ограничения:

$$S_{\max} - S_{\min} = (ES' - ei') - (EI' - es'). \quad (3)$$

В предельном случае при  $es' - ei' = Td' = 0$ :

$$S_{\max} - S_{\min} = (ES' - Td') - (ES' - Td').$$

Отсюда

$$S_{\max} - S_{\min} = ES' - Td' - EI' + Td';$$

$$S_{\max} - S_{\min} = ES' - EI'.$$

С другой стороны

$$S_{\max} - S_{\min} = TD + Td,$$

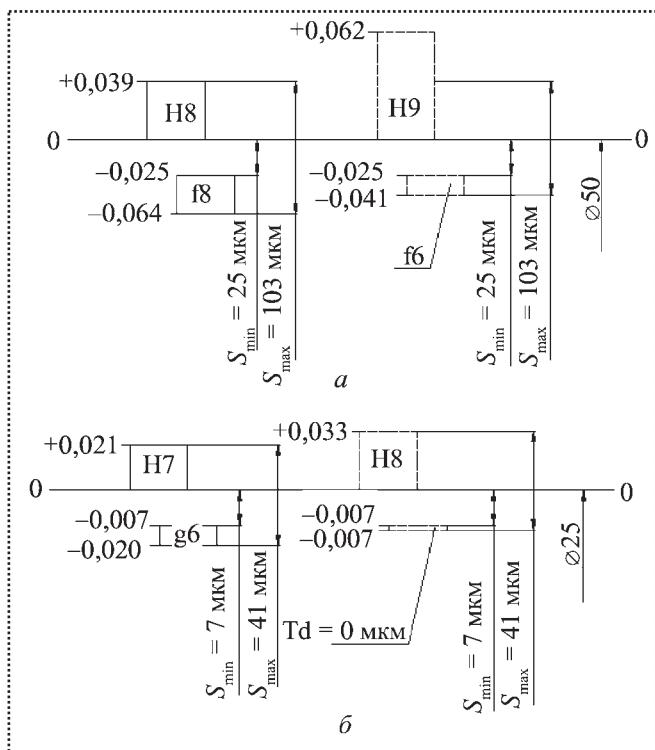
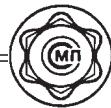


Рис. 4. Уменьшение поля допуска диаметра наружной цилиндрической поверхности вала при увеличении допуска диаметра отверстия до 6-го квалитета точности размера (а) и с "нулевым" допуском (б)

где  $TD$  и  $Td$  – допуски диаметров отверстия втулки и наружной цилиндрической поверхности вала по чертежу соответственно.

Следовательно, в этом случае можно записать равенство:

$$ES' - EI' = TD + Td. \quad (4)$$

Таким образом, во втором рассматриваемом предельном случае увеличение допуска отверстия ограничено суммой заданных на чертеже допусков сопрягаемых поверхностей втулки и вала. Однако при этом зазор в соединении может быть обеспечен только методом сборки с пригонкой и в редких случаях – селективной сборкой.

#### *Расчет предельных отклонений размеров для соединения с гарантированным зазором при изменении величин и расположения полей допусков*

Определим расчетные зависимости для случая одновременного изменения значения и расположения поля допуска размера наружной цилиндрической поверхности вала (рис. 5).

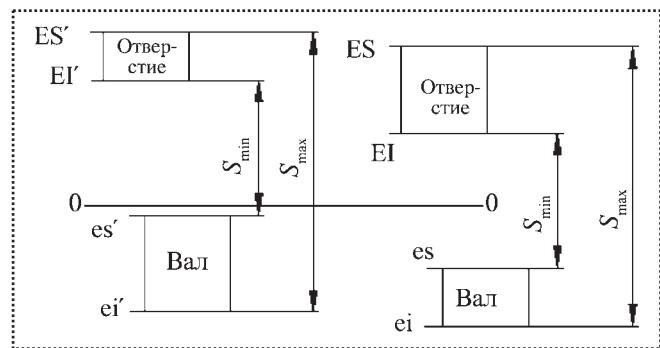


Рис. 5. Одновременное изменение значения и расположения поля допуска диаметра наружной цилиндрической поверхности вала

Нижнее предельное отклонение отверстия определим исходя из формулы расчета минимального зазора в соединении:

$$S_{\min} = EI - es = EI' - es'.$$

Тогда

$$EI' = EI - es + es'. \quad (5)$$

На основе формулы расчета максимального зазора в соединении

$$S_{\max} = ES - ei = ES' - ei'$$

рассчитаем верхнее предельное отклонение диаметра отверстия:

$$ES' = ES - ei + ei'. \quad (6)$$

В предельном случае при  $ES' - EI' = TD' = 0$  с учетом формулы (3) получим:

$$\begin{aligned} S_{\max} - S_{\min} &= (TD' - ei') - (TD' - es') ; \\ S_{\max} - S_{\min} &= es' - ei' ; \\ es' - ei' &= Td + TD. \end{aligned} \quad (7)$$

Из приведенных рассуждений видно, что выражение (1) аналогично выражению (5), выражения (2) и (4) – выражениям (6) и (7) соответственно и отражают специфику расчетной схемы.

#### *Методики определения величин допусков и предельных отклонений размеров деталей для обеспечения гарантированного зазора в соединении*

Для определения измененных полей допусков и предельных отклонений размеров деталей предлагаются методики для двух случаев: поля допусков

назначены или в системе вала, или в системе отверстия, исходя из того, какая из сопрягаемых поверхностей является более ответственной.

Первая методика соответствует случаю, когда наиболее ответственной поверхностью является отверстие:

- 1) выбирают оптимальный метод обработки отверстия, доступный на рассматриваемом производстве и определяют (по справочнику или проведя эксперимент) допуск  $Td'$  и предельные отклонения  $ES'$ ,  $EI'$  размера отверстия обрабатываемой заготовки (или ремонтируемой детали);

- 2) рассчитывают допуск  $Td'$  и предельные отклонения  $es'$ ,  $ei'$  размера наружной цилиндрической поверхности сопрягаемой детали, обеспечивающие заданный на чертеже зазор в соединении;

3) определяют, возможно ли обеспечение рассчитанных параметров точности наружной цилиндрической поверхности в рассматриваемых условиях;

4) если обеспечение рассчитанных параметров точности наружной цилиндрической поверхности возможно, обрабатывают сопрягаемые поверхности деталей в соответствии с требованиями, определенными в п. 1 и 2;

5) если обеспечение требуемой точности невозможно, то принимают решение об обеспечении заданного гарантированного зазора в соединении методом селективной сборки либо решение о закупке нового СТО, обеспечивающего обработку сопрягаемых поверхностей с допуском и предельными отклонениями размеров, определенными в п. 1 и 2.

