

*К 20-летию кафедры  
"Метрология, стандартизация  
и информационные системы"*

# **МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ**

Сборник научных трудов  
Республиканского научно-практического семинара  
«Метрология, стандартизация и управление качеством.  
Гармонизация деятельности в различных сферах  
интегрированной системы  
“Образование-наука-производство”»

Минск 2004

УДК 006 (063)  
ББК 30.10  
М 54

**Редакционная коллегия:**

**В.Л.Соломахо**, доктор технических наук, профессор (председатель);  
**П.С.Серенков**, кандидат технических наук, доцент (зам. председателя);  
**Б.В.Цитович**, кандидат технических наук, профессор;  
**К.И.Дадьков**, преподаватель

Кафедра "Стандартизация, метрология и информационные системы" выражает признательность за помощь в издании сборника ОАО "Центрэнерго-ремонт", НП РУП БелГИСС, ОАО "Горизонт", ПО "БелавтоМАЗ", КРУП "Научное приборостроение", БелОМО, РУП "ОС и ВТ"

М 54 Метрология, стандартизация и управление качеством: Сб. науч. тр. Республиканского науч.-практического семинара «Метрология, стандартизация и управление качеством. Гармонизация деятельности в различных сферах интегрированной системы "Образование-наука-производство"» / Редкол.: В.А.Соломахо (пред.) и др. – Мн.: БНТУ, 2004. – 174 с.

ISBN 985-479-139-4.

В данный сборник включены научные труды Республиканского научно-практического семинара «Метрология, стандартизация и управление качеством. Гармонизация деятельности в различных сферах интегрированной системы "Образование-наука-производство"». Все материалы семинара тематически сгруппированы в трех частях: "Метрология", "Управление качеством" и "Практическое использование в производстве и учебном процессе".

Сборник научных трудов предназначен для научных работников, преподавателей высших и средних технических учебных заведений, специалистов, занимающихся научно-исследовательской работой в области метрологии, стандартизации и управления качеством.

**УДК 006 (063)**  
**ББК 30.10**

ISBN 985-479-139-4

© БНТУ, 2004

## **Часть 1. МЕТРОЛОГИЯ**

### **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ НОРМИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ**

**В.Л.Соломахо**, доктор технических наук, профессор кафедры СМИС;  
**С.С.Соколовский**, кандидат технических наук, доцент кафедры СМИС;  
**Б.В.Цитович**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры СМИС;  
**Ю.Б.Спесивцева**, инженер кафедры СМИС;  
**О.А.Ленкевич**, преподаватель кафедры СМИС;  
**К.И.Дадыков**, преподаватель кафедры СМИС

Одним из эффективных механизмов повышения качества изделий машино- и приборостроения является рационализация процессов проектирования, изготовления и контроля изделий. В качестве одного из вариантов реализации этого механизма предлагается использовать оптимизацию нормирования и контроля геометрических параметров деталей по критерию обеспечения требуемых эксплуатационных показателей (характеристик) изделий при их минимальной технологической себестоимости. При этом можно выделить три возможных направления или пути достижения поставленной цели (рис.1). Рассмотрим эти пути более подробно.

#### **I. Оптимизация норм точности функциональных параметров изделий.**

При проектировании любого изделия приходится решать сложную комплексную задачу обеспечения требуемых эксплуатационных показателей при минимальной себестоимости изделия. Одним из эффективных путей ее решения является рационализация норм точности функциональных параметров изделий, определяющих их эксплуатационные показатели. В качестве варианта такой рационализации предлагается оп-

тимизация размерных цепей в процессе проектирования изделий [1 – 3]. Целью такой оптимизации является обеспечение требуемой точности исходных звеньев размерных цепей изделия при минимальной технологической себестоимости.

Задача определения норм точности составляющих звеньев размерных цепей требует разработки критериев, которые обеспечат точностные показатели исходных звеньев при минимальной технологической себестоимости получения всех звеньев цепи. Это может быть достигнуто рациональным повышением точности менее «затратных» звеньев и снижением точности более «затратных». В общем случае необходимо оптимизировать систему взаимосвязанных размерных цепей, причем задача усложняется, если некоторые составляющие звенья входят одновременно в несколько различных цепей.

Применяемые на практике методы определения точности составляющих звеньев при заданной точности исходных звеньев основаны на допущении, что равноточные звенья характеризуются примерно одинаковой технологической себестоимостью их реализации [4].



Рис. 1. Пути повышения качества изделий

Однако известно, что технологическая себестоимость отдельных звеньев размерных цепей зависит не только от их точности, но и от формы, размеров, физико-механических свойств материалов соответствующих элементов изделия и т.д. Поэтому использование традиционных методов проектирования норм точности составляющих звеньев размерных цепей не может (в общем случае) обеспечить оптимизацию системы размерных цепей по стоимостному критерию. Такая оптимизация частично реализуется только при использовании метода пробных расчетов (метода проб и ошибок). При этом зависимость стоимости от точности учитывается чисто интуитивно на основании опыта разработки и изготовления предшествующих конструкций изделий по принципу «так грубо, как только возможно».

Анализ литературных источников позволил выявить ряд методов оптимизации норм точности составляющих звеньев размерных цепей по стоимостному критерию [5]. Общим недостатком этих методов является отсутствие четкого, практически реализуемого механизма количественной оценки технологической себестоимости реализации различных составляющих звеньев размерных цепей в зависимости от их точности. Отправной точкой этих методов является посылка, что зависимость стоимости изготовления каждого составляющего звена от его точности уже известна и описывается аналитическими выражениями того или иного вида.

Вместе с тем способы определения постоянных параметров, входящих в эти зависимости, либо не приводятся вообще, либо их практическая реализуемость вызывает большие сомнения. Отсутствует методическое и информационное обеспечение способов их определения,

поскольку эти параметры существенно зависят от множества разнородных конструктивно-технологических факторов. Отмеченные недостатки явились одной из основных причин того, что на практике при проектировании изделий эти методы фактически не применяются.

Таким образом, при разработке практически любых подходов к оптимизации норм точности составляющих звеньев размерных цепей по стоимостному критерию с использованием количественных методов необходимо прежде всего создать эффективный механизм количественной оценки технологической себестоимости составляющих звеньев размерных цепей в зависимости от назначаемых норм точности. Основу функционирования такого механизма должны составлять как собственно методики оценки технологической себестоимости звеньев, так и информационное обеспечение этих методик. Такие методики и их информационное обеспечение должны быть ориентированы на решение поставленной задачи на этапе проектирования изделия, когда вопросы разработки технологических процессов его изготовления еще не решены. Очевидно, что в данном случае широко используемые на практике методы поэлементной оценки себестоимости технологических процессов непосредственно не могут быть использованы.

Состав, структурная организация, принципы построения, а также форма представления информационной базы во многом определяются особенностями методического обеспечения расчетов. Поэтому создание механизма количественной оценки технологической себестоимости звеньев целесообразно начинать с разработки ее методического обеспечения.

В настоящее время существуют различные методики количественной оценки технологической себестоимости изготовления деталей, которые могут быть использованы при наличии детальной информации о технологических процессах (применяемом технологическом оборудовании и оснастке, квалификации персонала, режимах резания и др.). Многовариантность технологий получения отдельных элементов деталей делает практически невозможным использование таких методик на этапе проектирования изделий.

Наиболее существенные типовые недостатки известных методик:

- методики, как правило, позволяют оценить себестоимость изготовления деталей (или их законченных конструктивно-технологических элементов) в целом, а не элементов размерных цепей;

- для выполнения расчетов на базе этих методик необходимо подробное знание элементов технологических процессов, что неизвестно на этапе проектирования изделия;

- влияние интересующих разработчика точностных характеристик звеньев размерных цепей на себестоимость их получения «замаскировано» и проявляется лишь через влияние этих характеристик на технологический процесс (в частности, на характеристики его отдельных составляющих);

- методики базируются на абсолютных стоимостных показателях (стоимости станков, технологической оснастки, режущего инструмента и т.д.), которые изменяются с течением времени.

В справочной литературе приводятся абсолютные значения стоимостных показателей, относящиеся к различным периодам времени. Очевидно, что в таком виде их нельзя использовать для оценки и сопоставления стоимости ре-

ализации отдельных составляющих звеньев размерных цепей. Анализ показывает, что для оптимизации размерных цепей в большинстве реальных ситуаций предпочтительно использовать согласованные относительные показатели.

Для достижения поставленной цели предлагается использовать обобщенный подход к оценке технологической себестоимости получения составляющих звеньев размерных цепей. В его основе лежит решение следующих задач:

- 1) типизация и классификация звеньев размерных цепей по конструктивно-технологическим признакам с выделением в каждой классификационной группе «базового» варианта (характеризуемого конкретными точностью, номинальным размером звена, геометрическими параметрами определяющими его элементы и их материалами, серийностью производства и т.п.);

- 2) разработка методик оценки относительной технологической себестоимости получения базовых звеньев каждой классификационной группы;

- 3) разработка методик оценки относительной технологической себестоимости получения звеньев каждой классификационной группы с учетом отличия их характеристик от характеристик базовых звеньев.

Решение каждой из этих задач требует разработки соответствующего аппарата. Значительную сложность представляет последняя из них. Для ее решения могут быть использованы, в частности, методы статистической обработки данных по технологической себестоимости изготовления деталей и их элементов, полученных:

- а) от предприятия (предприятий);

- б) методами экспертных оценок;

- в) с использованием специально разрабатываемой системы имитационного

моделирования технологической себестоимости (СИМТС) получения различных звеньев размерных цепей.

Каждый из этих подходов к получению указанных данных имеет свои преимущества и недостатки, поэтому наиболее перспективно их комплексное применение.

Реализация последнего из этих способов представляет, с нашей точки зрения, наибольший научный интерес. В качестве основных компонентов СИМТС можно выделить следующие:

- «генератор деталей», содержащих элементы звеньев размерных цепей;
- модуль оценки технологической себестоимости получения элементов звеньев;
- модуль сбора и систематизации данных о технологической себестоимости получения различных звеньев размерных цепей;
- модуль статистической обработки получаемых данных.

Основная функция генератора – моделирование деталей с элементами звеньев размерных цепей в соответствии с разработанным классификатором этих звеньев. Он должен обеспечить требуемую вариативность элементов по указанным ранее характеристикам.

В качестве второй из отмеченных компонент можно использовать элементы существующих, достаточно развитых САПР технологических процессов обработки деталей в машиностроении, включающие функции технического нормирования и определения технологической себестоимости получения элементов деталей. При отсутствии подходящей САПР может быть разработан специализированный модуль укрупненной оценки технологической себестоимости получения элементов звеньев размерных цепей,

ориентированный на решение поставленной задачи.

Основная функция третьей компоненты заключается в первичной обработке получаемой информации, группировании элементов по их характеристикам, формировании данных по технологической себестоимости получения звеньев и систематизации этих данных.

Модуль статистической обработки должен обеспечить определение интегральных зависимостей технологической себестоимости получения звеньев из каждой классификационной группы от их характеристик.

В основу построения таких зависимостей предлагается положить следующие принципы:

- технологическая себестоимость получения звена каждой классификационной группы рассматривается как функция технологической себестоимости получения базового варианта группы с учетом отличий характеристик конкретного звена от базового;
- себестоимость получения базового звена рассматривается как взвешенная сумма себестоимостей элементов этого звена, где весовые коэффициенты учитывают степень и характер вхождения элементов в различные звенья;
- используются относительные стоимостные показатели и коэффициенты относительной стоимости для перехода от базового варианта звена к любому конкретному;
- учитываются изменения абсолютных стоимостных показателей с течением времени.

Предлагаемые механизмы позволяют использовать оптимизацию нормирования геометрических параметров деталей по критерию обеспечения требуемых эксплуатационных показателей (харак-

теристик) изделий при их минимальной технологической себестоимости.

## **II. Оптимизация взаимосвязанных полей допусков и систем координат контролируемых элементов деталей.**

При использовании традиционного подхода к контролю геометрических параметров деталей каждый контролируемый параметр измеряется автономно в своей системе координат (плавающей или фиксированной) и ограничивается своим полем допуска, не связанным с полями допусков других геометрических параметров. Все это приводит к появлению в результатах измерений методических погрешностей систематического характера из-за несовпадения систем координат и, как результат, к увеличению количества неправильно принятых и неправильно забракованных деталей. Таким образом, некоторые функционально годные детали будут ошибочно относиться к группе бракованных деталей и наоборот. Чтобы повысить качество измерения геометрических параметров деталей предлагается использовать нетрадиционный подход к координатным измерениям и контролю, суть которого заключается в следующем.

Контролируемую деталь необходимо рассматривать как комплекс взаимосвязанных и взаимообусловленных реальных геометрических элементов (поверхностей, профилей, точек и т.д.), отделяющих ее от окружающей среды. Исходя из этого все элементы контролируемой детали или все контролируемые их геометрические параметры должны измеряться в одной фиксированной (жестко связанной с контролируемой деталью) системе координат, что несложно реализовать при использовании многомерных специальных или многокоординатных универсальных измерительных приборов (двух- и трехкоординатных). При этом

годной следует считать деталь, все реальные элементы которой могут быть “вписаны” между двумя ее предельными контурами, соответствующими максимуму материала и минимуму материала детали. Положение таких контуров может быть определено и описано аналитически в соответствии с заданными на чертеже детали полями допусков всех рассматриваемых элементов, представляемыми как некоторый комплекс взаимосвязанных и взаимообусловленных полей допусков детали.

Для проверки такого условия годности предлагается осуществлять оптимизацию системы координат детали (поиск оптимального пространственного расположения реальных элементов детали) с одновременным аналитическим перераспределением взаимосвязанных полей допусков (оптимизацией области или пространства допусков детали). Если при этом окажется возможным так перераспределить поля ее допусков и “расположить” контролируемую деталь, чтобы все ее реальные элементы “вписались” между “плавающими” предельными контурами, то такая деталь может считаться функционально годной. При использовании традиционного подхода к контролю эта же деталь может быть забракована по отдельным геометрическим параметрам или элементам.

Предлагаемый новый подход к контролю геометрических параметров деталей на базе координатных измерений предполагает совместное использование аналитического и экспериментального моделирования объекта измерения с привлечением компьютерной техники. Общий алгоритм решения любой измерительной задачи такого типа можно представить в виде следующего ряда последовательных этапов и операций.

1. Аналитическое описание комплексного поля допусков объекта измерения (построение нормативной аналитической модели контролируемой детали).

2. Измерение геометрических параметров контролируемой детали и получение экспериментальной метрологической модели объекта измерения.

3. Трансформация экспериментальной метрологической модели объекта измерения в аналитическую модель реального объекта (конкретной контролируемой детали).

4. Первичное сопоставление аналитической модели контролируемой детали с ее нормативной аналитической моделью (аналитическое “наложение” или “совмещение” моделей) с целью определения годности детали и при необходимости дальнейшей оптимизации ее системы координат.

5. Оптимизация системы координат контролируемой детали (аналитическое переориентирование или преобразование системы координат), осуществляемая совместно с одновременным перераспределением полей допусков ее геометрических параметров. Оптимизация расположения предельных контуров детали осуществляется с целью обеспечения наилучших (оптимальных) условий “совмещения” аналитической модели реальной детали и ее нормативной аналитической модели. Таким образом, кроме оптимизации системы координат контролируемой детали этот этап предполагает также некоторую допустимую корректировку ее первичной нормативной аналитической модели, суть которой состоит в оптимизации нормативной аналитической модели при условии обеспечения ее функциональной адекватности первичной нормативной аналитической модели.

6. Оценка результатов оптимизации системы координат контролируемой детали и ее нормативной аналитической модели (вторичное сопоставление аналитической модели детали и ее нормативной аналитической модели) и заключение о годности детали.

### **III. Оптимизация методик выполнения измерений функциональных геометрических параметров деталей.**

Подавляющее большинство измерительных задач в машиностроении и приборостроении связано с контролем геометрических параметров деталей (размеров, отклонений формы, расположения поверхностей и др.). Все измерения геометрических параметров по сути являются координатными и их можно разделить на однокоординатные и многокоординатные (двух- и трехкоординатные). Как однокоординатные, так и многокоординатные измерения могут осуществляться либо в плавающей, либо в фиксированной системе координат.

Анализ современного состояния координатных измерений показал, что при большом разнообразии методик таких измерений нет единых принципов, а также общей методологии проектирования методик и оценки методических погрешностей. Можно утверждать, что в настоящее время практически отсутствует целостная теория координатных измерений, и это является существенным сдерживающим фактором на пути дальнейшего развития данного вида измерений.

В основу общей методологии оптимизации координатных измерений геометрических параметров деталей предлагается положить впервые сформулированный, теоретически и экспериментально обоснованный принцип технологическо-метрологического соответствия или преемственности между операциями

контроля и механической обработки элементов деталей.

Результаты статистических исследований макрогеометрии реальных поверхностей деталей, полученных различными методами, позволяют утверждать, что конкретное технологическое оборудование, кинематика технологического процесса, условия базирования и закрепления заготовок, режущий инструмент и его геометрические параметры, а также ряд других повторяющихся от детали к детали факторов порождают статистически однородную совокупность получающихся профилей и поверхностей, имеющих индивидуальные случайные особенности.

В основе статистической устойчивости спектральных характеристик макрогеометрии реальных поверхностей лежит однотипность и достаточная стабильность технологических процессов их получения. Подтверждение стабильности технологических процессов с точки зрения формообразования изготавливаемых поверхностей – одна из основных предпосылок разработки оптимизированных методик координатных измерений. На основе априорной информации о технологических процессах появляется возможность использовать при координатном контроле геометрических параметров деталей адекватные аналитические модели их реальных поверхностей, воспроизводимых по результатам измерения координат минимально необходимого, но достаточного количества контролируемых точек.

Наибольшего эффекта от такой минимизации количества контролируемых точек реальных элементов деталей мож-

но достичь в случае оптимизации методик выполнения измерения и проектирования специальных многомерных (многощуповых) средств измерений.

Отличительной особенностью таких средств измерений является возможность получать измерительную информацию с необходимого числа контрольных точек трехмерных поверхностей деталей при относительно небольших перемещениях многощуповой измерительной головки по одной координате. Конструкция таких приборов исключает погрешности, связанные с большими перемещениями измерительной головки и неперпендикулярностью осей координат отсчетных устройств.

Специальные многомерные СИ строятся на модульных принципах. Они komponуются из унифицированных, конструктивно и функционально законченных блоков модулей: многощуповых блоков, модулей управляющих устройств, измерительных и вспомогательных перемещений, загрузочных устройств и др.

Экономичность производства и эксплуатации этих СИ достигается за счет применения многощуповых блоков, к точности которых не предъявляется особых требований. Их самоаттестация выполняется непосредственно на приборе с использованием образцовых деталей максимально простой конфигурации.

Разработанные принципы проектирования многомерных СИ и методик математической обработки поступающей с отсчетных устройств информации позволяют аналитически компенсировать погрешности, вызванные неточностью механических элементов конструкции.