Алгоритм расчета полей допусков сопрягаемых поверхностей в системе отверстия представлен блок-схемой, изображенной на рис. 6.

Так как вариантов обработки наружной цилиндрической поверхности больше за счет возможности подбора не только метода, но и режимов обработки, вторая методика для случая, когда ответственной поверхностью является наружная цилиндрическая (вал), выглядит следующим образом:

- 1) выбирают оптимальный метод обработки наружной цилиндрической поверхности, доступный на рассматриваемом производстве, и определяют (по справочнику или проведя эксперимент) допуск  $Td'$  и предельные отклонения  $es'$ ,  $ei'$  размера наружной цилиндрической поверхности обрабатываемой заготовки (или ремонтируемой детали);

- 2) рассчитывают допуск  $TD'$  и предельные отклонения  $ES'$ ,  $EI'$  размера отверстия сопрягаемой детали, обеспечивающие заданный на чертеже зазор в соединении;

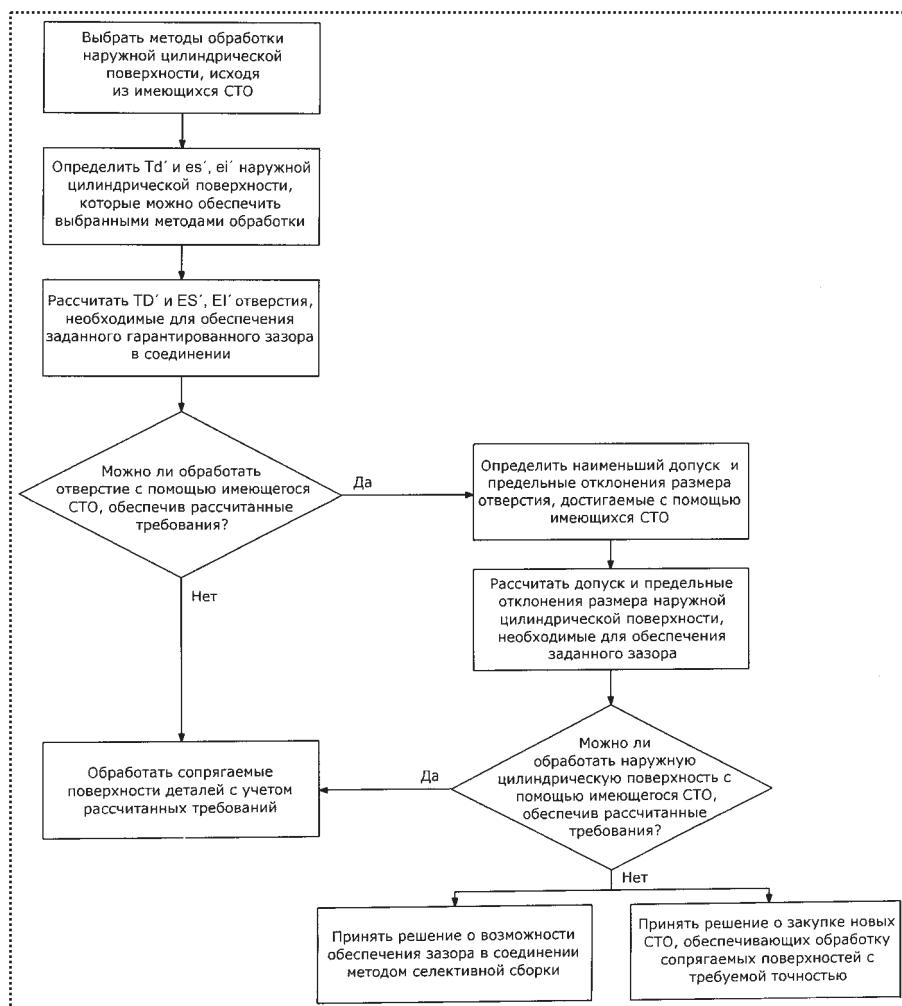


Рис. 6. Алгоритм расчета полей допусков сопрягаемых поверхностей в системе отверстия

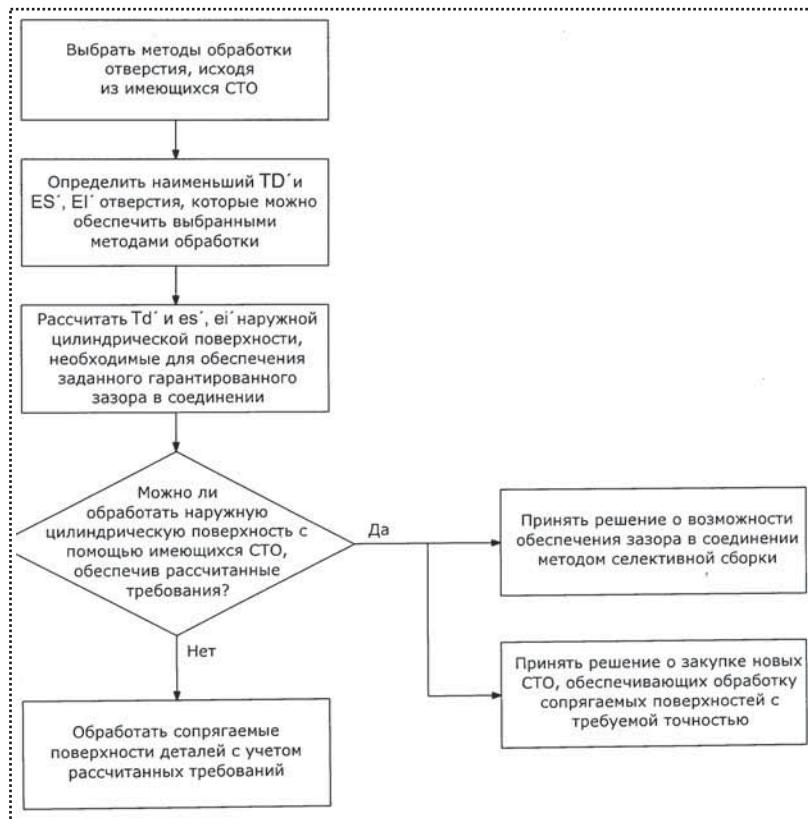


Рис. 7. Алгоритм расчета полей допусков сопрягаемых поверхностей в системе вала

- 3) определяют, возможно ли обеспечение рассчитанных параметров точности отверстия в рассматриваемых условиях;
- 4) если обеспечение рассчитанных параметров точности отверстия возможно, обрабатывают сопрягаемые поверхности деталей в соответствии с назначенными требованиями;
- 5) если обеспечение рассчитанных параметров точности отверстия невозможно, определяют наименьший допуск  $TD''$  и соответствующие предельные отклонения  $ES''$ ,  $EI''$  размера отверстия, достижимые на рассматриваемом производстве;
- 6) рассчитывают поле допуска  $Td''$  и предельные отклонения  $es''$ ,  $ei''$  размера наружной цилиндрической поверхности, соответствующие параметрам точности размера отверстия, определенным в п. 5;

7) определяют, возможна ли обработка наружной цилиндрической поверхности в соответствии с параметрами точности, рассчитанными в п. 6 на рассматриваемом предприятии;

8) если обработка наружной цилиндрической поверхности в соответствии с параметрами точности, рассчитанными в п. 6, возможна, возвращаются к п. 4;

9) если обработка наружной цилиндрической поверхности в соответствии с параметрами точности, рассчитанными в п. 6, невозможна, то следует принять решение об обеспечении заданного гарантированного зазора в соединении методом селективной сборки либо решение о закупке новых СТО, обеспечивающих обработку сопрягаемых поверхностей с допуском и предельными отклонениями размеров, определенными в п. 1 и 2 (либо в п. 5 и 6).

Алгоритм расчета полей допусков сопрягаемых поверхностей в системе вала представлен на рис. 7.

## Выходы

*В условиях ремонтного производства или вынужденной инструментальной ограниченности возникает необходимость изменять значение и расположение полей допусков сопрягаемых поверхностей. При этом требуемый гарантированный зазор в соединении можно обеспечить, изготовив ответную деталь с размером и расположением поля допуска, рассчитанным в соответствии с предложенными алгоритмами по предложенным зависимостям (1)–(4) для вала и (5)–(7) для отверстия. Ограничением получаемого поля допуска являются возможности технологических методов обработки поверхностей.*

## Библиографический список

1. Mitsubishi materials. Carbide&ToolDivision / Mitsubishi materials group. URL: <http://www.mitsubishicarbide.com/EU/ru>.

УДК 658.527.011

**А.А. Иванов, д-р техн. наук (Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева)**  
E-mail: ivanov\_aa@nntu.nnov

## Моделирование объектов автоматизированного производства на основе теории массового обслуживания

В системе массового обслуживания установлена оптимальная зависимость между числом каналов обслуживания и их производительностью, предполагающая минимизацию затрат и потерь, связанных с простоями технологического оборудования. Предложена методика расчета вероятностей состояний системы массового обслуживания, позволяющая быстро вычислять их по заданным входным и выходным характеристикам, что важно при проектировании отказоустойчивых автоматизированных комплексов и линий.

*Some optimal dependence between the number of some service channels and their productivity is established. It proposes as a result to minimize expenditures of labour and some losses connected with the technological equipment standing idle.*

*It is possible, for example to fulfil the base equation solution for mass service system with two states with the help of the total probability formula. By analogy such equations for more complicated mass service system can be solved with the help of numerical computation. As a result, if input and output characteristics of the stationary mass service system are given it is possible to computerize some probabilities of its states rather quickly. It should be noted it is very important while designing fault-tolerant automated complexes and lines.*

**Ключевые слова:** система массового обслуживания, вероятность состояния системы, интенсивности заявок и обслуживания, дисциплина очереди.

**Keywords:** mass service system, system state probability, intensity of orders and service, queue discipline.

Теория массового обслуживания изучает процессы, связанные с удовлетворением массового спроса на обслуживание технических объектов или людей с учетом случайных спроса и предложения. Поэтому работа системы массового обслуживания (СМО) протекает нерегулярно: то образуется оче-

редь заявок на обслуживание, то начинают простаивать каналы обслуживания (технические устройства, приборы).

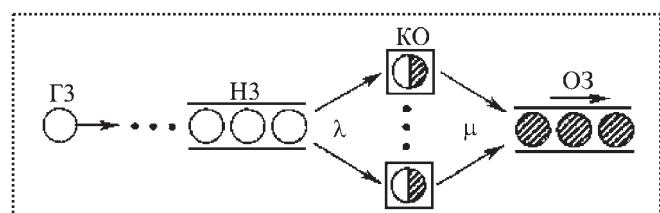
Основная задача теории массового обслуживания – установить оптимальную зависимость между числом каналов обслуживания и их производительностью. Оптимальная зависимость предполагает минимизацию затрат на каналы обслуживания и потерь, связанных с простоями технологического оборудования в очереди на обслуживание и с простоями каналов обслуживания. Обобщенная схема СМО показана на рис. 1. Математическая модель СМО может быть представлена в виде ориентированного графа, вершины которого есть состояния системы, а на дугах графа указаны входные  $\lambda$  и выходные  $\mu$  характеристики (рис. 2).

Для построения математической модели СМО необходимо иметь следующие исходные данные:

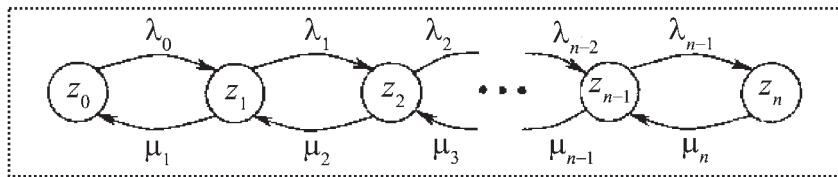
- интенсивность потока заявок, т.е. среднее число заявок в единицу времени

$$\lambda = \frac{1}{t_{cp}}, \text{ ч}^{-1},$$

где  $t_{cp} = \frac{\sum_i t_i}{n}$  – среднее время между заявками ( $n$  – число наблюдений);



**Рис. 1. Обобщенная схема СМО:**  
ГЗ – генератор заявок; НЗ – накопитель заявок; КО – каналы обслуживания; ОЗ – обслуженные заявки;  $\lambda$  и  $\mu$  – характеристики входного и выходного потоков заявок

Рис. 2. Пример графа СМО с  $n$  состояниями

- интенсивность обслуживания, т.е. среднее число обслуженных заявок в единицу времени

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{об}}}, \text{ ч}^{-1},$$

где  $t_{\text{об}} = \frac{\sum_i^n t_i}{n}$  — среднее время обслуживания заявки;

- процедура обслуживания (дисциплина очереди): живая очередь (первым пришел — первым обслужен) или срочное обслуживание (по шкале приоритетов).