## Литература

1. Фриндендер И.Г. Расчеты точности машин при проектировании. – Киев; Донецк: Вища школа, 1980. – 182 с.
2. BJORKE O. Computer-Aided Tolerance. – 2 nd ed. – New York: ASME Press, 1991.
3. ZEID I. Mechanical Tolerancing in CAD/CAM Theory and Practice. – New York: McGraw-Hill, 1991.
4. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Расчет допусков размеров. – М.: Машиностроение, 1981. – 189 с.
5. Бочкарев В.Н. Решение задач по экономической оптимизации допусков// Стандарты и качество. – 1980. – № 6. – С. 55-57.

## ВЫБОР ДОПУСТИМОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

**Б.В.Цитович**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры СМИС

При разработке методик выполнения измерений (МВИ) необходимо решить ряд задач, в том числе тех, которые определяют соответствие МВИ ряду основополагающих требований. К таким требованиям относятся:

- обеспечение точности измерений;
- обеспечение экономичности измерений;
- обеспечение представительности (валидности) результатов измерений;
- обеспечение безопасности измерений.

При метрологической экспертизе также необходимо проверять МВИ на соответствие этим требованиям.

Разработку МВИ в настоящее время регламентирует ГОСТ 8.010-99 (Межгосударственный стандарт. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения). В этом документе дано следующее определение: **методика выполнения измерений** — совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с известной по-

грешностью. В соответствии с этим определением под методикой выполнения измерений подразумевается документ, регламентирующий измерительную процедуру, которая обеспечивает получение требуемого результата.

В соответствии с ГОСТ 8.010-99 документы, регламентирующие МВИ, должны включать:

- требования к погрешности измерений или (и) приписанные характеристики погрешности измерений;
- требования к обеспечению безопасности выполняемых работ.

Вопросы обеспечения представительности (валидности) результатов измерений косвенно отражаются такими содержательными элементами, как операции при выполнении измерений, а также операции обработки и вычислений результатов измерений. Вопросы обеспечения экономичности измерений в стандарте непосредственного отражения не нашли, однако требования экономичности в любых процессах являются очевидными, даже если они непосредственно не сформулированы.

**Экономичность измерений** – не абсолютное требование. По этому критерию можно сравнивать только такие конкурирующие МВИ, которые гарантируют необходимую точность измерений. При оценке экономичности измерений учитывают производительность и себестоимость измерительной процедуры, необходимую квалификацию оператора, наличие конкурирующих средств измерений (СИ), цену универсальных СИ, стоимость разработки и изготовления нестандартизованного СИ, возможность многоцелевого использования данных СИ и др.

Обеспечение **представительности** (валидности) результатов измерений можно рассматривать в двух аспектах:

- обеспечение представительности результата при измерении определенной физической величины, принадлежащей объекту измерений;
- обеспечение представительности результатов измерений при измерительном контроле или исследовании свойств одного объекта либо группы однотипных объектов.

Понятие «представительность результатов измерений» имеет разное содержание при многократных измерениях одной и той же физической величины и при измерении номинально одинаковых физических величин, принадлежащих одному объекту или группе однотипных объектов.

При измерениях одной и той же ФВ с многократными наблюдениями фактически рассматривают **представительность многократной реализации конкретной методики выполнения измерений**. Если отвлечься от возможных методических погрешностей, достоверность результата связана с числом наблюдений при измерениях – чем больше (в разумных пределах) наблюде-

ний в серии, тем достовернее статистические оценки средних значений и границ случайной погрешности и тем более четко проявляются систематические составляющие погрешности измерений. Представительность результата измерений при многократных наблюдениях одной и той же физической величины зависит также от выбранной доверительной вероятности. Уровень представительности тем выше, чем больше вероятность накрытия истинного значения полученной интервальной оценкой.

Представительность измерений может оказаться неудовлетворительной из-за методических погрешностей, например, при измерении с однократными или многократными наблюдениями одной и той же физической величины неидеального объекта. Так, попытка измерения станковым прибором «диаметра» номинально цилиндрической детали в среднем сечении при наличии седлообразности реальной поверхности приведет к измерению высоты некоторой точки образующей этой поверхности над плоскостью рабочего стола. И если погрешность формы будет значительной, то большой окажется и методическая погрешность измерения. Результат измерений окажется неточным из-за методической составляющей погрешности и недостаточно представительным из-за несоответствия реального объекта измерения и модели объекта, положенной в основу методики выполнения измерений.

При измерительном контроле одного объекта либо группы однотипных объектов представительными могут считаться только те результаты, которые адекватно отражают исследуемые свойства объекта или группы объектов.

Насколько адекватно выбрана модель исследуемого объекта, как реализо-

вана экспериментальная модель объекта в ходе измерительного контроля, насколько правомочно распространение ограниченной измерительной информации на все исследуемое множество номинально одинаковых физических величин – вопросы, на которые должны ответить специально проводимые исследования.

При измерительном контроле, основанном на измерениях ряда номинально одинаковых физических величин одного объекта *представительными можно считать те результаты, которые с достаточной полнотой характеризуют исследуемый объект.*

Примерами соответствия "один объект – одна ФВ" являются масса тела, сопротивление резистора, температура плавления вещества. Ситуацию "один объект – множество номинально одинаковых физических величин" можно рассмотреть на примере таких геометрических параметров детали, как расстояние между номинально плоскими гранями или "диаметры" номинально цилиндрической поверхности в разных сечениях. Отличаются (пусть незначительно) коэффициенты преломления одной оптической детали, локальные плотности неоднородного материала, параметры твердости поверхности на разных участках после одинаковой термообработки и т.д.

Такая неидеальность объекта измерения может привести к нарушению представительности результатов, например из-за не обнаруженных при измерении экстремальных значений номинально одинаковых физических величин объекта. Так, если реальная поверхность шейки вала имеет конусообразную форму, то в продольном направлении можно ограничиться измерением двух крайних

сечений, а при бочкообразности необходимо добавить еще и среднее сечение.

В подобном случае представительность результатов зависит не только от числа и расположения контрольных сечений, но и от значения методических погрешностей измерений и обеспечивается только при их удовлетворительных (пренебрежимо малых) значениях. Очевидно, что в такой ситуации необходимо комплексное решение двух частных задач: обеспечение представительности (требуемой точности и модельного соответствия) *каждого результата измерений* и обеспечение *представительности (валидности) всех результатов* для достаточно полной характеристики объекта измерения.

Правильный выбор контрольных точек (контрольных сечений) позволяет получить адекватную модель контролируемого объекта.

Множество номинально одинаковых физических величин на множестве однородных объектов – массы однотипных деталей в партии, геометрические размеры их одинаковых поверхностей, твердость их одинаковых поверхностей, напряжения номинально одинаковых батареек, фокусные расстояния номинально одинаковых линз. Для таких параметров объектов серийного и массового производства часто применяют не сплошной, а выборочный измерительный контроль (его также называют «статистическим»). Результаты контроля параметров выборки распространяют на партию объектов.

Обеспечение представительности измерений номинально одинаковых физических величин, принадлежащих разным объектам, включает две очевидные составляющие: *представительность результатов измерений каждого из объ-*

### ***ектов и представительность выборки из партии объектов.***

При рассмотрении безопасности измерений следует анализировать опасности, связанные с измеряемым объектом, а также те, которые могут нести средства измерений. Объект измерений всегда несет на себе множество физических величин, причем некоторые из них могут быть опасными для оператора. Опасны явления, связанные с такими измеряемыми величинами, как высокое давление, механические и электрические напряжения, сила электрического тока, радиоактивность и многие другие. Источниками опасности в применяемых средствах измерений могут быть используемые для измерительных преобразований подвижные механические элементы, высокие давления и электрические напряжения, когерентные пучки оптических частот и другие энергетически насыщенные явления.

Обеспечение экологической безопасности – сравнительно новое требование, которое отсутствовало в предыдущей версии стандарта. Экологически вредные воздействия могут быть связаны, например, с накоплением в окружающей среде вредных веществ, которые используют при измерениях или которые входят в состав средств измерений, подлежащих утилизации. Для подготовки к измерениям часто используют такие вещества, как растворители, их не следует «сбрасывать» в окружающую среду. Утилизация разбитых ртутных термометров, сломанных дефектоскопов с источниками радиоактивного излучения и множества других средств измерений может оказаться серьезной задачей.

***Точность измерений*** является необходимым условием для использования их результатов. Несоблюдение этого условия делает невозможным получение

***действительного значения*** измеряемой физической величины и бессмысленным проведение измерений. В соответствии с РМГ 29-99 (Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения) ***действительное значение физической величины*** – значение физической величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

Как видно из определения, действительное значение физической величины – понятие, которое приобретает конкретный смысл только после постановки задачи измерений. Для одного и того же параметра объекта измерений оно может существенно различаться в зависимости от поставленной задачи, например, точность аттестации однозначной меры значительно выше требуемой точности ее приемочного контроля.

Если близость результата измерения к истинному значению измеряемой физической величины оценивать погрешностью измерений, то для характеристики действительного значения физической величины следует ввести понятие пренебрежимо малой погрешности. Пренебрежимо малой погрешностью измерений можно считать такую, которая не приведет к недопустимому искажению измерительной информации. Это характеристика качественная, а для количественной оценки пренебрежимо малой погрешности следует решить достаточно сложные задачи введения и применения специальных критериев.

Обеспечение точности измерений (в рамках оценки погрешностей) заключается в установлении требуемого соотношения допустимой погрешности измере-

ний  $[\Delta]$  и предельного значения реализуемой в ходе измерений погрешности  $\Delta$ :

$$\Delta \leq [\Delta].$$

В РМГ 29-99 есть термин **предельная погрешность измерения в ряду измерений** (*предельная погрешность*) – *максимальная погрешность измерения (плюс, минус), допускаемая для данной измерительной задачи. В примечании к определению сказано, что «во многих случаях погрешность  $3S$  принимают за предельную, то есть  $\Delta_{пр} = \pm 3S$ . При необходимости за предельную погрешность может быть принято и другое значение погрешности, где  $S$  – средняя квадратическая погрешность результатов единичных измерений в ряду измерений (средняя квадратическая погрешность измерений)».*

Некорректность заключается в том, что в этом определении с примечаниями фактически смешаны допустимая погрешность измерений (устанавливаемая норма) и реализация погрешности при измерениях, для которой  $S$  используется как одна из возможных статистических оценок.

Для предельного значения реализуемой в ходе погрешности в ГОСТ 8.010-99 есть специальный термин с соответствующим определением. **Приписанная характеристика погрешности измерений** – *характеристика погрешности, приписываемая любому результату совокупности измерений, полученному при соблюдении требований и правил данной методики.*

В данной статье для однозначного понимания далее будем использовать термины «допустимая погрешность измерений» (норма, в которую необходимо уложиться для получения действительного значения измеряемой физической

величины) и «предельное значение реализуемой погрешности» (граница реализуемой погрешности измерений, установленная с выбранной доверительной вероятностью).

Поскольку цель любого измерения – получение такого значения измеряемой ФВ, которое достоверно представляло бы ее истинное значение (действительное значение ФВ), необходимо установить связь между измерительной задачей и соответствующей этой задаче допустимой погрешностью измерений.

РМГ 29-99 определяет измерительную задачу как *задачу, заключающуюся в определении значения физической величины путем ее измерения с требуемой точностью в данных условиях измерений.* Кроме того, там же содержится термин **объект измерения** – *тело (физическая система, процесс, явление и т.д.), которое характеризуется одной или несколькими измеряемыми физическими величинами.*

Однако классификация измерительных задач в РМГ 29-99 отсутствует, а в результате назначение допустимых погрешностей измерений приходится рассматривать для каждой измерительной задачи индивидуально. Очевидно, что для разработки типовых решений при назначении допустимых погрешностей измерений необходимо предложить классификацию измерительных задач.

Анализ возможных измерительных задач осуществлялся с позиций необходимой точности измерений. Исходя из ожидаемого использования результатов измерений сформулированы следующие типовые задачи:

- измерительный приемочный контроль заданного параметра;
- сортировка объектов на группы по заданному параметру;

- арбитражная перепроверка результатов приемочного контроля;
- идентификация заданного параметра, принадлежащего известному ряду;
- измерения при ориентировочной оценке заданного параметра;
- измерения параметров при проведении научного исследования.

В принципе возможны и другие формулировки, но абсолютное большинство измерительных задач сводится к перечисленным.

Все эти задачи можно разбить на два принципиально различных класса:

- корректно поставленные (корректные) задачи;
- некорректно поставленные (некорректные) задачи.

Уровень корректности или некорректности задачи измерений будем определять в зависимости от того, установлена ли в их условиях норма исходной неопределенности измеряемой физической величины. Если такая норма присутствует, полноту информации можно считать достаточной для априорного назначения допустимой погрешности измерений.

Корректно поставленными (корректными) задачами измерений можно считать те, в условиях которых норма исходной неопределенности измеряемой физической величины установлена, например, путем ограничения ее предельных значений, указанием номинального значения физической величины с предельными отклонениями, указанием ее номинального значения и поля допуска. Исходная неопределенность измеряемой физической величины может быть установлена в неявном виде, например, описанием допустимого рассеяния для определенного диапазона однородных величин.

К некорректно поставленным (некорректным) будем относить те задачи измерений, в условиях которых не установлена норма исходной неопределенности измеряемой физической величины. Норма неопределенности фактически отсутствует при однопредельном нормировании величины по типу  $A_{\max}$  или  $B_{\min}$ . Нормы отсутствуют у объектов естественного происхождения, их нет у ряда экспериментальных изделий и процессов. В подобных ситуациях условия задачи не обеспечивают достаточной полноты информации для априорного назначения допустимой погрешности измерений и возникает необходимость в дополнительной информации. Дополнительная информация может включать искусственно введенные ограничения параметров (нормы неопределенности). Можно также предложить значения допустимой погрешности измерений, логически обоснованные иными причинами (доводами).

Для того чтобы проконтролировать правильность решения задачи измерений с позиций обеспечения точности, необходимо:

- установить необходимую норму точности измерения;
- убедиться, что точность измерения соответствует установленной.

Порядок действий при решении некоторых конкретных задач измерения может быть изменен. В частности, при решении некорректных задач можно использовать метод проб и ошибок, то есть установить требуемую норму точности в ходе выполнения предварительных измерений. Анализ получаемых результатов позволит корректировать реализуемую точность измерений и добиться ее соответствия необходимой норме точности.

Если в качестве нормы точности принять допустимую погрешность измерения  $[\Delta]$ , то ее значение будет зависеть от формулировки поставленной задачи измерений. Типовые задачи могут быть представлены в разных вариантах.

К корректно поставленным (корректным) задачам можно отнести задачи, связанные с измерительным приемочным контролем параметра, сортировкой объектов на группы, арбитражной перепроверкой результатов приемочного контроля, а также с идентификацией номинального значения параметра, принадлежащего известному ряду значений. Условия этих задач содержат достаточно полную информацию для априорного назначения допустимой погрешности измерений. В каждой из них непосредственно или опосредованно установлена норма исходной неопределенности измеряемой физической величины, а значит, можно априори назначить такую допустимую погрешность измерений, которая будет пренебрежимо малой по сравнению с нормой исходной неопределенности параметра (измеряемой величины).

Нормой исходной неопределенности параметра может быть, например, допуск параметра, включая «групповой допуск» при сортировке объектов на группы, погрешность измерительного приемочного контроля в задаче арбитражной перепроверки его результатов. При идентификации номинального значения параметра известна градация ряда, которая не является непосредственно нормой исходной неопределенности измеряемой физической величины, но ограничивает неопределенность ее возможных значений.

Исходная неопределенность параметра может быть стохастической либо детерминированной. Например, для за-

дачи **измерительного приемочного контроля** партии объектов по заданному параметру, если нормированы его предельные значения (задан допуск параметра), стохастическую неопределенность параметра можно характеризовать полем его практического рассеяния. Поскольку такая «зона неопределенности» в большинстве случаев неизвестна, за норму неопределенности принимают допуск параметра, который ограничивает рассеяние параметров годных объектов контроля.

Рассмотрим возможные пути выбора (назначения) допустимой погрешности измерения  $[\Delta]$  для различных вариантов корректно поставленных измерительных задач.

Если известна норма исходной неопределенности параметра, которая имеет стохастический характер, и погрешности измерений также являются стохастическими (доминирует случайная составляющая), можно предложить традиционное для метрологической практики соотношение

$$[\Delta] = (1/5 \dots 1/3) T_A,$$

где  $[\Delta]$  – допустимая погрешность измерений;

$T_A$  – норма исходной неопределенности измеряемого параметра.

Как пример рассмотрим измерительный приемочный контроль конкретного параметра, ограниченного двумя нормированными предельными значениями – наибольшим ( $A_{max}$ ) и наименьшим ( $A_{min}$ ). Если  $T_A$  – допуск параметра:

$$T_A = A_{max} - A_{min}$$

то допустимая погрешность измерений не должна превышать 1/3 части допуска параметра ( $T_A$ ):

$$[\Delta] \leq T_A/3.$$

Если принять, что распределение контролируемого параметра на множестве реальных объектов случайно и случайная погрешность измерительного приемочного контроля  $\Delta$  в предельном случае равна допустимой погрешности  $[\Delta]$ :

$$\Delta = [\Delta],$$

то возможное одностороннее искажение поля допуска  $T_A'$  из-за наложения на допуск  $T_A$  погрешности приемочного контроля  $\Delta$ , которая равна допустимой погрешности  $[\Delta]$ , можно определить по правилу сложения дисперсий случайных величин:

$$T_A' = \sqrt{T_A^2 + [\Delta]^2}.$$

Элементарные расчеты показывают, что искажение поля допуска для принятого соотношения  $[\Delta]$  и  $T_A$  не превысит 5 %. Такое искажение в технической практике вполне допустимо, следовательно, выбранное значение  $[\Delta]$  может считаться пренебрежимо малым по сравнению со значением допуска  $T_A$  контролируемого параметра. Рассматривается именно одностороннее искажение поля допуска, поскольку один контролируемый параметр не может одновременно выходить за две границы поля допуска.

**Такое же допущение** о стохастическом характере погрешности измерений и стохастической неопределенности измеряемого параметра положено в основу всех аналогичных задач при назначении пренебрежимо малой допустимой погрешности измерений по отношению к

норме, ограничивающей неопределенность измеряемого параметра.

Аналогами рассмотренной задачи можно считать измерения, проводимые при **сортировке** объектов на группы по заданному параметру, вне зависимости от числа групп сортировки. Сортировка объектов на две (годные – брак) и на три группы (годные – брак исправимый – брак неисправимый) практически совпадает с задачами измерений при приемочном контроле. Сортировка объектов на  $N$  групп (при  $N > 3$ ) отличается только необходимостью введения допуска параметра в пределах одной группы («группового допуска»), который играет такую же роль как допуск параметра при приемочном контроле.