При этом учитывают приоритет обслуживания заявки:

- относительный приоритет — поступившая заявка начинает обрабатываться только когда закончится обслуживание предыдущей заявки;
- абсолютный приоритет — поступившая заявка начинает обрабатываться сразу (обслуживание предыдущей заявки прерывается).

Принимая допущение, что все интенсивности  $\lambda$  и  $\mu$  в модели СМО являются простейшими (пуассоновскими), заключаем, что процесс функционирования системы представляет собой марковский случайный процесс [1–4]. Как известно, в простейшем потоке событий число заявок  $k$  за время  $t$  распределается по закону Пуассона

$$P_t(k) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}.$$

Заявки поступают в систему в случайные моменты времени, причем вероятность поступления одной заявки  $P_i(t)$  в интервале времени от  $t$  до  $t + \Delta t$  равна  $P_i(t) = \lambda \Delta t$  и не зависит от  $t$ . Вероятность появления в этом интервале двух и более заявок пренебрежимо мала.

Длительности обслуживания отдельных заявок предполагаются также случайными величинами с экспоненциальным законом распределения. Это свидетельствует о том, что вероятность окончания обслуживания очередной заявки в промежутке вре-

мени от  $t$  до  $t + \Delta t$  не зависит от времени  $t$  и равна  $P_{\text{об}}(t) = \mu \Delta t$ .

Базовые уравнения СМО используют для вычисления вероятностей состояний системы во время переходного и установившегося (стационарного) режима. Переходный процесс характеризуется пошаговым изменением вероятностей состояний системы от начального к установившемуся.

Сначала рассмотрим минимальный граф СМО с двумя возможными состояниями (рис. 3).

Расчет вероятностей состояний системы за период  $\Delta t$  проведем, считая потоки пуассоновскими. Рассмотрим возможные ситуации.

1. Вероятность пребывания системы в состоянии  $z_0$  в момент  $t$  равна  $P_0(t)$ . Это означает, что в момент  $t$  и за период  $\Delta t$  в систему не поступило ни одной заявки.

2. Для определения вероятности перехода системы из состояния  $z_0$  в  $z_1$  при поступлении заявки в период  $\Delta t$  сначала найдем вероятность поступления заявки в систему за период  $\Delta t$  (аналогично вероятности появления отказа):

$$1 - e^{-\lambda_0 \Delta t} = 1 - (1 - \lambda_0 \Delta t) = \lambda_0 \Delta t,$$

где  $e^{-\lambda_0 \Delta t} \approx 1 - \lambda_0 \Delta t$  — вероятность непоступления заявки.

Тогда вероятность перехода системы из состояния  $z_0$  в  $z_1$  по теореме умножения вероятностей будет равна  $-P_0(t) \lambda_0 \Delta t$ . Знак минус показывает уменьшение вероятности состояния  $z_0$ .

3. Для определения вероятности перехода системы из состояния  $z_1$  в  $z_0$  при обслуживании заявки за период  $\Delta t$  определим вероятность пребывания системы в состоянии  $z_1$  —  $P_1(t)$ . Тогда вероятность обслуживания заявки за период  $\Delta t$  будет

$$1 - e^{-\mu_1 \Delta t} = 1 - (1 - \mu_1 \Delta t) = \mu_1 \Delta t.$$

Отсюда вероятность перехода системы из  $z_1$  в  $z_0$  по теореме умножения вероятностей будет равна  $P_1(t) \mu_1 \Delta t$ . Знак "плюс" показывает увеличение вероятности состояния  $z_0$ .

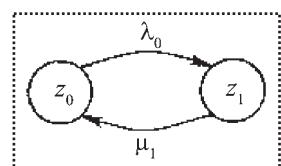


Рис. 3. Граф СМО с двумя состояниями

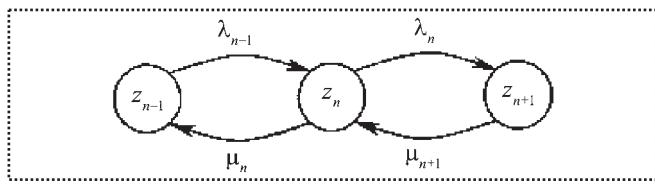


Рис. 4. Граф СМО с тремя состояниями

Вероятность состояния системы, включающего все три ситуации, находим по теореме сложения вероятностей:

$$P_0(t + \Delta t) = P_0(t) - P_0(t)\lambda_0 \Delta t + P_1(t)\mu_1 \Delta t.$$

Перенесем  $P_0(t)$  влево и разделим на  $\Delta t$ :

$$\frac{\Delta P_0(t)}{\Delta t} = -P_0(t)\lambda_0 + P_1(t)\mu_1.$$

Переходя к пределу при  $\Delta t \rightarrow 0$ , получим первое дифференциальное уравнение Колмогорова:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -P_0\lambda_0 + P_1\mu_1.$$

Теперь рассмотрим граф СМО с тремя состояниями, считая, что в момент  $t + \Delta t$  в системе находится  $n$  заявок (рис. 4).

Перечислим возможные ситуации СМО.

1. Вероятность пребывания системы в состоянии  $z_0$  в момент  $t$  будет равна  $P_n(t)$ . Число заявок в системе не меняется и равно  $n$ .

2. Вероятность перехода системы из состояния  $z_n$  в  $z_{n+1}$  при поступлении заявки за период  $\Delta t$  будет равна  $-P_n(t)\lambda_n \Delta t$ .

3. Вероятность перехода системы из состояния  $z_n$  в  $z_{n-1}$  при обслуживании заявки за время  $\Delta t$  определяется как  $-P_n(t)\mu_n \Delta t$ .

4. Вероятность перехода системы из состояния  $z_{n-1}$  в  $z_n$  при поступлении заявки за время  $\Delta t$  будет равна  $P_{n-1}(t)\lambda_{n-1} \Delta t$ .

5. Вероятность перехода системы из состояния  $z_{n+1}$  в  $z_n$  при обслуживании заявки за время  $\Delta t$  определяется как  $P_{n+1}(t)\mu_{n+1} \Delta t$ .