При **сортировке объектов на  $N$  групп** по заданному параметру допустимую погрешность назначают в зависимости от минимального «группового допуска» параметра ( $T_{gp}$ ):

$$[\Delta] \leq T_{gp}/3.$$

При сортировке объектов по заданному параметру **на две** (годные – брак) или **на три группы** (годные – брак исправимый – брак неисправимый) групповой допуск равен допуску контролируемого параметра и задача практически совпадает с задачей приемочного контроля. В этом случае принимают

$$[\Delta] \leq T/3.$$

При **арбитражной перепроверке** результатов приемочного контроля интересующей нас нормой, ограничивающей неопределенность измеряемого параметра, является погрешность измерений параметра при его приемочном контроле ( $\Delta_{np}$ ), которая согласно уже приведенным допущениям имеет стохастиче-

ский характер. По аналогии с ранее рассмотренной задачей измерительного приемочного контроля предельно допустимая погрешность измерений  $[\Delta]_a$  не должна превышать  $1/3$  часть погрешности измерений параметра при его приемочном контроле ( $\Delta_{np}$ ):

$$[\Delta]_a \leq \Delta_{np}/3.$$

Следует подчеркнуть, что, если результаты измерений будут использованы для арбитражной перепроверки результатов приемочного контроля, в качестве нормы исходной неопределенности контролируемого параметра используют не допуск параметра, а погрешность, с которой осуществлялся приемочный контроль. В результате допустимая погрешность должна быть примерно на порядок меньше значения допуска параметра:  $(T_A/3) \cdot 1/3 = T_A/9$ .

К корректным задачам можно отнести также выбор допустимой погрешности измерений (измерительных операций) при *поверке средства измерений*. Измерительные операции при поверке средства измерений можно рассматривать как операции измерительного приемочного контроля (контроля погрешности средства измерения). В таком случае нормой, ограничивающей стохастическую неопределенность измеряемого параметра, является допустимая погрешность поверяемого средства измерения в контрольной точке. При поверке средства измерений в нормальных условиях погрешность измерения (погрешность поверки) не должна превышать  $1/3$  основной погрешности поверяемого средства измерений  $\Delta_{си}$ , если погрешности поверяемого СИ имеют случайный характер:

$$[\Delta] \leq \Delta_{си}/3.$$

Следует учитывать, что основные погрешности средств измерений могут нормироваться одним постоянным значением (для однозначных мер, приборов с аддитивной статической характеристикой и т.п.) либо переменными значениями, отличающимися в разных точках диапазона (для многозначных мер, приборов с мультипликативной статической характеристикой и др.). В последнем случае допустимые погрешности поверки могут назначаться либо в виде одного минимального значения, либо переменными, разными для разных точек диапазона поверяемого средства измерений.

Таким образом, измерения параметра при приемочном контроле, сортировке на группы, при арбитражной перепроверке результатов приемочного контроля, поверке средства измерений представляют собой тривиальные измерительные задачи, в ходе решения которых допустимую погрешность измерений определяют исходя из традиционного в метрологии соотношения

$$[\Delta] = (1/5 \dots 1/3)B,$$

где  $[\Delta]$  – допустимая погрешность измерений;

$B$  – норма исходной неопределенности измеряемого параметра.

Необходимо также отметить, что, если в исходной неопределенности измеряемого параметра и/или в погрешности измерений присутствуют значимые систематические составляющие, предложенное соотношение может оказаться неприемлемым. В таком случае необходимо выявить эти систематические составляющие и либо довести их до пренебрежимо малых значений, либо назначать допустимые погрешности измере-

ний с учетом выявленных систематических составляющих.

К корректно поставленным задачам измерений мы отнесли также задачи, связанные с *идентификацией номинального значения параметра*, принадлежащего известному ряду значений. Задача заключается в различении физической величины, для которой задано номинальное значение, чтобы выделить ее из ближайших к ней значений (идентификация величины). Обычно ряды номинальных значений регламентируют нормативной или другой технической документацией (номинальные диаметры и шаги резьб, модули зубчатых колес и т.д.). При идентификации номинального значения параметра исследователь имеет дело с детерминированной исходной неопределенностью.

Градация ряда в некоторой рассматриваемой области значений не является нормой исходной неопределенности измеряемой физической величины, но ограничивает неопределенность ее возможных значений. Фактически неопределенность измеряемой физической величины нормируется допуском соответствующего параметра, но для идентификации объекта значение этого допуска не имеет принципиального значения. Если в основу выбора допустимой погрешности измерений положить градацию измеряемых физических величин в интересующем операторе диапазоне, то за норму исходной неопределенности можно принять ступень градации либо ее часть. Если ступень градации в рассматриваемом диапазоне симметрично распределить относительно номинальных значений, каждое из отклонений не превысит доли соответствующей ступени градации. Например, при измерении внутренних диаметров колец подшипников качения в диапазоне 20...100 мм с градаци-

ей размеров через 5 мм за норму исходной неопределенности можно принять ступень градации ( $B = 5$  мм), а допустимую погрешность измерения  $[\Delta]$  взять из традиционного соотношения

$$[\Delta] = (1/5 \dots 1/3)B.$$

При этом диапазон допустимых погрешностей измерения составит примерно 1...1,6 мм. При измерении наружных диаметров метрических резьб в диапазоне от 2 до 4 мм погрешность измерений должна обеспечить достоверную дифференциацию размеров через 0,5 мм, и если взять ее примерно втрое меньше ступени градации нормированных величин, ее округленное в меньшую сторону значение будет равно 0,16 мм.

К некорректно поставленным задачам измерений мы отнесли задачи измерительного приемочного контроля величин, нормированных одним предельным значением по типу  $A_{max}$  или  $B_{min}$ , измерения физических величин объектов естественного происхождения, параметров изделий и процессов при проведении экспериментальных исследований.

В условиях задачи *измерительного приемочного контроля* объекта по параметру, ограниченному одним предельным значением (сверху или снизу) по типу  $R_{max} = 0,5$  мм или  $L_{min} = 50$  мм, норма исходной неопределенности измеряемой физической величины не установлена. В результате полнота информации недостаточна для априорного назначения допустимой погрешности измерений. Формально допустимая неопределенность (допуск  $T_Q$ ) измеряемой величины, нормированной по типу  $A_{max}$ , равна

$$T_A = A_{max} - 0 = A_{max},$$

а измеряемой величины, нормированной по типу  $B_{min}$  равна

$$T_B = \infty - B_{min} = \infty,$$

что ни в одном случае не может рассматриваться как норма исходной неопределенности для назначения допустимой погрешности измерений с использованием традиционных соотношений.

Дополнительная информация может включать искусственно введенные ограничения параметров (норму неопределенности), например, назначают некоторый условный допуск параметра (нормирующий допуск  $T_{norm}$ ) с полем допуска, ориентированным "внутри" параметра. После назначения допуска задача сводится к тривиальной:

$$[\Delta] \leq T_{norm}/3.$$

Нормирующий допуск параметра часто можно назначить по аналогии с допусками наиболее грубо ограниченных параметров аналогичного вида, например, для размеров деталей – с неуказанными допусками размеров, оговоренными общей записью в технических требованиях.

Можно также непосредственно предложить решения, логически обоснованные иными причинами (доводами). Например, можно установить погрешность измерений из экономических соображений, затем принять ее за допустимую ( $[\Delta] = \Delta_{экон}$ ). При этом контрольную границу смещают "внутри" контролируемого параметра на ступеньку, равную выбранному значению допустимой погрешности  $[\Delta]$ . В результате контрольная граница параметра  $H_k$  устанавливается по типу:

$$H_k = Q_{max} - \Delta, \text{ или } H_k = J_{min} + \Delta.$$

При экономическом обосновании допустимой погрешности измерений в первую очередь следует учесть себестоимость измерений, а также стоимость потерь из-за неправильно забракованных годных объектов контроля. Очевидно, что чем дороже обходится ложный брак, тем меньше должна быть допустимая погрешность измерений. Строгая экономическая оценка в подобных ситуациях практически невозможна.

Еще один вид некорректно поставленных задач связан с *измерениями физических величин объектов естественного происхождения*, а также ненормированных искусственных величин. Оценка ненормируемой величины подразумевает использование измерительной информации для принятия управляющих решений, например: насколько тепло одеваться, можно ли положить некоторую массу случайно собранных объектов в пакет с ограниченной "грузоподъемностью", войдет ли объект в ограниченное пространство, и др.

Если в ходе подобных измерений осуществляют ориентировочную оценку ненормируемой физической величины, можно назначить практически любую допустимую погрешность в разумных пределах. В таком случае измерение, как правило, осуществляют с произвольной погрешностью, которая реализуется с помощью первой доступной методики выполнения измерений. Реализуемую в процессе измерений погрешность принимают за допустимую. Формальное описание выбора допустимой погрешности измерений сводится к зависимости

$$[\Delta] = \Delta.$$

При необходимости уточняют задачу измерения, например: если результаты измерений приближаются к некоторым пороговым значениям, оценивают возможные последствия искажения значения измеряемой физической величины из-за реализуемых погрешностей измерений с разными значениями. Такую задачу иногда можно рассматривать как аналог измерительного приемочного контроля объекта по параметру, ограниченному одним предельным значением (сверху или снизу). Трансформация задачи возможна, если следует однозначно ответить на вопросы о переходе температуры за точку затвердевания жидкости (например, замерзания воды), о возможности установки объекта в ограниченное пространство, близкое к его габаритам, о применимости средства для измерений физической величины на границе диапазона и т.д.

Некорректными можно считать задачи измерений при проведении экспериментального *научного исследования*, когда необходимо выяснить пределы колебаний исследуемой физической величины или определить характер ее изменения при управляемом или контролируемом изменении аргументов в ходе исследования. Изменение исследуемой физической величины под воздействием управляемых факторов обычно имеет детерминированный характер, но наряду с этим всегда включает стохастические составляющие характера.

При измерении параметра в процессе научного исследования допустимую погрешность измерений определяют исходя из конкретной цели исследований. А общая цель измерений при экспериментальном исследовании – настолько точно зафиксировать результаты измерений, чтобы различать детерминиро-

ванные и стохастические изменения исследуемой физической величины.

Для получения некоторой точки исследуемой зависимости эксперимент многократно повторяют. Для повторных экспериментов характерно многократное воспроизведение номинально одинаковых физических величин, рассеяние которых обычно имеет стохастический характер, из-за нежелательных малых воздействий, не устранимых именно ввиду их малости. При этом рассеяние результатов эксперимента  $R$ , зафиксированных измерениями, складывается из рассеяния многократно воспроизводимой физической величины ( $R_Q$ ) и удвоенной погрешности измерений  $2\Delta$ .

$$R = R_Q * 2\Delta ,$$

где \* – знак объединения (комплексирования) членов уравнения, поскольку они могут складываться алгебраически, геометрически и т.д.

Частные задачи, решаемые в ходе исследований, могут состоять как в нахождении соотношения рассеяния результатов эксперимента и погрешности измерений ( $R$  и  $\Delta$ ), так и в определении количественных и качественных оценок рассеяния при многократном воспроизведении исследуемой физической величины.

При исследовании точности воспроизведения номинально одинаковых физических величин задачу можно ограничить оценкой малости размаха  $R_Q$  измеряемых физических величин. Примеры номинально одинаковых физических величин на одном объекте – толщина пластины, высота цилиндра и т.д., их «одинаковость» важна при исследовании точности техпроцесса. «Одинаковость» величин на множестве номинально одинаковых объектов (диаметры шариков в

партии, присоединительные размеры колец для подшипника качения одного типоразмера, массы одинаковых деталей и др.) свидетельствует о стабильности технологического процесса.

Если при исследовании необходимо убедиться, что рассеяние параметра исследуемого объекта  $R_Q$  при его многократном воспроизведении не превышает некоторого заранее заданного значения  $R_{norm}$ , исходя из того, что

$$R' \leq R_Q + 2\Delta,$$

а также, что известны оценка погрешности измерения  $\Delta$  и размах результатов измерений  $R'$ , можно определить оценку предельного значения  $R_Q$ :

$$R_Q = R' - 2\Delta,$$

и проверить соблюдение соотношения  $R_Q \leq R_{norm}$ .

Если анализ полученных в ходе исследований данных покажет, что  $R' \approx 2\Delta$ , это будет означать, что интересующее нас значение рассеяния исследуемого параметра объекта  $R_Q$  внесло пренебрежимо малый вклад в размах результатов измерений  $R'$ :

$$R_Q \ll 2\Delta.$$

Такая ситуация дает количественную оценку  $R_Q$  на уровне порядка, и если она обеспечивает возможность применения полученных результатов и, тем самым, достижение цели исследований, то можно принять

$$[\Delta] = \Delta.$$

Для повышения уровня определенности оценки  $R_Q$  следует существенно уменьшить значение погрешности изме-

рения  $\Delta$  так, чтобы добиться соотношения  $R' \approx R_Q$ , что формально можно записать как  $2\Delta \approx 0$ , или  $\Delta \ll R_Q$ .

Если в цели исследований входит выявление вида и числовых характеристик распределения исследуемой случайной величины, которое имеет стохастический характер (рассеяние экспериментальных результатов при многократном воспроизведении номинально одинаковых величин), необходимо построить гистограмму и полигон распределения исследуемой случайной величины. Для этого следует выявить реальное поле практического рассеяния ( $R_Q$ ) многократно воспроизводимой физической величины. Однако, поскольку в ходе исследований мы фактически получаем оценку  $R'$ , которая отличается тем, что включает погрешность измерений  $\Delta$ , значит, надо добиться, чтобы эта погрешность не оказывала значительного искажающего воздействия.

Для этого реализуют метод последовательных приближений, выбирая все более точные методики измерений  $\Delta_2 < \Delta_1$ , затем  $\Delta_3 < \Delta_2$  и далее до  $\Delta_n$ , пока не получат соотношение

$$\Delta_n \approx (1/10)R',$$

после чего  $\Delta_n$  принимают за допустимое значение погрешности измерения:

$$[\Delta] = \Delta_n.$$

Если целью исследований является выявление характера и параметров изменения исследуемой физической величины при управляемом или контролируемом изменении аргументов в ходе исследования, необходимо поставить задачи измерений *множества разных величин*. Изменение исследуемой физической величины под воздействием управ-

ляемых факторов обычно имеет детерминированный характер, но наряду с этим всегда включает стохастические составляющие. Поэтому новая задача включает в себя предыдущую (оценка точности воспроизведения номинально одинаковых физических величин в каждой исследуемой точке) и вторую задачу – различение отдельных измеряемых величин для построения исследуемой зависимости.

Искомое детерминированное изменение исследуемой физической величины под воздействием управляемых факторов может быть непрерывным либо дискретным, явно выраженным либо малозаметным, что сказывается на постановке конкретной измерительной задачи. В любом случае при исследовании детерминированного изменения величины необходимо назначить такую допустимую погрешность измерений, которая была бы пренебрежимо мала по сравнению с исследуемым изменением величины ( $\varepsilon_Q$ ):

$$[\Delta] \ll \varepsilon_Q .$$

К требуемому соотношению, как и в предыдущем случае, приходят методом последовательных приближений, при необходимости выбирая очередную МВИ с меньшими погрешностями по сравнению с предыдущей:  $\Delta_1 > \Delta_2 > \Delta_3 \dots > \Delta_n$ , после чего  $\Delta_n$  принимают за допустимое значение погрешности измерения.

При исследовании характера изменения величины под действием управля-

емого аргумента можно добиться желаемого соотношения, увеличивая диапазон изменений исследуемой величины. При этом точность измерений может быть не слишком высокой, но приходится компенсировать начальную неопределенность информации увеличением числа экспериментов, расширением их диапазона и т.д.

При исследовании детерминированного дискретного изменения физической величины под действием контролируемых переменных аргументов необходимо назначить такую допустимую погрешность измерений, которая была бы значительно меньше шага изменения исследуемой величины ( $\varepsilon_{IQ}$ ):

$$[\Delta] \leq \varepsilon_{IQ}/3.$$

Аналогичное решение предлагалось для задачи идентификации номинального значения параметра, принадлежащего известному ряду значений. Некорректность новой задачи заключается в отсутствии детерминированной исходной неопределенности, поскольку значение дискретного изменения неизвестно и его надо определить в ходе исследований.

Подводя итог рассмотрению примеров назначения (выбора) допустимой погрешности измерения, можно отметить, что для каждой из поставленных задач он имеет свои особенности и всегда основан на определении значения погрешности, пренебрежимо мало влияющей на результат измерения.

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПУТЕМ АНАЛИТИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ**

**О.А.Ленкевич**, преподаватель кафедры СМИС

Особенности методов измерительного контроля приводят к появлению в результатах измерений методических погрешностей систематического характера. Такие погрешности могут возникать из-за несовпадения систем координат, в которых измеряются разные геометрические параметры деталей. В итоге некоторые функционально годные детали могут быть ошибочно отнесены к бракованным и наоборот. Таким образом, общим недостатком традиционного координатного контроля геометрических параметров деталей является отсутствие оптимизации расположения всех контролируемых элементов реальной детали, воспроизведенных по результатам измерения координат ограниченного количества контрольных точек относительно ее номинальной системы координат, а также сопряженной с ней оптимизации взаимосвязанных полей допусков контролируемых параметров.

Анализ литературы позволяет сделать вывод о том, что существующее в настоящее время методическое обеспечение координатного контроля геометрических параметров изделий базируется на двух ключевых аспектах.

Первый аспект заключается в том, что методики выполнения измерений проектируются таким образом, чтобы предупредить погрешности метода, возможные при искажении размеров, формы и расположения элементов. Недо-

статком такого подхода к разработке методик является их избыточная сложность, что приводит к необходимости использования дорогостоящих средств измерений, выбору неоправданно большого количества контрольных точек (сечений) при реализации методик и предполагает привлечение персонала высокой квалификации. Необоснованное сокращение числа контролируемых точек (сечений) может привести к недостаточности измерительной информации для решения поставленной измерительной задачи, а следовательно, к неадекватности получаемой экспериментальной модели реальному объекту измерения. Следствием такого подхода являются неприемлемо большие методические погрешности измерений контролируемых параметров. Значит, необходима оптимизация методик координатных измерений по критерию обеспечения требуемой точности контроля при минимальном количестве контролируемых точек или сечений. На данный момент общая методология решения такой оптимизационной задачи в области координатного контроля отсутствует.

Второй аспект состоит в том, что при независимом контроле геометрических параметров деталей каждый контролируемый параметр измеряется автономно, в своей системе координат (плавающей или фиксированной) и формально ограничивается своим полем до-

пуска, не связанным с полями допусков других геометрических параметров. Исключение составляет контроль параметров с зависимыми допусками, которые контролируются комплексными калибрами. Контроль геометрических параметров с помощью комплексных калибров имеет ограниченную сферу применения (во-первых, используется в основном для контроля геометрических параметров деталей в массовом производстве и, во-вторых, несет в себе информацию о действительных значениях контролируемых параметров в неявном виде).

С целью повышения качества контроля геометрических параметров деталей предлагается новый подход к координатным измерениям, позволяющий минимизировать погрешности метода путем их аналитической компенсации. Принципиальное отличие этого подхода от традиционного состоит в иной трактовке предельных размеров детали, оптимизации ее системы координат с одновременным аналитическим перераспределением взаимосвязанных полей допусков (оптимизацией комплексного поля допуска детали).

Предельные размеры детали предлагается трактовать как комплекс взаимосвязанных предельных размеров всех элементов детали, рассматриваемых как одно общее поле и определяющих два комплексных плавающих предельных контура детали, один из которых соответствует пределу максимума материала, а второй – пределу минимума материала детали. При этом все элементы контролируемой детали должны измеряться в одной фиксированной системе координат, жестко связанной с контролируемой деталью, что можно реализовать при использовании многомерных специальных или многокоординатных универсальных

приборов. При этом годной следует считать деталь, все реальные элементы которой могут быть “вписаны” между двумя ее плавающими предельными контурами.

Положение предельных контуров детали может быть определено и описано аналитически на основании заданных полей допусков всех рассматриваемых элементов, образующих комплексное поле допусков детали. Функционально годной будет считаться та деталь, реальный контур которой удастся вписать в плавающие предельные контуры, для чего при необходимости соответствующим образом перераспределяют поля допусков элементов в пределах комплексного поля допуска детали. При этом вполне возможно, что при традиционном подходе к контролю эта же деталь может быть забракована по отдельным геометрическим параметрам или элементам. Для проверки возможности вписывания реального контура детали в предельные размеры предлагается осуществлять оптимизацию системы координат детали (поиск оптимального пространственного расположения реальных элементов детали) с одновременным аналитическим перераспределением взаимосвязанных полей допусков (оптимизацией комплексного поля допусков детали).

Суть контроля геометрических параметров детали на основе оптимизации систем координат с одновременным перераспределением взаимосвязанных полей допусков можно продемонстрировать с помощью схемы, представленной на рис. 1.

Предлагаемый новый подход к контролю геометрических параметров деталей требует использования совместного аналитического и экспериментального моделирования объекта измерения.

Для реализации предложенного подхода, разработки математического и программного обеспечения оптимизации систем координат и перераспределения полей допусков детали номинально прямоугольной формы ограничимся рассмотрением "плоской" задачи.

Для построения нормативной аналитической модели контролируемой детали и апробации предлагаемого подхода были сформулированы и научно обоснованы условия функциональной годности неправильно "забракованной" плоской детали номинально прямоугольной формы.

Одним из условий существования решения поставленной задачи оптимизации является следующее (рис. 2):

$$R_{\min} < |\rho| < R_{\max}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – "радиус-вектор" диагонали исследуемой детали;

$R_{\max}$ ,  $R_{\min}$  – диагонали предельных контуров прямоугольной формы.

Данное условие будет являться необходимым, но недостаточным для годности детали.

Достаточным же условием будет выполнение следующих неравенств, накладывающих ограничения на угол доворота детали:

$$\begin{aligned} \gamma &> 0; \\ \beta &> 0. \end{aligned}$$

В качестве положительного направления "дворота" выбраны направления против часовой стрелки для оси X, по часовой – для оси Y.

Оба эти условия являются гарантией того, что, используя новую систему координат и "дворот" детали в пределах поля допуска, можно найти такое положение контролируемой детали, что формально забракованная деталь может быть признана функционально годной. Это позволит значительно повысить достоверность контроля и сократить количество неправильно забракованных деталей.

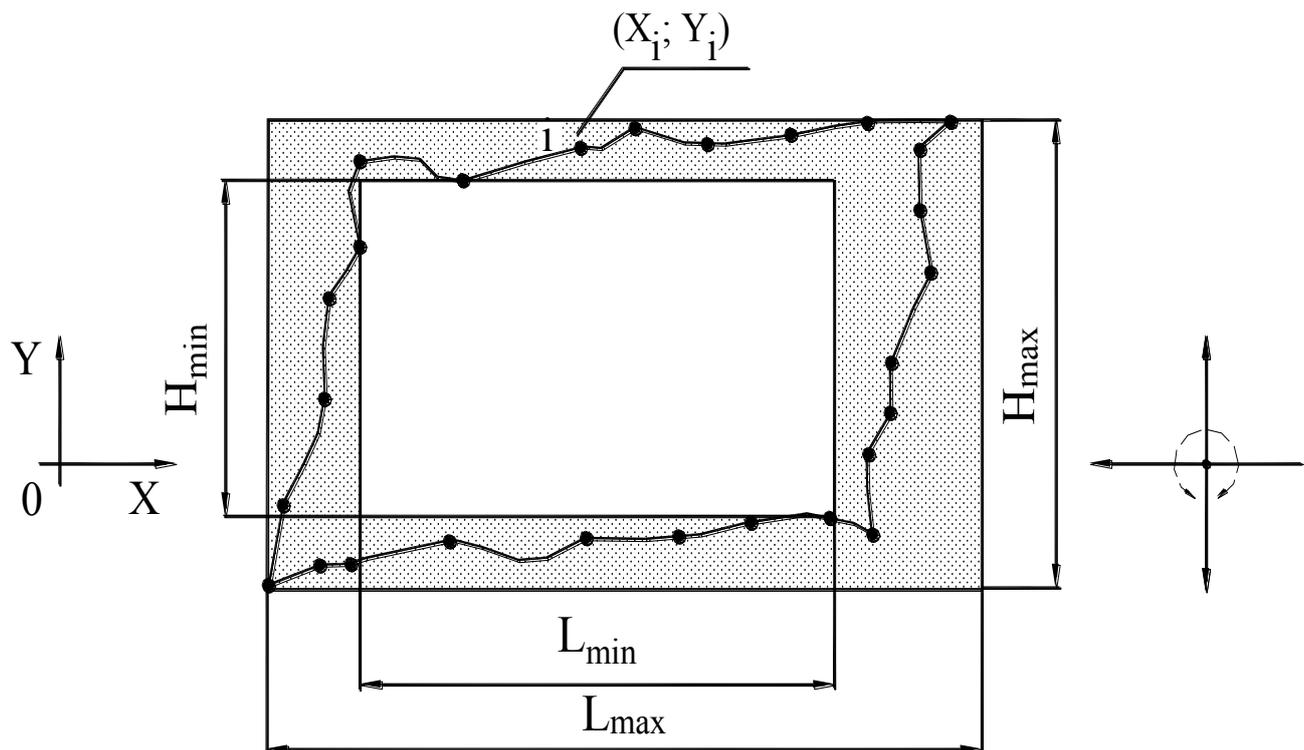


Рис. 1. Контроль размеров детали на основе принципа перераспределения полей допусков

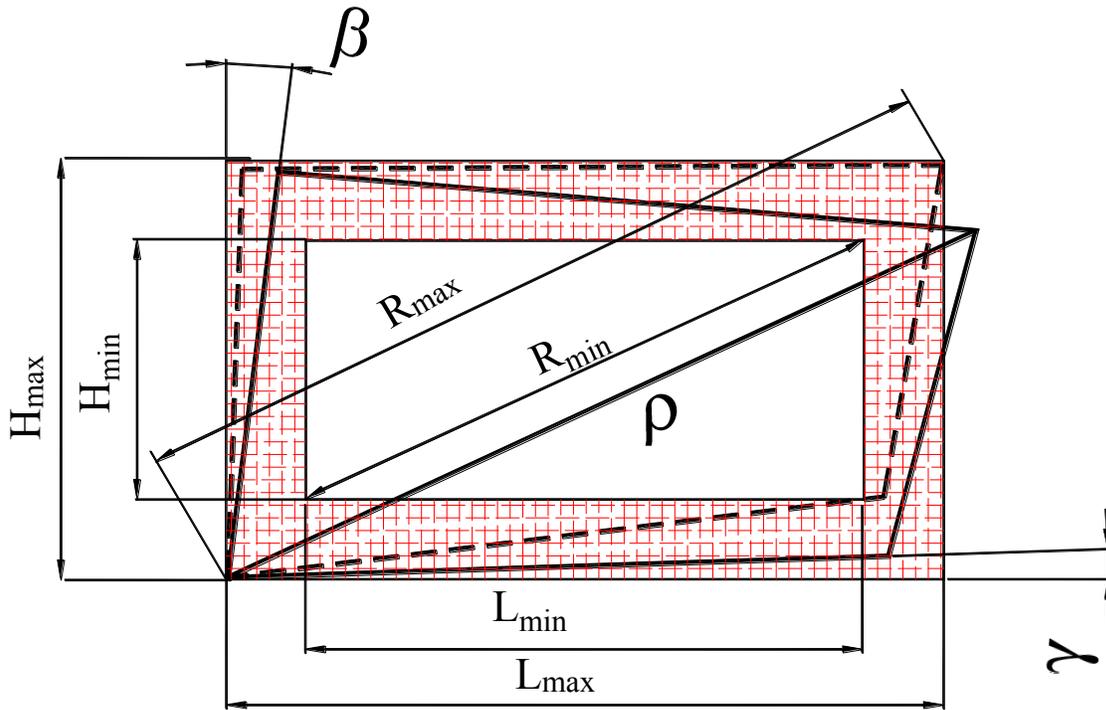


Рис. 2. Графическая интерпретация необходимого и достаточного условия решения задачи

Для оптимизации системы координат детали необходимо совместить профиль  $G$  плоской детали  $ABCD$  (рис. 3), являющейся выпуклым четырехугольником, с областью  $S$ , образованной внешним предельным прямоугольным контуром с размерами  $a_e b_e$  и внутренним предельным прямоугольным контуром с размерами  $a_i b_i$ . Совмещение может осуществляться путем поворота реального профиля  $G$  в пределах области  $S$  на некоторый угол  $\varphi$  и плоскопараллельного переноса профиля на вектор смещений  $A = (A_x, A_y)$ .

Кроме определенных выше достаточного и необходимого условий без доказательства дополнительно накладывались следующие граничные условия:

1). Площадь  $S_D$  и периметр  $P_D$  реальной "плоской" детали должны лежать между площадями и периметрами предельных контуров:

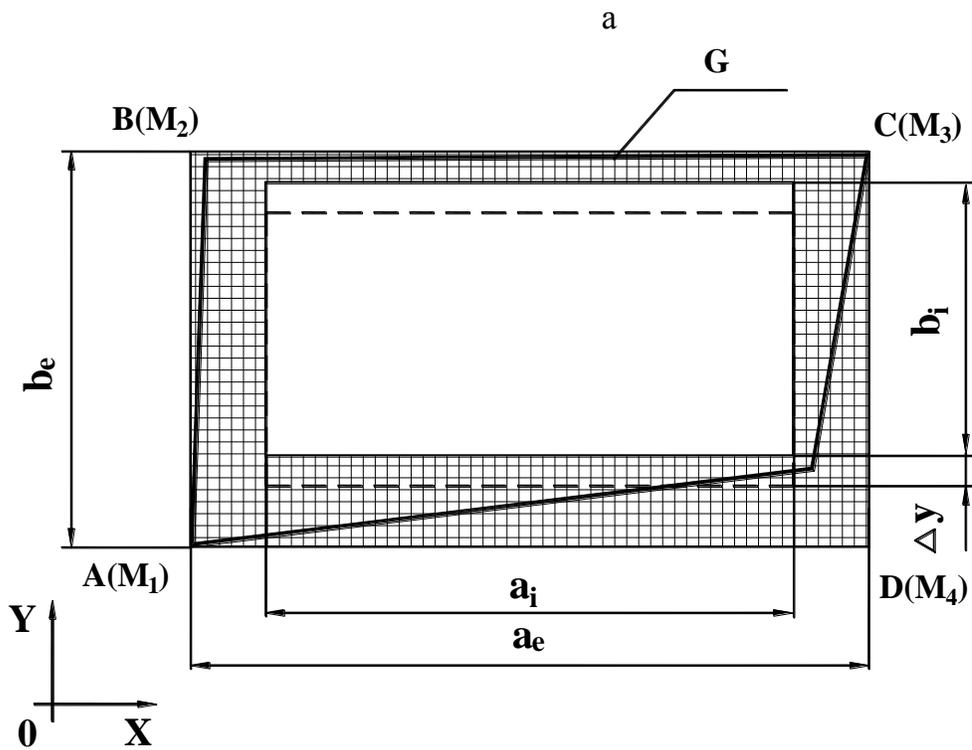
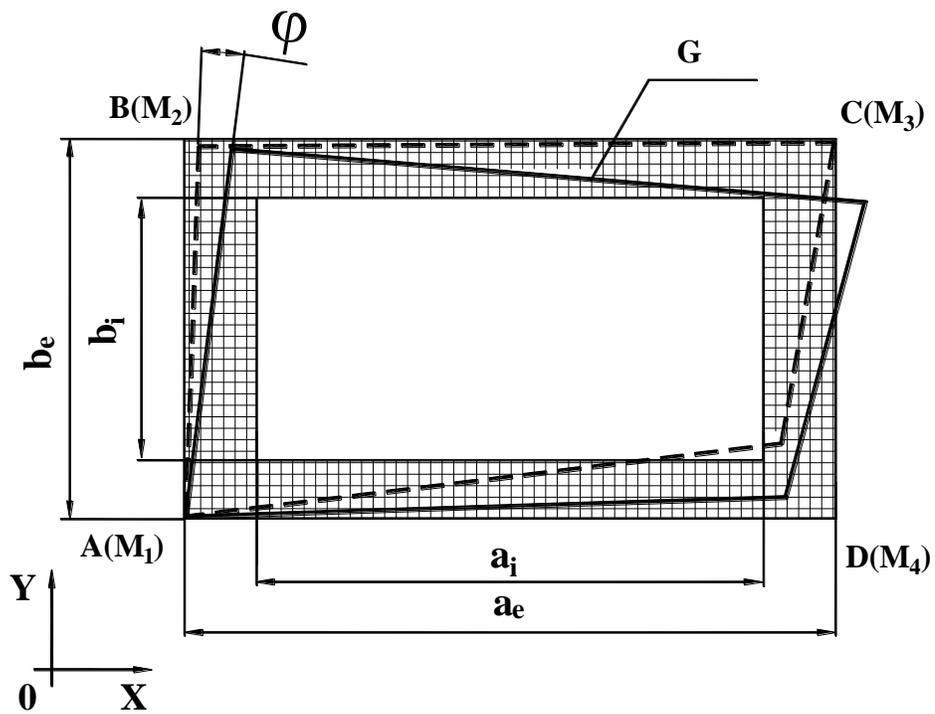
$$a_i b_i \leq S_D < a_e b_e,$$

$$P_i \leq P_D \leq P_e,$$

где  $P_e$  – периметр внешнего предельного прямоугольного контура;

$P_i$  – периметр внутреннего предельного прямоугольного контура.

2). Погрешность измерения координат точек реального профиля пренебрежимо мала по сравнению с допуском на размер детали  $ABCD$ .



б

Рис. 3. Оптимизация перераспределения полей допусков

Для трансформации экспериментальной метрологической модели объекта измерения в аналитическую профиль плоской детали номинально прямоугольной формы моделировался четырехугольником, который задается в декартовых координатах четырьмя базовыми точками, определяющими вершины профиля. Количество точек, характеризующих дискретную модель профиля, может задаваться от 0 до 1000 по каждой стороне модели.

Внешний и внутренний предельные контуры профиля при моделировании задаются координатами четырех точек, образующих соответствующие диагонали предельных прямоугольных контуров. При этом одновременно осуществляется проверка необходимого условия (1) возможности оптимизации системы координат и перераспределения полей допусков реального профиля детали. Поля допусков детали, представленной аналитической моделью, могут быть расположены симметрично и асимметрично относительно номинального профиля.

Для моделирования возможных технологических погрешностей изготовления реальных объектов при моделировании вносились линейное, гармоническое и стохастическое искажения номинального профиля. Изменение положения базовых точек, а следовательно, и их координат после линейной деформации может осуществляться отдельно по каждой базовой точке. Значение линейного искажения задается шагом искажения. На моделируемый объект дополнительно накладываются гармонические искажения, описываемые синусоидальным законом

$$A \cdot \sin(\omega \cdot t),$$

где  $A$  – амплитуда колебаний, определяет значение максимального закономерного искажения профиля, мм;

$\omega$  – частота колебаний точек, определяется с учетом особенностей конкретного технологического процесса;

$t$  – внутренний программный параметр для реализации контура синусоиды.

Случайная составляющая погрешности профиля накладывается на гармонические искажения. Для графического представления реального профиля детали в виде ее дискретной модели формируется массив данных из координат базовых и промежуточных узловых точек (рис. 4). Это дает возможность осуществить первичное сопоставление аналитической модели контролируемой детали с ее нормативной моделью с целью определения годности детали и необходимости оптимизации ее системы координат.

Следующим шагом исследований было проведение вычислительного эксперимента, цель которого – обоснование возможности оптимизации координатного контроля и апробация предложенного механизма оптимизации координатных измерений при контроле геометрических параметров деталей.

Вычислительный эксперимент включает в себя решение двух задач. Первая задача эксперимента заключается в осуществлении плоскопараллельного переноса реального профиля детали вдоль декартовых осей  $X$  и  $Y$  и решается с помощью метода перебора. Если на первом этапе удастся оптимизировать систему координат и перераспределить поля допусков номинально плоской детали, то отпадает необходимость в осуществлении второго этапа вычислительного эксперимента – ”дворота” реального профиля детали. Это, несомненно, сокращает время проведения вычислительного эксперимента.

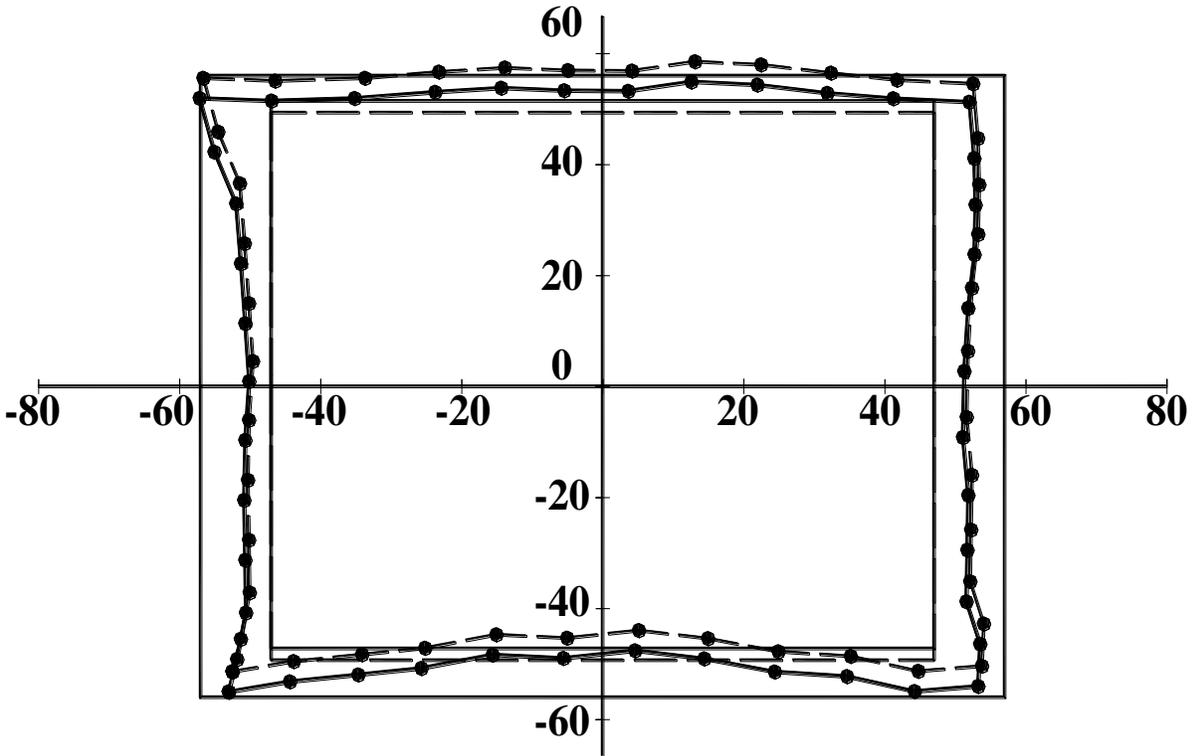


Рис. 4. Первичное сопоставление аналитической модели с нормативной моделью

Основная задача при реализации перебора заключается в нахождении его оптимальной последовательности, при которой возможность плоскопараллельного переноса вдоль декартовых осей  $X$  и  $Y$  и "поворота" реального профиля детали на угол  $\varphi$  встретится как можно раньше.