Вероятность состояния системы, включающего все 5 ситуаций, находим по теореме сложения вероятностей:

$$P_n(t + \Delta t) = P_n(t) - P_n(t)\lambda_n \Delta t - P_n(t)\mu_n \Delta t + P_{n-1}(t)\lambda_{n-1} \Delta t + P_{n+1}(t)\mu_{n+1} \Delta t.$$

Перенесем  $P_n(t)$  влево, разделим на  $\Delta t$  и, переходя к пределу при  $\Delta t \rightarrow 0$ , получим второе дифференциальное уравнение Колмогорова:

$$\frac{dP_n(t)}{dt} = -P_n(\lambda_n + \mu_n) + P_{n-1}\lambda_{n-1} + P_{n+1}\mu_{n+1}.$$

Решение этих уравнений производится численными методами на ЭВМ. Однако решение первого уравнения для СМО с двумя состояниями может быть выполнено с помощью формулы полной вероятности:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n p(B_i) p_{B_i}(A),$$

где  $P(A)$  – полная вероятность появления события  $A$ ;

$p(B_i)$  – безусловная вероятность;

$p_{B_i}(A)$  – условная вероятность.

Событие  $A$  может наступить лишь при появлении одного из несовместных событий  $B_i$ .

Приведем пример расчета вероятностей для минимального графа СМО с заданными числовыми характеристиками (рис. 5).

Произвольно зададим распределение вероятностей на нулевом шаге  $n=0$  (начальный момент):

$p_{n=0} = (1,0)$ , т.е.  $p_{16} = 1$  и  $p_{26} = 0$  (это безусловные вероятности).

Для первого шага ( $n = 1$ ) находим:

$$p_{n=1}(z_1) = p_{16} p_{1y} + p_{26} \mu_2 = 1 \cdot 0,8 + 0 \cdot 0,6 = 0,8,$$

где  $p_{1y} = 0,8$  и  $\mu_2 = 0,6$  – условные вероятности ( $\mu_2$  увеличивает вероятность пребывания системы в состоянии  $z_1$ );

$$p_{n=1}(z_2) = p_{26} p_{2y} + p_{16} \lambda_1 = 0 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,2 = 0,2.$$

Для второго шага ( $n = 2$ ) расчет ведем с учетом новых значений безусловных вероятностей  $p_{n=1}(0,8; 0,2)$ :

$$p_{n=2}(z_1) = 0,8 \cdot 0,8 + 0,2 \cdot 0,6 = 0,76.$$

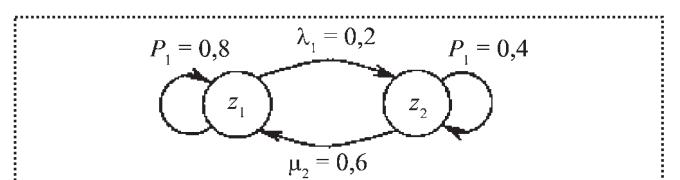


Рис. 5. Минимальный граф СМО с заданными числовыми характеристиками



$$p_{n=2}(z_2) = 0,2 \cdot 0,4 + 0,8 \cdot 0,2 = 0,24.$$

Уже при  $n = 5$  имеем  $p_{n=5}(z_1) = 0,75008$  и  $p_{n=5}(z_2) = 0,24992$ .

При  $n \rightarrow \infty$  получим предельные значения вероятностей, характерные для установившегося состояния системы:

$$p_n(z_1) = 0,75; \quad p_n(z_2) = 0,25.$$

Проведем проверку:  $p_1 + p_2 = 0,75 + 0,25 = 1$ .

Вероятности переходов независимы от начального состояния системы. Пусть начальное состояние будет характеризоваться величиной  $p_{n=0} = (0, 1)$ , т.е.  $p_{16} = 0$  и  $p_{26} = 1$ . Тогда для  $n = 1$  имеем:

$$P_{n=1}(z_1) = 0 \cdot 0,8 + 1 \cdot 0,6 = 0,6;$$

$$P_{n=1}(z_2) = 1 \cdot 0,4 + 0 \cdot 0,2 = 0,4,$$

а для  $n = 2$ :

$$p_{n=2}(z_1) = 0,72; \quad p_{n=2}(z_2) = 0,28$$

и т.д. до  $p_1 = 0,74976$  и  $p_2 = 0,25024$ . В установившемся режиме вероятности состояний системы не меняются  $p_n(t) = \text{const}$ , производная  $dp_n(t)/dt = 0$  и дифференциальные уравнения Колмогорова превращаются в алгебраические:

$$p_0 \lambda_0 = p_1 \mu_1; \quad p_n(\lambda_n + \mu_n) = p_{n-1} \lambda_{n-1} + p_{n+1} \mu_{n+1}.$$

Последовательно задавая  $n = 1, 2, \dots$  во втором уравнении, получим систему

$$p_0 \lambda_0 = p_1 \mu_1; \quad p_1 \lambda_1 = p_2 \mu_2; \dots \quad p_n \lambda_n = p_{n+1} \mu_{n+1}.$$

Например, при  $n = 1$  имеем

$$p_1(\lambda_1 + \mu_1) = p_0 \lambda_0 + p_2 \mu_2.$$

Подставляя в это уравнение  $p_0 \lambda_0 = p_1 \mu_1$ , получим  $p_1 \lambda_1 = p_2 \mu_2$ .

Из полученной системы найдем значения вероятностей:

$$p_1 = p_0 \frac{\lambda_0}{\mu_1}; \quad p_2 = p_0 \frac{\lambda_0 \lambda_1}{\mu_1 \mu_2}; \dots; \quad p_n = p_0 \frac{\lambda_0 \lambda_1 \dots \lambda_{n-1}}{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_n}.$$

При вычислении  $p_i$  необходимо дополнительно использовать условие

$$p_0 + p_1 = 1, \quad \text{откуда } p_1 = 1 - p_0.$$

Используя полученные уравнения установившегося режима, вычислим предельные значения

вероятностей  $p_1$  и  $p_2$  СМО с двумя состояниями (см. рис. 5):

$$p_2 = p_1 \frac{\lambda_1}{\mu_2} \quad \text{и} \quad p_1 = 1 - p_2.$$

Подставив  $p_1$  в первое уравнение, получим

$$p_2 = (1 - p_2) \frac{\lambda_1}{\mu_2},$$

откуда

$$p_2 = \frac{\lambda_1}{\mu_2 + \lambda_1} = 1/4 = 0,25 \quad \text{и} \quad p_1 = 1 - 0,25 = 0,75.$$

Как видим, эти значения вероятностей  $p_1$  и  $p_2$  совпадают со значениями, полученными с помощью формулы полной вероятности.