Шаг перемещения выбирается адаптивно, исходя из необходимости обеспечения минимальной методической погрешности, и зависит от длины стороны номинального контура и количества выбранных узловых промежуточных точек на сторонах профиля детали (в нашем случае – общее количество точек, определяющих реальный профиль детали, делится на 100).

После завершения вычислительного эксперимента формируется новый массив результатов измерений, где по координатам новых базовых угловых и промежуточных узловых точек возможно графическое представление реального профиля в виде его дискретной модели (см. рис. 4).

При моделировании объекта использовался язык C++, реализованный в компиляторе фирмы Borland версии 6.0 с привлечением персонального компьютера.

В результате проведенной работы дано новое истолкование предельных размеров детали, оптимизации ее системы координат и базирующееся на этом перераспределение взаимосвязанных полей допусков геометрических параметров "плоских" деталей. Кроме этого, теоретически

обоснованы научные принципы проектирования оптимизированных процедур координатного контроля геометрических параметров деталей с перераспределением взаимосвязанных полей допусков; разработаны методика моделирования механизмов влияния возмущающих факторов, математические модели и программное обеспечение оптимизации; проведена апробация предложенного механизма оп-

тимизации координатных измерений при контроле геометрических параметров "плоских" деталей.

Применение предлагаемого метода контроля позволит значительно повысить его достоверность и более объективно определять уровень качества контролируемых объектов с позиций их функционирования в составе сложного изделия.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ ОТНОШЕНИЙ ПРЕДПОЧТЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МЕТОДИК ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА**

**О.В.Сенюк**, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры СМИС

На стадии метрологической подготовки производства для выбора оптимальной методики выполнения измерений (МВИ) необходимо произвести комплексную оценку качества измерительной процедуры.

Одним из этапов получения комплексной оценки качества измерений [1, 2] является оценка простых свойств, т.е. определение вида зависимости между показателями простых свойств и их оценками. Использование для этих целей «метода главных точек» [3] приводит к возникновению ряда трудностей, связанных с тем, что не существует единой зависимости для оценки показателей всех свойств. В каждом конкретном случае требуется индивидуальный подход к изучению зависимости между показателем и оценкой.

В виду значительных трудностей, возникающих при оценке простых свойств, предлагается осуществить выбор оптимальной по показателям качества

МВИ без получения количественных оценок для каждого единичного показателя, ограничившись построением нечетких отношений предпочтения по каждому из простых свойств для каждой рассматриваемой методики. В предлагаемом подходе процедура оценки показателей простых свойств заменена механизмом построения нечетких отношений предпочтения по каждому из простых свойств для каждой рассматриваемой методики [4].

Обозначим через  $X$  множество МВИ, из которых нам предстоит выбрать оптимальную, т.е. множество альтернатив. Качество измерений можно охарактеризовать набором простых свойств, которые подлежат оценке с номерами  $i = 1, 2, \dots, f$ , где  $f$  – общее число рассматриваемых простых свойств.

Пусть информация о попарном сравнении МВИ по каждому  $i$ -му показателю простых свойств (по каждому из признаков) представлена в форме отношения

предпочтения  $T_i$ . И пусть  $\mu_i$  – функция принадлежности  $i$ -му нечеткому отношению нестрогого предпочтения  $T_i$  на множестве МВИ. Для любой пары МВИ (альтернатив)  $x, y \in X$  значение  $\mu_i(x, y)$  понимается как степень выполнения предпочтения «МВИ  $x$  не хуже МВИ  $y$  по  $i$ -му признаку» или  $x \geq y$ .

Функция принадлежности  $\mu_i(x_j, y_l)$  нечеткому отношению предпочтения  $T_i$  задается в виде матрицы, которая заполняется следующим образом: на пересечении  $j$ -й строки и  $l$ -го столбца ( $j = 1, \dots, k; l = 1, \dots, k$ , где  $k$  – число рассматриваемых МВИ), помещается число, выражающее степень выполнения предпочтения «МВИ  $x_j$  не хуже МВИ  $y_l$  по  $i$ -му показателю». Если это предпочтение выполняется в полной степени, то элемент матрицы получает значение 1. Равенство  $\mu_i(x_j, y_l) = 0$  означает, что с положительной степенью выполнено обратное предпочтение «МВИ  $y_l$  не хуже МВИ  $x_j$  по рассматриваемому  $i$ -му показателю» либо то, что МВИ  $x_j$  и  $y_l$  не сравнимы между собой по  $i$ -му признаку ни с какой положительной степенью, т.е.  $\mu_i(y_l, x_j) = 0$ . Во всех остальных случаях элементы матрицы получают значения из диапазона от 0 до 1, в зависимости от степени выполнения предпочтения «МВИ  $x_j$  не хуже МВИ  $y_l$  по рассматриваемому  $i$ -му показателю». Подобным образом заполняются матрицы по всем выделенным для процесса измерения показателям простых свойств.

Таким образом, имеется  $f$  отношений предпочтения  $T_i$  на множестве  $X$ . Задача заключается в том, чтобы по данной информации сделать рациональный выбор МВИ из множества  $(X, T_1, \dots, T_f)$ , производя комплексирование с учетом полу-

ченной структурной схемы свойств качества измерений и коэффициентов весомости каждого из свойств.

Для того чтобы осуществить процесс выбора оптимальной МВИ, необходимо представить комплексный показатель качества процесса измерения в виде линейной функции от  $f$  характеризующих его показателей простых свойств. Для этого необходимо произвести процесс комплексирования последовательно от уровня к уровню. Для комплексирования предлагается использовать среднее взвешенное арифметическое, так как в этом случае суммированию и умножению будут подвергаться матрицы. Процесс комплексирования на  $j$ -м уровне иерархии производится по формуле

$$K_{j-1} = \sum_{i=1}^n V_{ij} \cdot K_{ij},$$

где  $K_{ij}$  – оценка показателя  $i$ -го свойства в рассматриваемой группе ( $i = 1, 2, \dots, n$ );

$V_{ij}$  – нормированный коэффициент весомости  $i$ -го свойства в рассматриваемой группе;

$n$  – количество свойств, входящих в рассматриваемую группу;

$j$  – номер уровня иерархии ( $j = N, \dots, 2$ , где  $N$  – номер самого верхнего иерархического уровня).

В результате выполнения процесса комплексирования для комплексного показателя качества получаем следующую зависимость его от оценок показателей простых свойств:

$$K_0 = \sum_{i=1}^f \lambda_i \cdot K_i, \quad \sum_{i=1}^f \lambda_i = 1, \quad (1)$$

где  $K_i$  – оценка показателя простого свойства ( $i = 1, 2, \dots, f$ );

$\lambda_i$  – коэффициенты, полученные в результате проведения процедуры комплексирования;

$f$  – количество показателей простых свойств, подлежащих оценке.

Сумма коэффициентов весомости  $V_{ij}$  для каждой отдельной группы свойств равна единице, поэтому и в результирующей зависимости комплексного показателя качества от простых свойств сумма коэффициентов  $\lambda_i$  при  $f$  вошедших в нее показателей тоже будет равна 1.

Теперь алгоритм выбора оптимальной по комплексному показателю МВИ можно представить в следующем виде:

1. Строим нечеткое отношение

$Q_1 = T_1 \cap T_2 \cap \dots \cap T_f$  (пересечение исходных отношений предпочтения по каждому из простых свойств качества измерений

$$\mu_{Q_1}(x, y) = \min \{ \mu_1(x, y), \dots, \mu_f(x, y) \}$$

где  $\mu_{Q_1}(x, y)$  – функция принадлежности нечеткого отношения  $Q_1$  (пересечения исходных отношений);

$\mu_i(x, y): X \times X \rightarrow [0, 1]$  – функция принадлежности для  $i$ -го нечеткого отношения предпочтения,  $i = 1, 2, \dots, f$ .

2. Определяем нечеткое множество недоминируемых МВИ в множестве  $(X, \mu_{Q_1})$ , т.е. для каждой МВИ определяется степень ее недоминируемости по всем показателям простых свойств:

$$\mu_{Q_1}^{н.д.}(x) = 1 - \sup_{y \in X} \{ \mu_{Q_1}(y, x) - \mu_{Q_1}(x, y) \}$$

3. Строим нечеткое отношение  $Q_2$  с функцией принадлежности:

$$\mu_{Q_2}(x, y) = \sum_{i=1}^f \lambda_i \cdot \mu_i(x, y),$$

где  $\lambda_i$  – коэффициенты из формулы (1).

4. Определяем нечеткое подмножество недоминируемых альтернатив в множестве  $(X, \mu_{Q_2})$ , т.е. для каждой МВИ определяется степень ее недоминируемости по всем показателям простых свойств с учетом коэффициентов весомости:

$$\mu_{Q_2}^{н.д.} = 1 - \sup_{y \in X} \{ \mu_{Q_2}(y, x) - \mu_{Q_2}(x, y) \}$$

5. Находим пересечение множеств  $\mu_{Q_1}^{н.д.}$  и  $\mu_{Q_2}^{н.д.}$ :

$$\mu^{н.д.}(x) = \min \{ \mu_{Q_1}^{н.д.}(x), \mu_{Q_2}^{н.д.}(x) \}$$

6. Рациональным считается выбор МВИ (альтернатив), имеющих по возможности большую степень принадлежности нечеткому множеству  $\mu^{н.д.}(x)$ , из множества

$$X^{н.д.} = \{ x \in X, \mu^{н.д.}(x) = \sup_{x \in X} \mu^{н.д.}(x) \}$$

обладающей максимальной степенью недоминируемости.

Следует отметить, что в зависимости от типа задачи, для решения которой производится выбор МВИ, рациональным может считаться выбор не только МВИ из множества  $X^{н.д.}$ , но и в том или ином

смысле слабо доминируемых альтернатив (или не очень сильно недоминируемых), т.е. МВИ, которые принадлежат множеству  $\mu^{н.д.}$  со степенью не ниже некоторой заданной. Аналогичным образом можно осуществлять выбор оптимальной МВИ

по любому из обобщенных показателей качества, произведя комплексирование в соответствии с набором свойств, определяющим интересующий пользователя показатель.

### Литература

1. Сенюк О.В. Использование теории классификации для построения структурных схем свойств // Тез. докл. 19-й Международной конференции студентов и молодых ученых, Зелена Гура, 28-29 апреля 1997 г./ Высшая техническая школа. – Зелена Гура, 1997. – С. 181-185.
2. Соломахо В.Л., Сенюк О.В. Комплексная оценка качества процесса измерения // Надежность и контроль качества. – 1997. – № 10. – С. 3-11.
3. Райхман Э.П. К вопросу оценки показателей качества (в порядке обсуждения) // Стандарты и качество. – 1969. – № 9. – С. 44-47.
4. Орловский С.А. Проблема принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука, 1981. – 206 с.
5. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ

**С.С.Соколовский**, кандидат технических наук, доцент кафедры СМИС,  
**К.И.Дадьков**, преподаватель кафедры СМИС

Традиционные методы измерения отклонений от прямолинейности и плоскостности поверхностей характеризуются большой трудоемкостью и сложностью реализации. Количество и расположение контролируемых точек (сечений) при реализации традиционных методов измерения выбираются без учета реального характера рельефа или формы контролируемой поверхности. При измерении отклонений формы выпуклых, вогнутых, выпукло-вогнутых поверхностей, а также

поверхностей более сложной формы используется один и тот же подход – необходимое количество контролируемых точек (сечений) определяется исходя из протяженности проверяемой поверхности и установленных требований к точности ее формы.

При отсутствии априорной информации о характере отклонений формы контролируемых поверхностей, когда поиск “пиковых” точек осуществляется “вслепую”, применение дискретных методов

измерения, реализуемых по традиционной схеме, может считаться вполне оправданным. Если же априори известно, что получающиеся после изготовления поверхности стабильно имеют выпуклую, вогнутую или выпукло-вогнутую форму, то рациональность использования таких методов измерения в этом случае вызывает большие сомнения. Получаемая на их основе измерительная информация не оптимальна с точки зрения поставленной задачи измерения, а количество контролируемых точек явно избыточно. Очевидно, что в этой ситуации значительное число точек не оказывает никакого влияния на окончательный результат измерения. Отсюда вытекает задача определения минимально необходимого, но достаточного количества контролируемых точек, оптимального для адекватного моделирования выделенного класса поверхностей по результатам измерения отклонений точек. При этом адекватность принимаемой модели должна оцениваться с точки зрения требуемой точности результата измерения.

Характерной особенностью специально разработанных методов «семи точек» и «девяти точек», базирующихся на теореме Эйлера для криволинейных поверхностей, являются простота использования и небольшое количество контрольных точек по сравнению с традиционными методами. При этом учитывается форма измеряемой поверхности, которую аппроксимируют поверхностями второго порядка.

Масштабные исследования данных методов лучше проводить, используя имитационное моделирование, которое по сравнению с натурным экспериментом обладает рядом преимуществ. При имитационном моделировании можно задавать различные типы поверхностей, которые

иногда получают в реальной практике, но трудно специально изготовить в условиях производства, например гиперболический эллипс. Имитационное моделирование также значительно более экономично, так как при его применении для исследования объектов измерений параметров макро- и микрогеометрии не нужно тратить ресурсы на сам процесс изготовления деталей. При современном развитии вычислительной техники имитационное моделирование занимает несопоставимо меньше времени, чем натурный эксперимент, как при самих измерениях, так и при расчётах отклонений формы и расположения поверхностей.

При реализации методов «семи точек» и «девяти точек» необходимо наличие базовой точки, расположенной в геометрическом центре измеряемой поверхности, что обуславливает невозможность их использования для различных поверхностей с элементами прерывания. Большое влияние на значения относительной погрешности данных методов оказывает расположение центральной точки, отклонение которой от центра исследуемой поверхности из-за расположенного в центре элемента прерывания вызывает экспоненциально возрастающую относительную погрешность метода. При увеличении отношения «радиуса» элемента прерывания к «радиусу» исследуемой поверхности значения относительной погрешности метода быстро прогрессируют и выходят за допускаемые нормированные значения.

Поэтому актуальна разработка нового метода апланометрии, в котором условие наличия центрально расположенной точки не было бы необходимым. В результате имитационного моделирования и практических исследований был предложен ме-

тод «шести точек», математический аппарат которого кардинально отличается от математического аппарата ранее исследованных методов. Все шесть измеряемых точек должны быть по возможности максимально равноудалены друг от друга, при этом необязательно наличие центрально расположенной точки. Таким образом, использование метода «шести точек» даёт возможность определения отклонения формы и расположения поверхностей, у которых элементы прерывания занимают до 80% поверхности, при этом измерения отличаются минимальным количеством контрольных точек и простотой их расположения.

Поскольку представление о форме реальной поверхности можно получить только на основании результатов ее измерения, то на практике всегда имеют дело не с реальной, а с измеренной поверхностью, которая представляет собой модель реальной поверхности детали. Для каждой реальной поверхности всегда можно выделить низкочастотную и высокочастотные составляющие отклонений точек, характеризующие ее макрогеометрию (погрешность формы), причем высокочастотные отклонения точек, как правило, пренебрежимо малы по сравнению с доминирующей низкочастотной составляющей.

К аппроксимирующим поверхностям предъявляют следующие требования:

- аппроксимирующие поверхности, выступающие в роли моделей реальных поверхностей деталей, должны сглаживать заменяемые реальные поверхности наилучшим образом, т.е. обеспечивать пренебрежимо малое несоответствие модели реальному объекту измерения;

- аппроксимирующие поверхности должны достаточно просто описываться аналитически;

- аналитические модели аппроксимирующих поверхностей должны строиться по минимальному количеству контролируемых точек.

Следует отметить, что в общем случае размеры контролируемых поверхностей несоизмеримо малы в сопоставлении с радиусами кривизны аппроксимирующих поверхностей (в силу незначительного относительного искривления поверхностей из-за погрешностей их формы в пределах нормируемого участка). Это обстоятельство позволяет, выбирая произвольным образом базовую точку на контролируемой поверхности, рассматривать всю поверхность как некоторую локальную окрестность выделенной базовой точки и исследовать ее методами дифференциальной геометрии.

Погрешность метода при измерении возникает из-за идеализации измеряемого объекта при значимом отличии принятой за основу модели объекта измерения от самого объекта (реальной контролируемой поверхности). Степень воздействия данного источника методической погрешности зависит от ряда влияющих факторов (рис. 1), основными из которых являются:

- а) размах высокочастотных отклонений точек реальной поверхности ( $R$ -фактор);

- б) расстояние между контролируемыми точками ( $L$ -фактор);

- в) вид аппроксимирующей поверхности ( $F$ -фактор).

Размах высокочастотных отклонений точек реальной поверхности связан прямой зависимостью с относительной погрешностью метода. Амплитуда высоко-

частотных отклонений точек реальной поверхности не должна превышать одной десятитысячной размера измеряемой поверхности.

Расстояние между контролируемыми точками с относительной погрешностью метода связано обратно пропорциональ-

ной зависимостью. Для наименьшей погрешности метода расстояние между контролируемыми точками должно быть максимальным.

Вид аппроксимирующей поверхности влияет на относительную погрешность метода незначительно.