Таким образом, задавая входную  $\lambda$  и выходную  $\mu$  характеристики стационарной СМО с двумя состояниями, можно легко вычислять вероятности состояний системы, что важно при проектировании отказоустойчивых автоматизированных комплексов и линий.

## Выход

*Предложена методика расчета вероятностей состояний СМО, позволяющая установить оптимальную зависимость между числом каналов обслуживания и их производительностью. Данная методика предполагает минимизацию затрат на каналы обслуживания и потерь, связанных с простоями технологического оборудования. Результаты моделирования используют для структурного и параметрического синтеза технической системы с оптимизацией ее по важнейшим параметрам: производительности, надежности, экономической эффективности.*

## Библиографический список

1. Иванов А.А. Автоматизация технологических процессов и производств. М.: Форум, 2011. 224 с.
2. Имитационное моделирование в оперативном управлении производством / Н.А. Саломатин и др. М.: Машиностроение, 1984. 208 с.
3. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. М.: Высшая школа, 1975. 333 с.
4. Зельдович Я.Б., Мышкин А.Д. Элементы прикладной математики. М.: Наука, 1965. 616 с.



УДК 621.757:519.827.7

**М.В. Полякова, магистр, Л.А. Рабинович, канд. техн. наук,  
А.А. Плешаков, А.Ю. Горелова, магистры, М.Г. Кристаль, д-р техн. наук**  
(Волгоградский государственный технический университет)  
E-mail: crystar@mail.ru

## Технологические особенности пригонки деталей для прецизионной сборки

Рассмотрена возможность снижения объема незавершенного производства при сборке прецизионных изделий, что достигается специально организованной обработкой охватываемых деталей. Приведен алгоритм и результаты моделирования процесса пригонки деталей. Установлено, что объем незавершенного производства может быть сведен к минимуму как при нормальном, так и при произвольном законах распределения размеров сопрягаемых поверхностей.

*The possibility of reducing the volume of work in process discussed at precision products assembly. This is achieved by processing specially organized male parts. It is established that the volume of work in process can be kept to a minimum, both in normal and in an arbitrary law of the size distribution of the mating surfaces.*

**Ключевые слова:** пригонка, сборка, сопрягаемые поверхности, прецизионное изделие, закон распределения размеров.

**Keywords:** fitting, assembly, mating surfaces, precision product, law of the size distribution.

Технологию сборки прецизионных изделий реализуют на принципах групповой взаимозаменяемости, что обуславливает необходимость размерного подбора деталей для образования сборочного комплекта.

Зачастую размерное комплектование деталей приводит к образованию так называемого **незавершенного производства** (НП). Его объем зависит от значений параметров распределений размеров сопрягаемых поверхностей и достигает значений, соизмеримых с объемами собираемой продукции. Объем незавершенного производства может быть уменьшен за счет соответствующей организации размерной обработки сопрягаемых поверхностей.

Рассмотрим, как этого можно достичнуть на примере сборки с групповой взаимозаменяемостью (ГВ) гладких прецизионных цилиндрических соединений.

Сопрягаемые поверхности прецизионной пары имеют одинаковый номинальный размер, но обрабатывают их по-разному: вал изготавливают точнее отверстия на один или даже два квалитета. Чтобы при этом в сборке участвовали все детали, изготовленные в пределах назначенных допусков, групповые допуски у отверстий  $\Delta_A^{rp}$  будут шире групповых допусков вала  $\Delta_B^{rp}$  в отношении:

$$\Delta_A^{rp} = \frac{\delta_A}{\delta_B} \Delta_B^{rp}, \quad (1)$$

где  $\delta_A$  и  $\delta_B$  – поля допусков у диаметров сопрягаемых поверхностей отверстия и вала. В этом случае незавершенное производство не возникает, но точность соединений, образованных из одноименных групп деталей, будет различаться и выходить за допустимые пределы. При этом появится дополнительная доля бракованных узлов, тем большая, чем выше требования к точности сборки [1].

В этом случае, чтобы не допустить появления брака, валы должны быть изготовлены в пределах всего поля допуска менее точно изготовленных отверстий. А оборудование, на котором обрабатывают сопрягаемые поверхности валов, следует подвергнуть размерной перенастройке. При этом для партии валов, изготавливаемых с несколькими ( $k$ ) перенастройками, выполняют размерную пригонку под распределение размеров отверстий.

Метод пригонки применяют в единичном и мелкосерийном производстве. Пригонку сопрягаемых деталей можно выполнять их сопряженной обработкой с последующей сборкой прецизионных соединений с групповой взаимозаменяемостью.

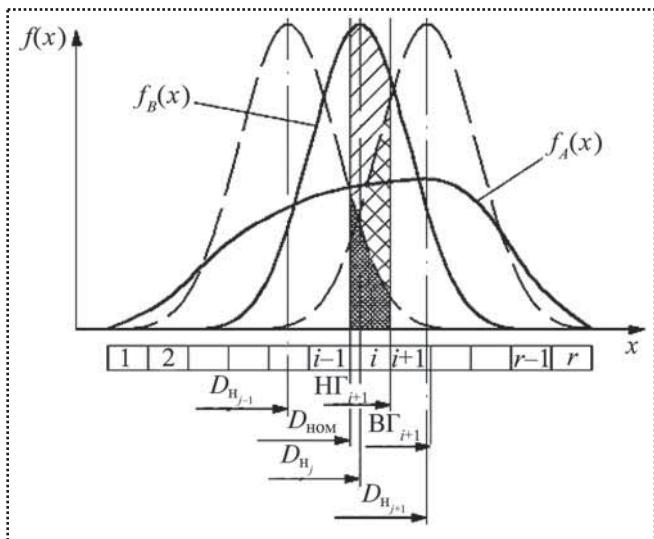


Рис. 1. Плотности вероятности размеров сопрягаемых поверхностей

Схема реализации сопряженной обработки партий деталей представлена на рис. 1. Здесь плотности вероятности размеров сопрягаемых поверхностей отверстий  $f_A(x)$  и валов  $f_B(x)$ , изготавливаемых по  $k$  настроечным размерам  $D_{H_j}$  ( $j = \overline{1, k}$ ), назначенных определенным образом относительно номинального диаметра  $D_{\text{ном}}$  соединения.