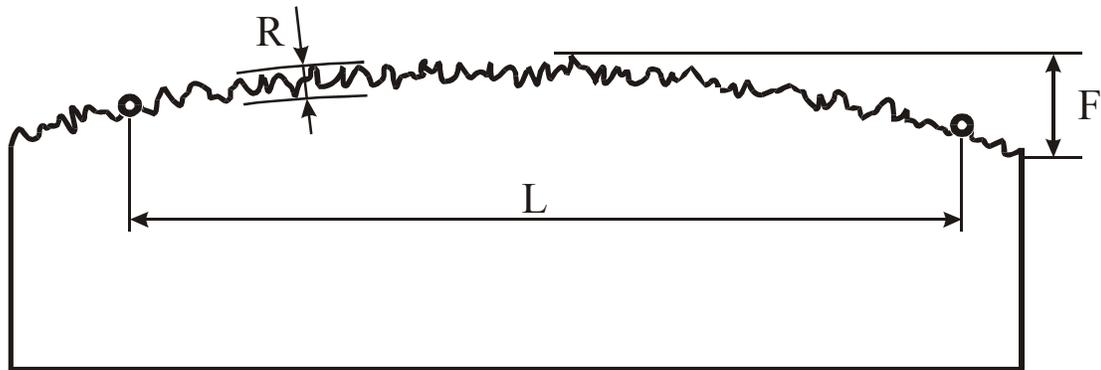


Рис. 1. Факторы, влияющие на методическую погрешность метода измерения

Исследования должны строиться на исходных данных в виде некоторого множества точек, случайным образом расположенных (рассеянных или разбросанных) по отношению к участку некоторой гладкой выпуклой (вогнутой или выпукловогнутой) теоретической поверхности второго порядка. Эта поверхность и будет определять в данном случае детерминированную низкочастотную составляющую отклонений точек (детерминированную модель реальной поверхности).

Методика имитационного моделирования должна включать следующие последовательно реализуемые стадии (рис. 2):

1) генерирование детерминированной модели реальной поверхности детали в виде аналитического выражения (уравнения) некоторой поверхности второго порядка. При этом для организации “слепого” эксперимента и для обеспечения необ-

ходимого разнообразия моделей в алгоритме их построения необходимо наличие некоторых стохастических элементов, как, например, случайный выбор вида поверхности второго порядка, ее определяющих параметров, расположения контролируемого участка и т.д.;

2) трансформация детерминированной модели в стохастическую модель реальной поверхности детали путем внесения возмущений с помощью генератора случайных отклонений точек. При этом предварительно должны быть выбраны вид закона распределения и значение дисперсии или среднего квадратического отклонения точек от детерминированной модели;

3) оценка отклонения формы полученной стохастической модели реальной поверхности детали;

4) сопоставление результатов оценки отклонения формы поверхности, получен-

ных разными методами, и определение методических погрешностей.

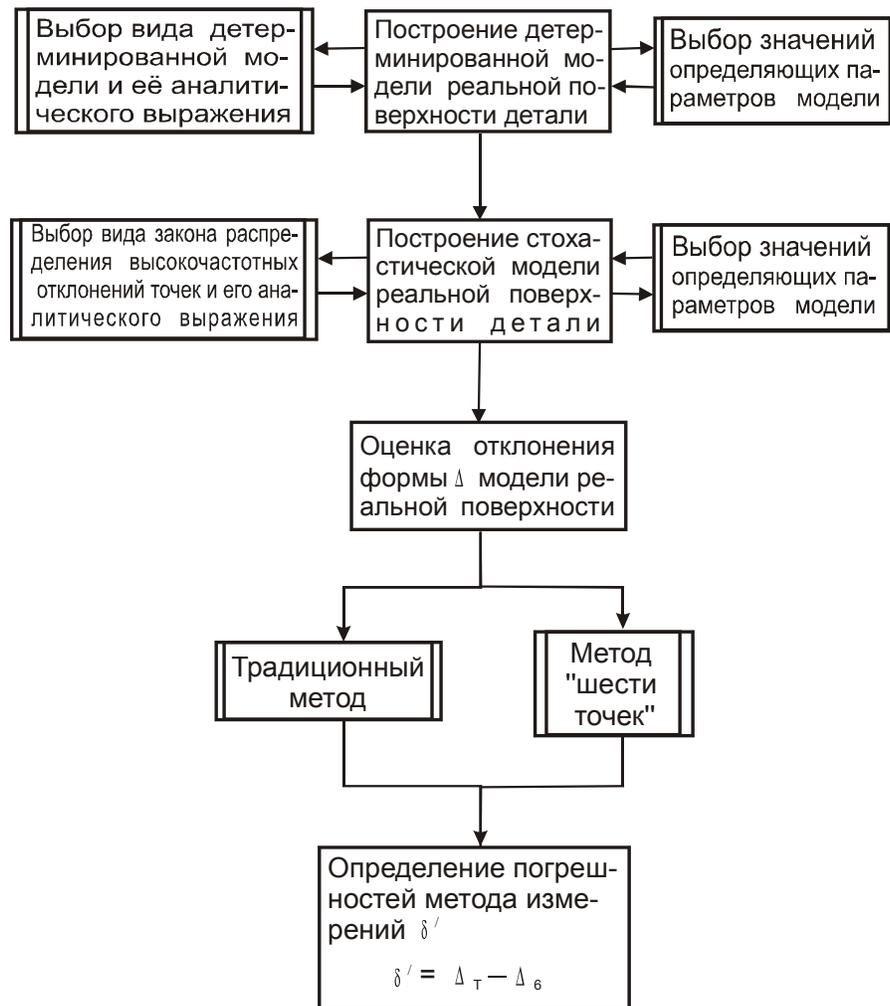


Рис. 2. Блок-схема проведения вычислительного эксперимента

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КООРДИНАТНОГО КОНТРОЛЯ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**В.Л.Соломахо**, доктор технических наук, профессор кафедры СМИС;  
**О.А. Кротова**, аспирант кафедры СМИС

Традиционный путь снижения суммарной погрешности измерения связан с уменьшением ее инструментальной составляющей, как правило, за счет разра-

ботки принципиально новых средств измерения (СИ). При существующих требованиях к точности измерений незначительное снижение погрешности обычно

приводит к существенному удорожанию СИ. Альтернативой является уменьшение суммарной погрешности за счет снижения ее методической составляющей. На данном этапе, в связи с развитием электронно-вычислительной техники, разработкой множества стандартных программных продуктов, позволяющих осуществлять расчеты различной сложности, появилась возможность проектирования специализированных методик, позволяющих существенно снизить методическую погрешность.

В качестве примера рассмотрим традиционную методику контроля поперечного сечения детали типа тела вращения.

Известно аналитическое решение задачи оптимизации числа контрольных точек для нахождения центра и радиуса базовой окружности при равномерном расположении точек на профиле [1, с. 86] (методика 1). Радиус-вектор реального профиля поперечного сечения вала может быть описан рядом Фурье с ограниченным числом членов:

$$R(\varphi) = R_0 + \sum_{k=1}^{N_q} X_k \cos(\varphi_k + \varphi_{0k})$$

где  $R_0$  – средний радиус профиля;

$X_k, \varphi_{0k}$  – соответственно амплитуда и начальная фаза  $k$ -й гармоники;

$N_q$  – номер высшей гармоники;

$\varphi_k$  – угол поворота.

Так как контрольные точки на профиле мы выбираем случайным образом, то можно положить  $\varphi_{0k} = 0$ . При этом профиль может быть описан выражением

$$R(\varphi) = R_0 + X_k \cos(\varphi) \quad (1)$$

Опираясь на расчеты, представленные в работе [1, с. 88], получаем, что вероятность  $P$  того, что при измерениях  $n$  координат точек профиля описываемого выражением (1), относительная погрешность измерения не превысит допускового значения  $[\delta]$ :

$$P \geq \left[ 1 - \left( \frac{[\delta]}{P_1} \right)^2 \right]^N, \text{ где } N = n - 1.$$

Путем математических преобразований получим

$$N \geq \frac{\ln \left( 1 - \frac{[\delta]^2}{P_1^2} \right)}{\ln \left( 1 - \frac{[\delta]^2}{P_1^2} \right)}$$

Соответственно

$$n \geq n_{\min} = \frac{\ln(1 - \sqrt{P})}{\ln \left( 1 - \frac{1}{\pi} \arccos(1 - \sqrt{P}) \right)} + 1.$$

Следовательно, методическая погрешность измерения и заданная вероятность условия, что погрешность измерения не превысит допускового значения, определяют минимально необходимое количество контрольных точек, т.е.

$$n = f(P, [\delta]).$$

При решении комплекса измерительных задач мы достаточно часто сталкиваемся с поверхностями, имеющими элементы прерывания (так называемыми «неполными» поверхностями).

Экспериментальные исследования показали, что использование методики 1 для поверхностей, угловой диапазон рабочей поверхности которых менее  $200^\circ$ , приводит к появлению относительной методи-

ческой погрешности около 200 %; при угловом диапазоне от 200°  $\delta^*$  не превышает

30 % (т.е. допустимого значения) (рис. 1).

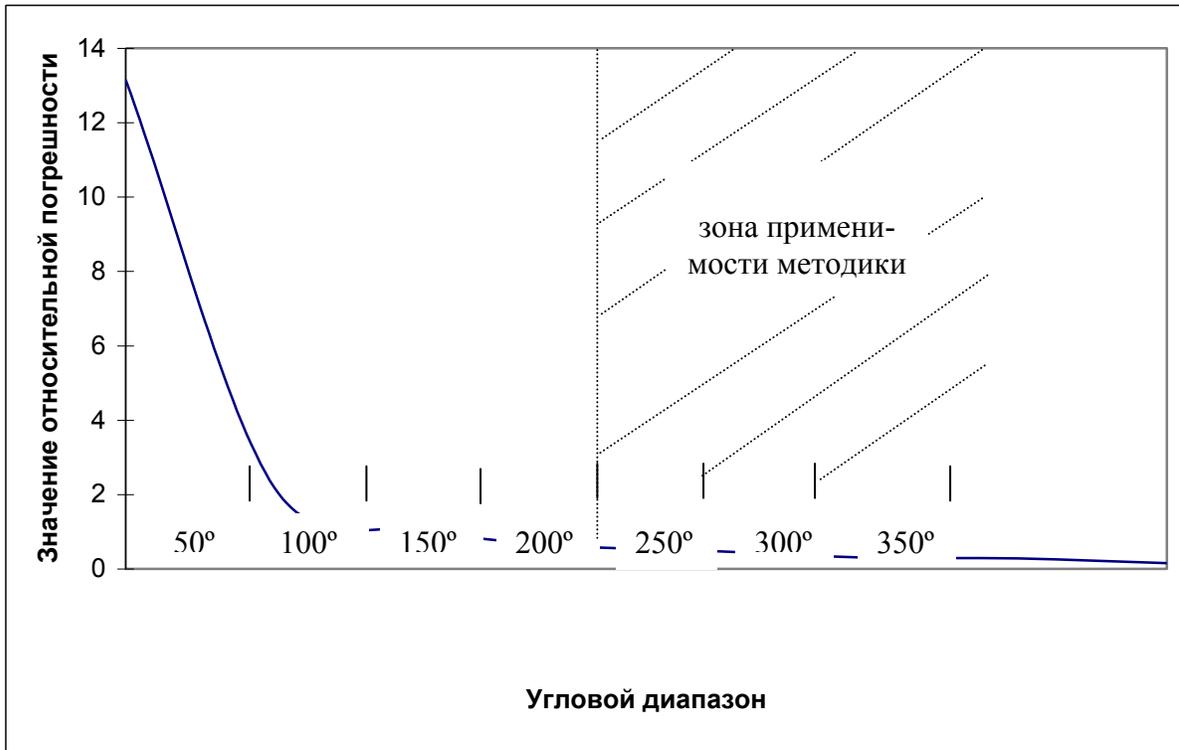


Рис. 1. Зависимость относительной методической погрешности от углового диапазона (методика 1)

Таким образом, при неравномерном расположении контрольных точек на профиле объекта измерения необходимо использовать методику, учитывающую этот фактор.

Нижеописанная методика (методика 2) выполнения координатных измерений сложных поверхностей, представленных ограниченными участками окружности, позволяет обеспечить значение относительной методической погрешности, не превышающее допустимого значения.

Радиус-вектор реального профиля поперечного сечения цилиндрической или конической поверхности может быть описан выражением

$$R_i(\varphi) = R_0 + x_k \cos(\varphi + \alpha_i)$$

где  $R_0$  – номинальный радиус окружности;  
 $x_k$  – амплитуда гармоники.

Определим относительную методическую погрешность измерения в данном сечении:

$$\delta = \frac{\Delta - \Delta^*}{\Delta} = 1 - \frac{\Delta^*}{\Delta},$$

где  $\Delta = 2x_k$  – теоретическое значение погрешности измерения, а  $\Delta^*$  – максимальное значение погрешности для данного сечения, полученное в ходе измерения, определяемое как  $\Delta^* = \max \Delta_{i,j} = \max |R_i - R_j|$ , при  $\varphi = \text{const}$  и  $i \neq j$ ,

где  $R_j(\varphi) = R_0 + x_k \cos(\varphi + \alpha_j)$

Выполняя математические преобразования, получим

$$\Delta_{ij} = x_k \left| \cos(\varphi + \alpha_i) - \cos(\varphi + \alpha_j) \right| = 2x_k \left| \sin \frac{\alpha_i - \alpha_j}{2} \right| \left| \sin \left( k\varphi + \frac{\alpha_i + \alpha_j}{2} \right) \right|. \quad (3)$$

Очевидно, что наибольшее значение  $\Delta^*$  могут реализовывать только те величины  $\Delta_{ij}$ , амплитуда которых максимальна, т.е. когда

$$\left| \sin \frac{\alpha_i - \alpha_j}{2} \right| = 1,$$

что равносильно условию

$$\sin \frac{\alpha_i - \alpha_j}{2} = \pm 1.$$

Это достигается для тех  $\alpha_i$  и  $\alpha_j$ , для которых разность  $|\alpha_i - \alpha_j|$  достаточно близка к  $\pi$ .

Введем ряд условий.

1. Будем считать, что  $\alpha_1 < \alpha_2 < \dots < \alpha_n$ .

2. Точки  $\alpha_{i+1}$  и  $\alpha_i$  будем считать различными только в том случае, когда  $\alpha_{i+1} - \alpha_i > \alpha^*$ , где  $\alpha^* = \frac{2\pi z}{360}$ ,  $z$  – угловой шаг измерения.

Подставляя в формулу (3) вместо  $\alpha_j$  величину  $\alpha_i + \pi$ , получаем

$$\Delta^* \leq \max \Delta_{ij} = 2x_k \max \left| \sin \left( k\varphi + \frac{2\alpha_i + \pi}{2} \right) \right| = 2x_k \max |\cos k\varphi + \alpha_i|, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Рассмотрим  $n$  функций

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1^* &= 2x_k \left| \cos(\varphi + \alpha_1) \right| \\ \Delta_2^* &= 2x_k \left| \cos(\varphi + \alpha_2) \right| \\ &\dots \dots \dots \\ \Delta_n^* &= 2x_k \left| \cos(\varphi + \alpha_n) \right| \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $\gamma_i$  – значение относительной погрешности в  $i$ -й точке.

Нас интересуют максимальные значения  $\gamma_i$  на  $i$ -промежутке. В этом случае кривая  $\gamma_i$  на  $i$ -промежутке будет совпадать с  $\Delta_{i \max}^*$  (рис. 2).

Считаем, что функции  $\gamma_i(\varphi)$  определены формулами (2) на всем множестве действительных чисел.

Введем обозначение

$$\gamma_i(\varphi) = \left| \frac{\Delta_i^*}{\Delta} \right| = \left| \cos(\varphi + \alpha_i) \right|, \quad i = 1, \dots, n,$$

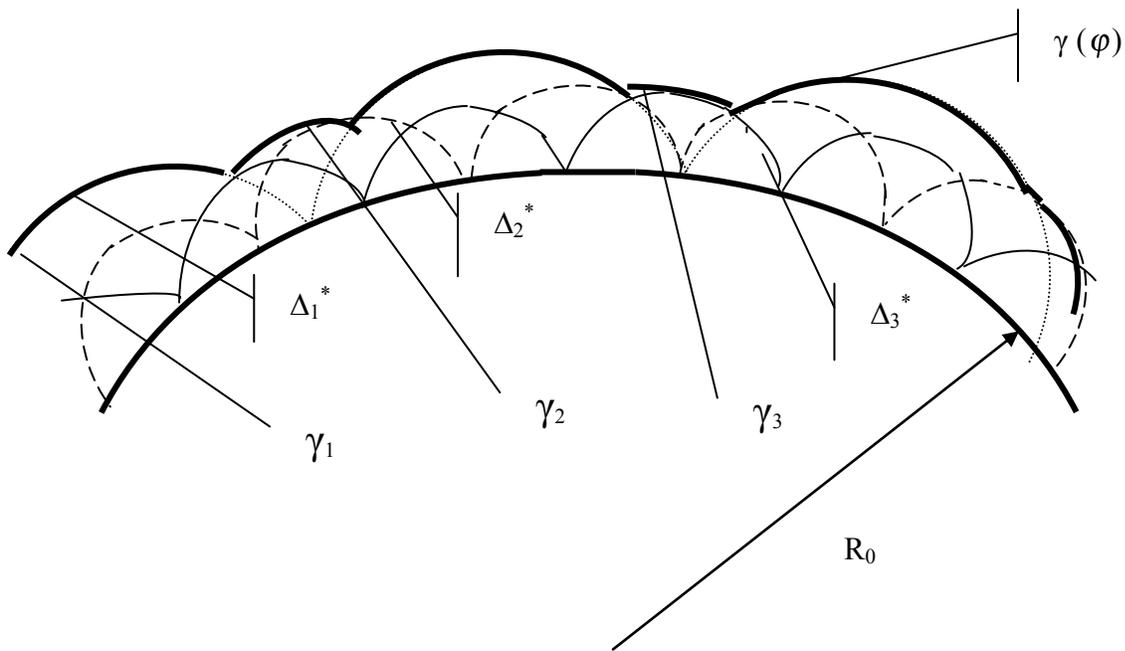


Рис. 2. Графики функций  $\Delta_i$  и  $\gamma_i$

Функция  $\gamma(\varphi) = \max\{\gamma_1(\varphi), \dots, \gamma_n(\varphi)\}$  имеет локальные максимумы в точках вида  $\frac{m\pi - \alpha_i}{k}$ ,  $i = 1, \dots, n, m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ . Число таких точек на отрезке  $\left[0, \frac{2\pi}{k}\right]$  не более  $2n$ . Обозначим точки локального максимума, попавшие в  $\left[0, \frac{2\pi}{k}\right]$  символами  $t_1, \dots, t_{2n}$  так, что  $t_l \leq t_{l+1}$ ,  $l = 1, \dots, 2n-1$ .

Глобальный максимум функция  $\gamma(\varphi)$  принимает в точке  $\frac{t_{2p} + t_{2p+1}}{2}$  такой, что  $|t_{p+1} - t_p| = \max\{t_{l+1} - t_l\}$ . Введем обозначение  $A = |t_{p+1} - t_p|$ .

На рис. 3 представлен пример неравномерного расположения точек («неполная» окружность, ограниченная сектором  $\left[A, \frac{2\pi}{k}\right]$ ).