Очевидно, что в каждую  $i$ -ю ( $i = \overline{1, r}$ ) размерную группу валы будут изготовлены от каждого из  $j$ -х настроечных размеров числом, определяемым площадью под кривыми  $f_B(x)$ , ограниченной пределами  $i$ -й размерной группы. Поэтому число валов, изготавливаемых для  $i$ -й размерной группы, суммируют:

$$\frac{n_{B_i}}{N_A} = \sum_{j=1}^k g_j \left[ F\left(\frac{\text{ВГ}_i - D_{H_j}}{\sigma_B}\right) - F\left(\frac{\text{НГ}_i - D_{H_j}}{\sigma_B}\right) \right], \quad i = \overline{1, r}, \quad (2)$$

где  $n_{B_i}$  – относительное количество валов в  $i$ -й размерной группе;

$N_A$  – число отверстий в партии деталей, поступивших на сборку;

$g_j$  – относительное число валов, изготавливаемых по  $j$ -й настройке;

$F$  – функция Лапласа;

$\text{ВГ}_i$  и  $\text{НГ}_i$  – соответственно верхняя и нижняя границы  $i$ -й размерной группы валов;

$\sigma_B$  – среднеквадратическое отклонение распределения точности изготовления валов.

Для решения выражения (2) сначала задают значение  $k$  и назначают величину  $D_{H_j}$  ( $j = \overline{1, k}$ ). Тогда из выражения (2) берут  $k$  уравнений и рассчитывают величины  $g_j$ , задающие количественную программу изготовления валов для каждой настройки оборудования.

При этом следует выполнить следующие условия. В выражении (2) числу отверстий в селективных группах приравнивается сумма произведений числа валов с соответствующей настройкой, попадающих в данную селективную группу. Поэтому число уравнений в системе (2) равно числу  $r$  селективных групп отверстий. Число же перенастроек  $k \ll r$ . При этом возникает неопределенность в выборе условий для определения  $g_j$ .

Так как целью решения является минимизация объемов НП, то и значение  $g_j$  выбирают из ряда возможных решений по критерию минимума НП. Приближенное решение получено с применением функции *Minerr* в пакете *MathCAD*, минимизацией невязки системы уравнений.

Число  $k$  настроечных размеров устанавливают таким, при котором незавершенное производство будет уменьшено до допустимого объема. Начальным значением для расчета принимают  $k = 2$ .

Значения  $D_{H_j}$  устанавливают в пределах допусков наиболее насыщенных размерных групп парных деталей так, чтобы при настройке на размер валы обрабатывались пропорционально для двух смежных наиболее многочисленных групп отверстий, т.е. со сдвигом  $\delta_j$  относительно границы допуска между выбранными группами отверстий в сторону большей по численности группы (рис. 2), при котором выполняется условие:

$$\frac{n_{A_{i+1}}}{n_{A_i}} = \frac{F\left(\frac{\Delta_B^{\text{rp}}}{\sigma_B}\right) + F\left(\frac{\delta_j}{\sigma_B}\right)}{F\left(\frac{\Delta_B^{\text{rp}}}{\sigma_B}\right) - F\left(\frac{\delta_j}{\sigma_B}\right)},$$

откуда

$$F\left(\frac{\delta_j}{\sigma_B}\right) = \frac{n_{A_{i+1}} - n_{A_i}}{n_{A_{i+1}} + n_{A_i}} F\left(\frac{\Delta_B^{\text{rp}}}{\sigma_B}\right), \quad (3)$$

где  $\Delta_B^{\text{rp}}$  – протяженность группового допуска в размерной группе валов;  $\Delta_B^{\text{rp}} = \Delta_A^{\text{rp}}$ .

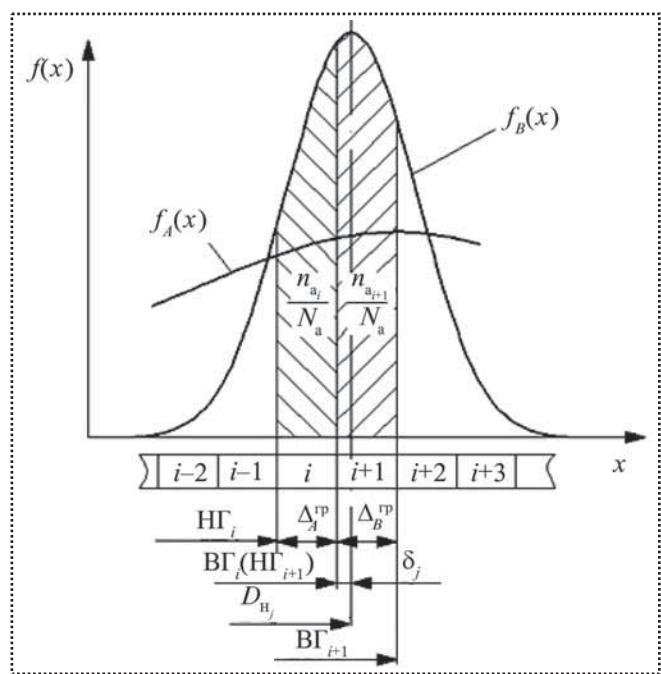


Рис. 2. Расчет величины  $D_{h_j}$

Тогда значение очередного настроичного размера

$$D_{h_j} = B\Gamma_i \pm \delta_j. \quad (4)$$

Знак "+" применяют, если значение плотности вероятности увеличивается по направлению счета, в обратном случае используют знак "-".

Очевидно, что разность между двумя смежными значениями настроичных размеров  $D_{h_j}$  и  $D_{h_{j+1}}$  должна превышать либо быть равной сумме значений двух групповых допусков вала:  $D_{h_{j+1}} - D_{h_j} \geq 2 \Delta_B^{\text{rp}}$ .

Номера  $i$  и  $i+1$  двух размерных групп отверстий могут быть назначены произвольно. Однако в последующих расчетах комбинации выбранных для расчета  $g_j$  номеров групп отверстий могут быть изменены и расчеты  $g_1$  и  $g_2$  повторены для оценки правильности полученных результатов.

Теперь при назначенных  $D_{h_1}$  и  $D_{h_2}$  и рассчитанных значениях  $g_1$  и  $g_2$  сортируют валы по селективным группам. Затем подсчитывают число неукомплектованных валов и от-

верстий (объем  $Q$  НП при данном варианте настройки размерной обработки валов).