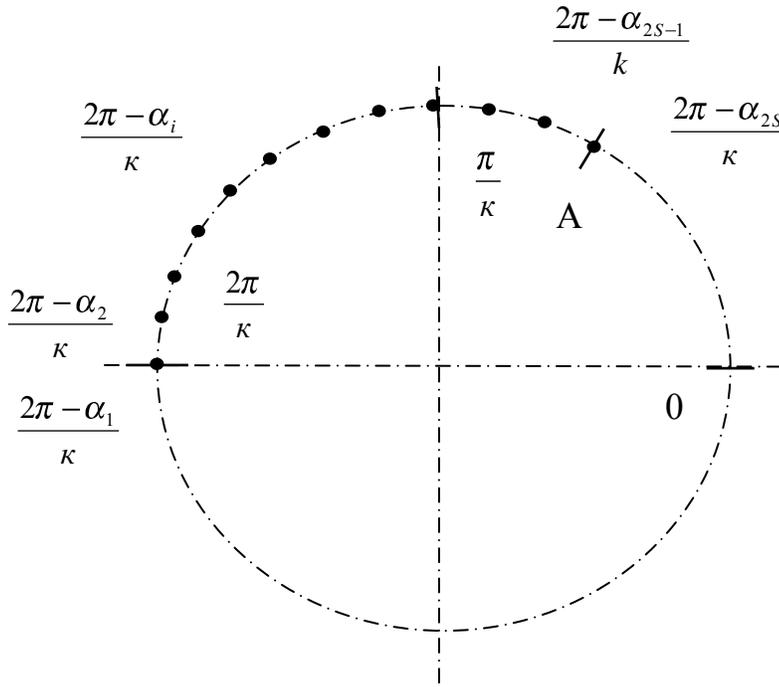


Рис. 3. Расположение точек на «неполной» окружности

В данном случае на  $\left[ A, \frac{2\pi}{k} \right]$  расположены  $2S$  точек с равномерным шагом (шаг  $\alpha^*$ ), начиная от точки  $\frac{2\pi}{k}$ .

При этом дуга, ограниченная сектором  $\left[ A, \frac{2\pi}{k} \right]$ , определяется как

$$A = \frac{2\pi}{k} - (2S-1)\alpha^*.$$

Очевидно, что  $\delta_{\max} = 1 - \left| \cos \frac{A}{2} \right|$ .

Поскольку  $0 < a < A < \frac{\pi}{k}$ , то соответственно  $0 < k \frac{A}{2} < \frac{\pi}{2}$  и, следовательно,

$$\left| \cos k \frac{A}{2} \right| = \cos k \frac{A}{2}, \text{ т.е.}$$

$$\delta_{\max} = 1 - \cos k \frac{A}{2}. \quad (4)$$

Определим уравнение, описывающее функцию  $\delta(\varphi)$  на  $[0, A]$

$$\delta(\varphi) = \begin{cases} 1 - |\cos k\varphi|, & 0 \leq \varphi \leq \frac{A}{2}; \\ 1 - |\cos k(\varphi - A)|, & \frac{A}{2} \leq \varphi \leq A. \end{cases}$$

Нас интересует именно этот интервал, т.к. значения  $\delta(\varphi)$  на нем могут быть получены только косвенно (контрольные точки на  $[0, A]$  отсутствуют). Таким образом, анализируя имеющуюся информацию о поведении функции  $\delta(\varphi)$  на  $\left[A, \frac{2\pi}{k}\right]$ , мы должны с достаточной вероятностью получить значения  $\delta(\varphi)$  на  $[0, A]$

Для рассматриваемых углов  $\varphi$  косинусы положительны, поэтому

$$\delta(\varphi) = \begin{cases} 1 - \cos k\varphi, & 0 \leq \varphi \leq \frac{A}{2}; \\ 1 - \cos k(\varphi - A), & \frac{A}{2} \leq \varphi \leq A. \end{cases}$$

Функция  $\delta(\varphi)$  меняется на участке  $[0, \delta_{\max}]$  немонотонно. Плотность распределения случайной величины  $\varphi$  определяется как

$$f(\varphi) = \begin{cases} \frac{1}{A}, & 0 \leq \varphi \leq A; \\ 0, & \varphi \notin [0, A]. \end{cases}$$

Найдем функцию распределения  $G(\delta)$  случайной величины  $\delta$ :

$$G(\delta) = \frac{2}{Ak} \arccos(1 - \delta)$$

Плотность вероятности  $g(\delta)$  задается формулой

$$g(\varphi) = G(\delta) = \begin{cases} \frac{2}{Ak} \frac{1}{\sqrt{1 - (1 - \delta)^2}}, & 0 < \delta \leq \delta_{\max}; \\ 0, & \delta \notin [0, \delta_{\max}]. \end{cases}$$

Используя это, можно вычислить вероятность того, что относительная методическая погрешность  $\delta$  не будет превосходить некоторой допустимой величины  $\delta_{\text{дон}}$ .

$$P(\delta \leq \delta_{\text{дон}}) = \int_0^{\delta_{\text{дон}}} g(\delta) d\delta = \int_0^{\delta_{\text{дон}}} \frac{2}{kA} \frac{1}{\sqrt{1 - \delta^2}} d\delta = \frac{2}{kA} \arccos \left( \frac{\delta_{\text{дон}}}{\delta=0} \right),$$

т.е. 
$$P = \frac{2}{kA} \arccos \left( \frac{\delta_{\text{дон}}}{\delta=0} \right)$$

Отсюда находим

$$A = \frac{2}{kP} \arccos \left( \frac{\delta_{\text{дон}}}{\delta=0} \right)$$

Используя формулу (4), находим число измерений  $n = 2S$ , обеспечивающее (с вероятностью  $P$ ) погрешность измерения в пределах допуска.

$$\frac{2\pi}{k} - (S - 1) \alpha^* = \frac{2}{k\pi} \arccos \left( \frac{\delta_{\text{дон}}}{\delta=0} \right)$$

Откуда

$$2S = 1 + \frac{2\pi}{ka^*} - \frac{2}{kP\alpha^*} \arccos \left( \frac{\delta_{\text{дон}}}{\delta=0} \right)$$

Поскольку  $a = \frac{2\pi z}{360k}$ , то

$$n = 2S = 1 + \frac{360}{z} \left( 1 - \frac{2}{\pi P} \arccos \left( \frac{\delta_{\text{дон}}}{\delta=0} \right) \right)$$

Для удобства проектирования МВИ введем классификацию [2, с. 30], для чего используем «коэффициент целостности» ( $\xi$ ), который рассчитывается как отношение углового диапазона измеряемой поверхности к угловому диапазону полной окружности, т.е.

$$\xi = \frac{\alpha_i}{360^\circ}.$$

В результате анализа экспериментальных данных получены рекомендации по применимости методик при контроле действительных размеров, которые представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

| Наименование методики | Коэффициент целостности ( $\xi$ )                  |           |   |
|-----------------------|--|-----------|---|
|                       | 0,14-0,22  | 0,22-0,56 | 0,56-1,0  |
| Методика 1            | Использование методики невозможно                  |           | Значение относительной погрешности не превышает допустимого |
| Методика 2            | Необходимо использование поправочных коэффициентов |           |   |

При контроле погрешностей расположения при коэффициенте целостности  $\xi \geq 0,3$  возможно использование методики 1, при  $\xi < 0,3$  необходимо использовать методику, учитывающую фактор неравномерного расположения контрольных точек на профиле поверхности.

### Литература

1. Соломахо В.Л. Метрологическое обеспечение координатных измерений в машиностроении. – Мн.: ООО «Реклама – Факсбелар», 2001. – 131 с.
2. Соломахо В.Л., Кротова О.А. Анализ применимости методик выполнения координатных измерений к сложным поверхностям, имеющим элементы прерывания // Метрология и приборостроение. – 2003. – № 3. – С. 26.

## МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ МОМЕНТОВ СИЛ ЗАТЯЖКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

**Э.С.Блюменталь**, кандидат технических наук, доцент кафедры СМИС;  
**В.Л.Юрчик**, Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в Беларуси все большее внимание уделяется метрологическому обеспечению измерения моментов сил затяжки резьбовых соединений.

Это обусловлено в первую очередь расширением сертификации услуг автосервиса, что требует применения приборов для измерения моментов сил (динамометриче-

ских ключей), внесенных в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь и прошедших государственную или ведомственную поверку.

Существует много конструкций приборов для измерения или контроля моментов сил затяжки резьбовых соединений (ключей динамометрических). Условно их можно подразделить на механические и электронные (электрические). В зависимости от способа передачи измерительной информации приборы подразделяются на аналоговые и цифровые.

Принцип действия всех динамометрических ключей основан на измерении (воспроизведении) деформации преобразующего элемента, к которому прикладывается измеряемый момент сил, либо сила, вызывающая этот момент, например, при закручивании резьбовых соединений. В качестве такого преобразующего элемента чаще всего применяют:

- торсион (деформация кручения);
- балку, упругий элемент более сложной формы (деформация изгиба, сжатия, редко – растяжения);
- плоскую пружину, пакет плоских пружин (деформация изгиба);
- спиральную пружину (деформация сжатия или растяжения);
- комбинацию перечисленных элементов.

Для контроля моментов сил чаще всего применяют механические «щелчковые» динамометрические ключи, момент закручивания которыми не может превысить заданный, а по его достижении начинается «прощелкивание» рабочей части. Также для контроля моментов сил применяют электронные динамометрические ключи с визуальным или звуковым сигналом о достижении заданного момента сил. Все

остальные типы динамометрических ключей применяют преимущественно для измерения моментов сил.

Однако почти все ключи, применяемые в Республике Беларусь, обладают не менее чем одним из следующих недостатков:

- большинство не внесено в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь;
- они дорогостоящи, сложны в применении и при поверке, требуют очень осторожного обращения (лабораторные условия);
- они громоздки и неудобны для применения в труднодоступных местах автомобиля;
- они обладают низкой точностью (даже для применения в автосервисе) и низкой надежностью;
- они не являются универсальными;
- они не обладают широким диапазоном измерений моментов сил.

Анализ технических характеристик применяемых в Республике Беларусь динамометрических ключей таких фирм, как Gedore, USAG, Kamasa, King Tony, Kinzo, Unior, Dremotronic, Torcoflex и российских ключей типа КД (Краснодар) и КМШ (Новосибирск), показал, что основными недостатками этих ключей являются первые два из перечисленных выше. Универсальных приборов мало и они дорогостоящи, а другие более дешевые приборы производства Республики Польша и Тайваня, кроме того, обладают низкими точностью и надежностью и узким диапазоном измерений моментов сил.

Поэтому мы решали задачу по созданию относительно дешевого, компактного, надежного цехового прибора (динамометрического ключа) для измерений мо-

ментов сил затяжки резьбовых соединений в широком диапазоне, удобного для применения в труднодоступных местах автомобиля и при поверке, который обладал бы достаточной точностью для применения в автосервисе и на производстве в машиностроении.

Нами разработана конструкция прибора, который позволяет измерять в широком диапазоне моменты сил затяжки резьбовых соединений.

Принцип действия ключа основан на уравнивании измеряемого момента упругой деформации торсиона, один конец которого через втулку и подвижные тяги соединен с трибосекторным механизмом, который жестко закреплен на плате, запрессованной на второй конец торсиона. Трибосекторный механизм преобразует поворот одного конца торсиона относительно второго в круговое движение стрелки показывающего устройства.

За счет применения торсионов переменных диаметров и перпендикулярного расположения относительно них трибосекторного механизма со стрелочным отсчетным устройством мы добились компактности прибора и широкого диапазона измерений моментов сил затяжки резьбовых соединений. На одном конце торсиона расположен квадрат стандартного размера под любую переходную головку, а на другом конце имеется отверстие для ручки.

За счет применения гибких соединительных тяг мы добились удобства в регу-

лировке и достаточной для применения в автосервисе и общем машиностроении точности измерения (классы точности – 2,5; 4) при относительно низкой стоимости сборки, регулировки и ремонта прибора.

За счет применения в приборе заимствованных деталей, которые изготавливаются в массовом производстве на приборостроительных заводах Минска, удалось добиться относительно низкой цены изготовления прибора при высокой надежности и возможности цехового применения [1].

Описанные выше ключи динамометрические прошли Государственные контрольные испытания и внесены в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь. Поверка таких приборов осуществляется согласно методической инструкции МИ 55-99 [2].

В настоящее время эти динамометрические ключи выпускаются обществом с ограниченной ответственностью «Нифор».

Ниже приведены основные технические характеристики выпускаемых динамометрических ключей МТ.

Направление действия ключей и диапазон измерения момента сил в зависимости от условного обозначения, а также класс точности, цена деления, предел допускаемой приведенной погрешности и размах показаний соответствуют указанным в табл. 1.

Таблица 1

## Технические и метрологические характеристики динамометрических ключей МТ

| Условное обозначение ключа | Направление действия    | Диапазон измерений момента сил, Н · м | Класс точности | Цена деления, Н · м | Предел допускаемой приведенной погрешности, % | Размах показаний ключей, Н · м |
|----------------------------|-------------------------|---------------------------------------|----------------|---------------------|---|--------------------------------|
| МТ-1-60                    | Двухстороннего действия | 0 - 60                                | 2,5 (4)        | 2,5 (5,0)           | $\pm 2,5 (\pm 4)$                             | 1,5 (2,4)                      |
| МТ-1-120                   |                         | 0 - 125                               | 2,5 (4)        | 5,0(5,0)            | $\pm 2,5 (\pm 4)$                             | 3,125 (5,0)                    |
| МТ-1-240                   |                         | 0 - 250                               | 2,5 (4)        | 10,0                | $\pm 2,5 (\pm 4)$                             | 6,25 (10)                      |
| МТ-1-500                   |                         | 0 - 500                               | 2,5 (4)        | 20,0                | $\pm 2,5 (\pm 4)$                             | 12,5 (20)                      |
| МТ-1-800                   |                         | 0 - 800                               | 4              | 20,0                | $\pm 4$                                       | 32                             |
| МТ-1-1500                  |                         | 0 - 1500                              | 4              | 100,0               | $\pm 4$                                       | 60                             |
| МТ-2-60                    |                         | Одностороннего действия               | 0 - 60         | 1,5 (2,5)           | 1,5 (2,5)                                     | $\pm 1,5 (\pm 2,5)$            |
| МТ-2-120                   | 0 - 120                 |                                       | 2,5 (4)        | 2,5 (5,0)           | $\pm 2,5 (\pm 4)$                             | 3,0 (4,8)                      |
| МТ-2-240                   | 0 - 240                 |                                       | 2,5 (4)        | 5,0 (10,0)          | $\pm 2,5 (\pm 4)$                             | 6,0 (9,6)                      |
| МТ-2-500                   | 0 - 500                 |                                       | 2,5 (4)        | 10,0                | $\pm 2,5 (\pm 4)$                             | 12,5 (20)                      |

Габаритные размеры ключей, предельные отклонения квадрата и масса ключей указаны в табл. 2.

Таблица 2

## Технические характеристики динамометрических ключей МТ

| Условное обозначение ключа | Габаритные размеры не более, мм | Предельные отклонения квадрата, мм | Масса, не более, кг |
|----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|
| МТ-1-60                    | 90x90x60                        | 12,5 - 0,25                        | 0,3                 |
| МТ-1-120                   | 90x90x60                        | 12,5 - 0,25                        | 0,3                 |
| МТ-1-240                   | 90x90x60                        | 12,5 - 0,25                        | 0,3                 |
| МТ-1-500                   | 140x115x70                      | 20,0 - 1,0                         | 0,8                 |
| МТ-1-800                   | 165x115x70                      | 20,0 - 1,0                         | 1,5                 |
| МТ-1-1500                  | 300x175x100                     | 40,0 - 1,0                         | 3,5                 |
| МТ-2-60                    | 90x90x60                        | 12,5 - 0,25                        | 0,5                 |
| МТ-2-120                   | 90x90x60                        | 12,5 - 0,25                        | 0,5                 |
| МТ-2-240                   | 90x90x60                        | 12,5 - 0,25                        | 0,5                 |
| МТ-2-500                   | 180x115x70                      | 20,0 - 1,0                         | 1,2                 |

Ключи изготавливаются из следующих материалов:

- торсион из стали марок 40Х по ГОСТ 4543 или 65Г по ГОСТ 14959;
- кронштейн и втулка из стали 20 по ГОСТ 1050.

Ключи устойчивы к воздействию температуры окружающего воздуха от минус 10 до плюс 30 °С и к воздействию относительной влажности окружающего воздуха до 98% при температуре 25 °С. Размах показаний ключей не превышает абсолютно-

го значения предела допускаемой погрешности.

Ключи выдерживают кратковременную перегрузку (до 30 с) моментом, превышающим на 15% верхний предел показаний. Испытания показали, что ключи выдерживают 1000 циклов переменной нагрузки, изменяющейся от 0 до  $50 \pm 5\%$  от верхнего предела измерений. Средняя наработка на отказ ключей с учетом технического обслуживания, регламентируемого паспортом, составляет  $10^4$  ч.

## Литература

1. Блюменталь Э.С., Юрчик В.Л. Метрологическое обеспечение измерения крутящего момента // Тезисы доклада на 52 междун. конференции проф.-преп. состава, ученых, аспирантов и студентов БГПА. – Мн., 1997.
2. МИ 55-99. Методическая инструкция. Ключи динамометрические. Методика поверки. – Мн., 1999.

## ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЯ ЗАКАЛЕННЫХ МЕТАЛЛОВ НА КОНТАКТНУЮ УСТАЛОСТЬ

**А.В.Кусяк**, кандидат технических наук, доцент кафедры СМИС

Испытания на контактную усталость закаленных металлов (до твердости 60 – 64 HRC<sub>3</sub>) производятся при выборе материалов и контроле их качества, обосновании конструктивно-технологических решений, а также при оценке расчетов на этапе проектирования деталей машин и приборов, работающих при циклическом контактном нагружении.

В практике испытаний наиболее частое применение нашли следующие схемы нагружения контактирующих тел:

- качение без проскальзывания;

- качение с внешней касательной нагрузкой;
- пульсирующее нагружение.

При проведении испытаний одной серии образцов металлов необходимо соблюдать неизменность следующих условий:

- схемы нагружения;
- обоснованной частоты нагружения в пределах 30...1000 Гц;
- сорта смазки;
- способа подвода смазки;
- количества смазки;

- критерия разрушения.

При обосновании частоты нагружения образцов необходимо исходить из предварительных исследований структуры и физико-механических свойств металлов. При изменении этих параметров по сравнению с их исходным состоянием необходимо корректировать частоту нагружения. Для контроля структурного состояния поверхностных слоев образцов необходимо провести испытания не менее трех образцов, изготовленных из металла со стандартным пределом контактной выносливости.

Способ подвода смазки и ее количество должны быть такими, чтобы обеспечить неизменность структурного состояния образцов при повышении температуры контактирующих элементов.

В отношении критерия разрушения при испытаниях образцов металлов, закаленных до высокой твердости, следует придерживаться общего положения, что начальное разрушение является критическим состоянием образца и может быть выбрано в качестве критерия разрушения.

Контроль момента начального разрушения может быть осуществлен по изменению шума при работе испытательного стенда или при помощи специальных электронных устройств.