Соответственно для случая двух настроек следует увеличить разность настроичных размеров обработки вала сначала на одну величину  $\Delta_B^{\text{rp}}$ , затем на две  $\Delta_B^{\text{rp}}$  и расчеты повторять до тех пор, пока объем незавершенного производства не перестанет уменьшаться. Таким образом, установлена технологическая возможность повышения собираемости прецизионных пар при двух настройках оборудования, что существенно снижает  $Q$ .

Аналогичные расчеты могут быть продолжены при трех, четырех и т.д. перенастройках  $D_{h_j}$  до тех пор, пока  $Q$  не достигнет минимального значения.

С увеличением числа перенастроек, при описанном ранее назначении настроичных размеров, изменяется  $Q$  (рис. 3). Для разности в точности изготовления вала и отверстия в один квалитет  $Q$  достигает минимального значения при пяти перенастройках; при разности в два квалитета — при семи перенастройках, приближая значения  $Q_{\min}$  к незначительной величине (1,8 и 0,5 % соответственно).

Для конкретного примера выборочного распределения, приведенного далее в таблице, расчетом удалось установить, что при  $k=6$   $Q_{\min}$  составит 1,5 % и при  $k=5$   $Q_{\min}$  составит 1,1 % для разницы в точности изготовления в один и два квалитета соответственно.

Для всех рассмотренных в примере случаях достигается почти полная сходимость распределений

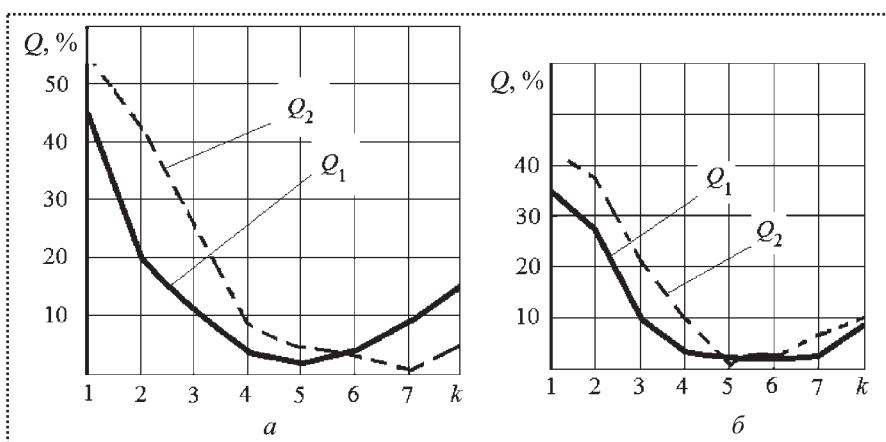


Рис. 3. Расчетные значения вероятности образования НП:  
а — нормальное распределение размеров отверстий; б — произвольное распределение размеров отверстий



### Результаты расчета параметров сопряженной обработки партии валов

Исходные данные		Для минимума НП		
Вид плотности вероятности партии отверстий	Соотношение точности обработки сопрягаемых поверхностей	$k$	Значения корректировки настроечных размеров, мкм	$Q, \%$
Нормальное	Вал точнее отверстия на один квалитет	5	-10; -5; 0; +5; +10	1,8
	Вал точнее отверстия на два квалитета	7	-11; -7; -3; +1; +5; +9; +12	0,5
Произвольное	Вал точнее отверстия на один квалитет	6	-11; -5; -2; +3; +8; +11	1,5
	Вал точнее отверстия на два квалитета	5	-11; -7; 0; +5; +10	1,1

размеров отверстий и суммарное для каждого  $k$  настроечных размеров распределений валов, что и объясняет результирующее существенное уменьшение  $Q$ .

Применение описанной методики и возможности программного расчета покажем на примере оптимизации изготовления валов на один и два квалитета точнее отверстий для случая, когда распределение отклонений диаметров отверстий подчиняется нормальному закону либо представлено в виде таблицы значений. Результаты расчета показаны в таблице.

Предложенный подход назначения и корректировки настроечных размеров обеспечивает значительное уменьшение или даже сведение к нулю вероятности появления НП как для нормального, так и для случая произвольного распределения размеров отверстий.

#### Библиографический список

1. Рабинович Л.А., Кесоян А.Г. Научное обоснование точности прецизионной продукции при межгрупповой взаимозаменяемости деталей в соединениях // Наука–производству. 2000. № 1. С. 27–32.

ООО "Издательство Машиностроение", 107076, Москва, Строгинский пер., 4

Учредитель ООО "Издательство Машиностроение".

Адрес электронной почты издательства: [mashpubl@mashin.ru](mailto:mashpubl@mashin.ru);

редакции журнала: [sborka@mashin.ru](mailto:sborka@mashin.ru), <http://www.mashin.ru>

Телефон редакции журнала: (499) 268-38-42;

тел./факс (499) 268-85-26; факс 269-48-97.

Технический редактор Жиркина С.А.

Корректоры Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.

Сдано в набор 11.07.13 г. Подписано в печать 28.08.13 г. Формат 60×88 1/8.

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

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

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



ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МАШИНОСТРОЕНИЕ



## ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА:

СПРАВОЧНИК

Колл. авт. под ред.  
К.Е. Демихова, Ю.В. Панфилова  
3-е изд. перераб. и доп., 590 с.: ил.

Цена 1100 р.

Содержит основные сведения по теории вакуума, расчету, конструированию и эксплуатации вакуумных систем и их элементов. Приведены физико-механические характеристики материалов, применяемых для изготовления элементов вакуумной аппаратуры, методы ее сборки и отладки, правила эксплуатации. Описаны приборы для измерения давления в вакуумных системах и контроля степени их негерметичности.

3-е издание (2-е изд. 1992 г.) дополнено разделами по вакуумным манипуляторам и механизмам, работающим в вакууме, безмасляным форвакуумным насосам, нераспыляемым газопоглотителям, а также сравнительными характеристиками отечественных и зарубежных средств получения вакуума и других элементов вакуумных систем.

Для инженерно-технических работников, занимающихся конструированием, производством и эксплуатацией вакуумных систем, может быть полезен студентам вузов.



Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Строгинский пер., 4;

по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: [realiz@mashin.ru](mailto:realiz@mashin.ru).

Телефоны: (499) 269-66-00, 269-52-98.

[WWW.MASHIN.RU](http://WWW.MASHIN.RU)