При проведении испытаний должно использоваться испытательное оборудование с модернизированной схемой нагружения, аттестованное в соответствии с СТБ 8004 и СТБ 8015 и отвечающее следующим требованиям:

- обеспечивать плавное нагружение образца до необходимого значения нагрузки после того, как будет достигнута заданная частота нагружения;

- автоматически выключаться при резком изменении нагрузки или отсутствии подачи смазки;

- автоматически выключаться при достижении начального разрушения поверхностного слоя образца;

- нагружать образец нормальной нагрузкой с относительной погрешностью не более  $\pm 3\%$  и касательной нагрузкой с относительной погрешностью не более  $\pm 5\%$  значения измеряемой величины;

- поддерживать частоту нагружения образца с относительной погрешностью, не превышающей  $\pm 5\%$  значения измеряемой величины.

В конструкциях испытательных стендов, имеющих пружинный механизм нагружения, следует предусмотреть конструктивные решения, снижающие влияние резонансных явлений при испытаниях, например парные конические пружины или пружины с переменным расстоянием между витками.

Важным моментом при подготовке к испытаниям является соблюдение основных требований к образцам и контртелам:

- изготовление образцов и контртел производится из металла одной марки и плавки с использованием одного технологического процесса;

- изготовление образцов и контртел с одинаковой макро- и микроструктурой и отклонениями твердости не более  $\pm 1$  HRC<sub>3</sub>, причем нижнее предельное значение твердости должно быть не менее 60 HRC<sub>3</sub>;

- шероховатость рабочих поверхностей образцов и контртел по параметру Ra должна быть не более 0,3 мкм по ГОСТ 2789;

- изготовление образцов и контртел должно осуществляться не грубее 6 качества по ГОСТ 25346 с соблюдением ре-

комендаций ГОСТ 24643 по геометрической точности.

Важным моментом при проведении испытаний является выбор числа образцов при оценке параметров функции распределения предела контактной выносливости, который осуществляется по РД 50-690-89 исходя из нормального закона распределения.

По РД 50-54-30-87 рекомендуется выбирать не менее 30 образцов при базе испытаний  $10^8$  циклов для закаленных образцов с твердостью выше 40 HRC<sub>3</sub>, имеющих горизонтальный участок на кривой контактной усталости и  $2 \cdot 10^8 - 5 \cdot 10^8$  – без наличия горизонтального участка кривой.

Для построения кривой контактной усталости в статистическом аспекте на 3-5 уровнях напряжений, превышающих предел контактной выносливости, испытыва-

ют партию одинаковых образцов до разрушения или до достижения базового числа циклов нагружения. Кривые контактной усталости строят в полулогарифмических координатах; ординаты – наибольшие значения напряжений цикла  $\sigma_{\max}$ , а абсциссы – логарифмы чисел циклов до разрушения  $\lg N$  или в двойных логарифмических координатах  $\lg(\sigma_{\max}) - \lg N$ .

Результаты испытаний подвергают статистической оценке и регрессионному анализу.

При обработке результатов испытаний необходимо учитывать накопленную пластическую деформацию образцов и контролел через уточнение значения  $\sigma_{\max}$ .

По уточненным значениям  $\sigma_{\max}$  необходимо построить дополнительную кривую контактной усталости с учетом пластической деформации.

## Литература

1. СТБ 8004-93. Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Метрологическая аттестация средств измерений.
2. СТБ 8015-2000. Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Оборудование испытательное. Порядок аттестации.
3. Р50-54-30-87. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы испытаний на контактную усталость.
4. Р50-690-89. Методы оценки показателей надежности по эксплуатационным данным: Методические указания.

## ВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ СИЛ НА ПАРАМЕТРЫ УДАРНОГО ИМПУЛЬСА ПРИ КОНТРОЛЕ ВЯЗКОУПРУГИХ МАТЕРИАЛОВ

**В.А.Рудницкий**, доктор технических наук, Институт прикладной физики НАН Беларуси;  
**А.П.Крень**, кандидат технических наук, Институт прикладной физики НАН Беларуси;  
**И.Г.Дейкун**, аспирант кафедры СМИС

При испытании вязкоупругих материалов методом ударного вдавливания одним из основных условий достижения высокой точности определения физико-механических характеристик является обеспечение достоверной регистрации измерительным прибором значений ударного импульса  $i$ , длительности  $\tau$  и максимальной глубины вдавливания индентора  $\alpha_{\max}$ . Согласно результатам, полученным авторами [1, 2, 3], уравнение для контактной силы на активном этапе удара в общем виде описывается следующей зависимостью:

$$F = k\alpha^{3/2} + \eta v\alpha^\lambda \pm Q, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – глубина вдавливания;

$k$  – динамическая контактная жесткость;

$v$  – текущая скорость внедрения индентора;

$\eta$  – коэффициент вязкости;

$Q = mg$  – сила тяжести;

$M$  – масса индентора;

$G$  – ускорение свободного падения;

$\lambda$  – коэффициент.

В данной формуле знаки "±" относятся соответственно к удару, при котором направление действия силы тяжести совпадает с направлением движения индентора (удар об «пол») и удару, при котором направления движения индентора и дей-

ствия силы тяжести противоположны (удар о «потолок»).

На практике наиболее часто производят испытания изделий, расположенных горизонтально (удар об «пол»). В этом случае вектор  $Q$  будет направлен вертикально вниз и иметь знак, противоположный знакам первых двух составляющих силы в уравнении (1). Для испытательного удара, при индентировании вязкоупругих материалов, последним слагаемым в уравнении для контактной силы обычно пренебрегают [4]. В то же время при испытании материалов с относительно низкой жесткостью, например полиуретанов, ввиду наличия неоднородностей в слоях материала для получения объективных данных о свойствах необходимо осуществить съём информации с достаточной большой глубины и площади поверхности. Из-за того, что размеры нагружающего устройства, как правило, ограничены, необходимая глубина внедрения индентора достигается путем увеличения предударной энергии за счет увеличения массы индентора. При этом контактное усилие становится сопоставимым с силой тяжести и неучет ее влияния может привести к достаточно значительным погрешностям в определении длительности удара, максимального перемещения и ударного импульса, текущее значение которого вычисляется по формуле

$$I = \int_0^{\tau} F(\alpha, v) \cdot dt = m \cdot (v_0 - v) - Q \cdot \tau,$$

где  $v_0$  – предударная скорость индентора;  
 $v$  – скорость индентора после соударения;  
 $\tau$  – время ударного процесса.

Влияние силы тяжести можно проиллюстрировать с помощью анализа изменения потенциальной энергии в процессе вдавливания индентора при ударе. Учитывая, что потенциальная энергия при ударе создается только силами упругого деформирования, запишем выражение для потенциальной энергии:

$$W = \int_0^{\alpha} (k\alpha^{3/2} - Q)d\alpha = \frac{2}{5}k\alpha^{5/2} - Q\alpha, \quad (2)$$

которое складывается из потенциальной энергии сил гравитации

$$W_{gp} = -Q\alpha \quad (3)$$

и запасенной упругой энергии деформированного материала

$$W_y = \frac{2}{5}k\alpha^{5/2},$$

где  $k$  – контактная жесткость (в уравнении Герца).

В соответствии с уравнением (2) динамика системы будет определяться соотношением этих двух энергий.

При этом из уравнения (3) следует, что массой индентора можно пренебречь при условии

$$\alpha \gg \left( \frac{5Q}{2k} \right)^{\frac{2}{3}}.$$

На рис. 1 представлена зависимость изменения потенциальной энергии  $W$  от глубины вдавливания  $\alpha$  при индентировании образца из эластичного пенополиуретана марки N 2336 (ГО 2254-001-51818280-99), имеющего плотность  $22 \text{ кг/м}^3$  ( $k = 2830 \cdot 10^3$ ), сферическим индентором (радиус наконечника  $R = 3,25 \text{ мм}$ , масса  $m = 16,62 \text{ г}$ ).

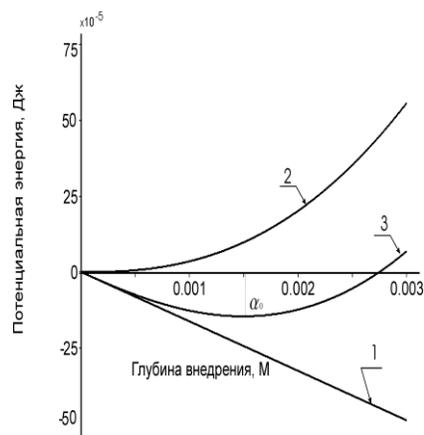


Рис. 1. Изменение потенциальной энергии при упругом ударе:

- 1 – потенциальная энергии сил гравитации;
- 2 – запасенная упругая энергии деформирования;
- 3 – суммарная потенциальная энергия при ударе

Как видно из рисунка, существует некоторое  $\alpha_0$ , соответствующее минимуму потенциальной энергии, значение которого зависит от соотношения массы индентора (силы тяжести) и сопротивления материала вдавливанию, характеризующегося в данном случае значением  $k$ :

$$\alpha_0 = \left( \frac{Q}{k} \right)^{\frac{2}{3}}.$$

Здесь следует отметить, что величина  $k$  в уравнении (4) для статического и динамического нагружений будет соответствовать различным значениям контактных сил. На рис. 2,а схематично пред-

ставлены фазовые портреты при ударе об "пол" и "боковую стенку" для пенополи-

уретана марки ППУ-215 с плотностью 56 кг/м<sup>3</sup>.

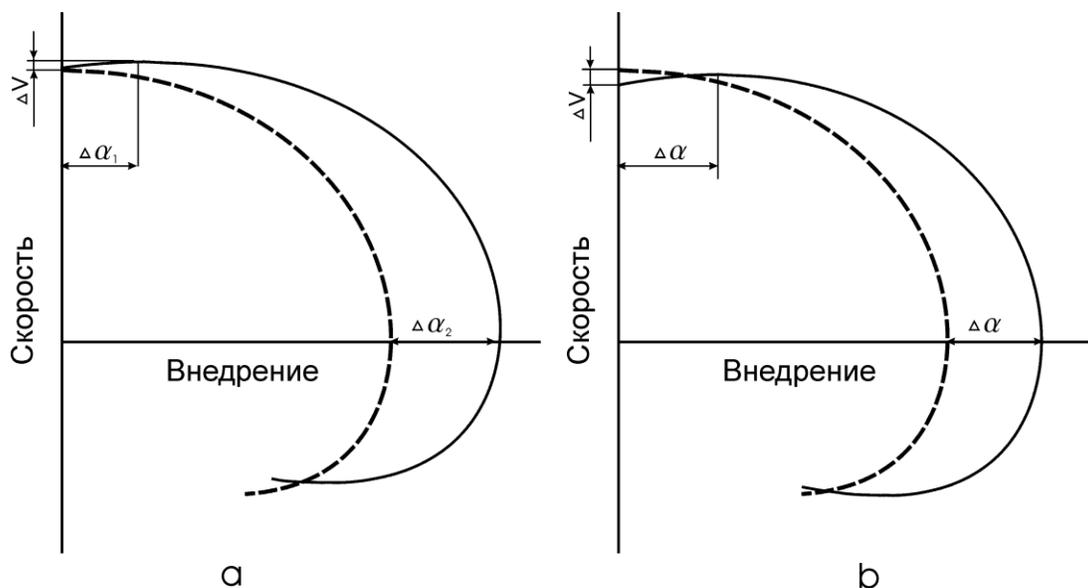


Рис. 2. Фазовые портреты при ударе: а – при ударе об «пол» (сплошная линия) и о «боковую стенку» (штриховая линия), б – при ударе об «пол» с учетом (сплошная линия) и без учета силы тяжести (штриховая линия)

Основное отличие в приведенных графиках заключается в увеличении скорости движения индентора в начальный момент времени после контакта для случая удара об "пол", несмотря на наличие нарастающего контактного сопротивления. В случае когда сила тяжести при ударе направлена перпендикулярно направлению вдавливания, минимум потенциальной энергии соответствует точке начала координат, и скорость индентора начинает падать сразу после момента касания.

Для исследования ударных процессов был использован ударный механизм (рис. 3), состоящий из поворотного рычага 1, закрепленного одним концом на вращающейся оси 2 и несущего на другом

конце боек 3 (индентор) с вмонтированным в него постоянным магнитом 4.

При этом ударный механизм будем считать абсолютно твердым телом, представляющим собой систему материальных точек, расстояния между которыми остаются неизменными в процессе удара, т.е. связи между всеми точками системы абсолютно жесткие. При ударе, в момент касания испытуемой поверхности, индентор расположен таким образом, что линия действия ударного импульса перпендикулярна плоскости, на которой находятся ось вращения и центр масс системы. Кроме этого вектор ударного импульса проходит через центр масс системы. В этом случае нагрузка на ось вращения будет отсутствовать, потери энергии будут минимальными и процесс удара можно рассматривать как

взаимодействие одиночного индентора с массой, равной приведенной массе инден-

тора и поворотного рычага.

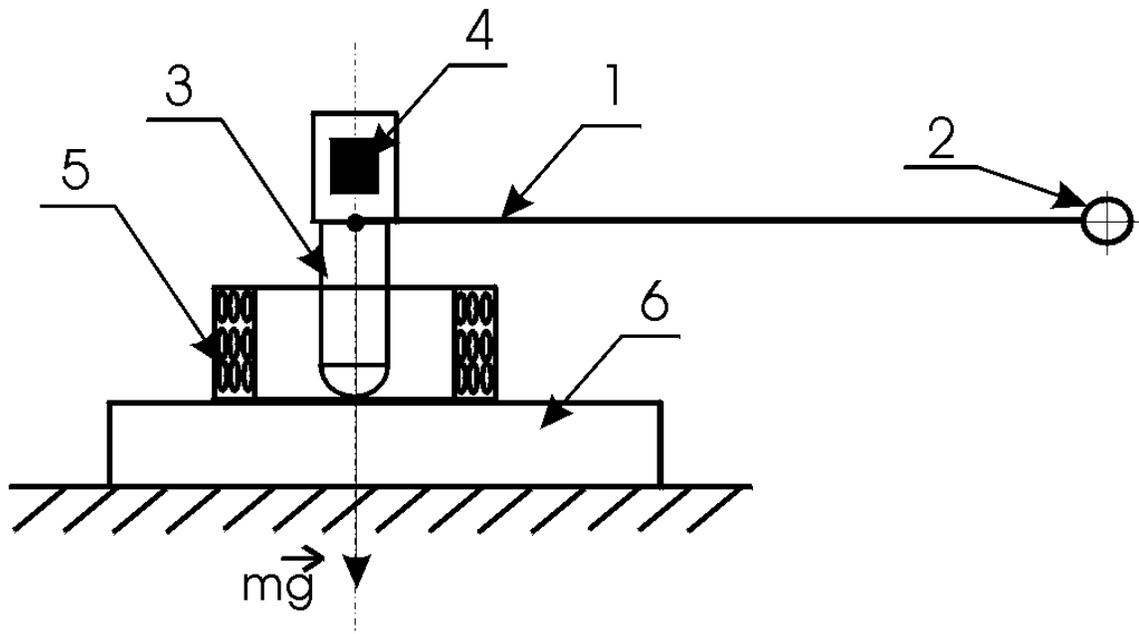


Рис. 3. Схема ударного механизма:

1 – поворотный рычаг; 2 – ось вращения; 3 – индентор; 4 – магнит;  
5 – магнитоиндукционный датчик; 6 – испытуемый образец

На практике удар индентором, вращающимся вместе с рычагом, будет отличаться от удара, наносимого посредством свободно падающего индентора, из-за наличия в реальных телах внутренней степени свободы, что не учитывается в рамках модели абсолютно твердого тела и проявляется в нашем случае в виде потерь энергии удара на вибрацию рычага и волновые процессы в ударной системе. Эти потери, однако, не превышают 1%, вследствие чего расчетная схема удара прини-

мается такой же, как и для незакрепленного индентора.

Рассмотрим более подробно влияние активных сил, анализируя графические зависимости  $v(t)$  и  $F(t)$ . На рис. 4 представлен график изменения скорости  $v_p(t)$  индентора, полученный с помощью прибора ИМПУЛЬС-1Р, разработанного в Институте прикладной физики НАН Беларуси, при испытаниях образца из пенополиуретана N 2336.

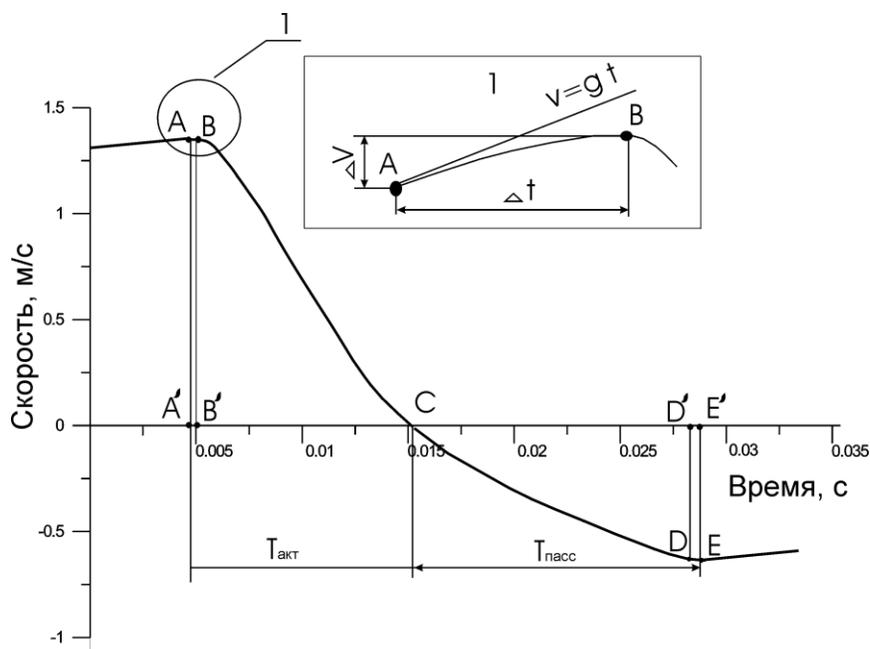


Рис. 4. Изменение скорости индентора в процессе ударного взаимодействия с пенополиуретаном N 2336

Данная кривая получена путем соответствующего пересчета зависимости ЭДС от времени, снимаемой с магнитоиндукционного датчика 5 (см. рис. 3) и обусловлена действием силы тяжести и сил сопротивления. Точка *A* на рис. 4 соответствует моменту касания индентором испытуемой поверхности. Слева от этой точки мы видим прямую линию, описывающую процесс свободного падения индентора под действием силы тяжести согласно уравнению  $v = gt$ . В момент касания индентором испытуемой поверхности в точке *A* начинается «отход» скорости от прямой линии, хотя рост скорости индентора сохраняется (вставка 1 на рис. 4). Это происходит до момента достижения ударной системой максимума кинетической энергии или минимума потенциальной энергии (см. рис. 1), что соответствует ра-

венству контактной силы приведенной силе тяжести ударной системы (точка *B* на графике). После этого наблюдается резкое уменьшение скорости по абсолютной величине вплоть до точки *C*, характеризующей окончание активной части удара. Пассивная часть удара происходит за счет упругих деформаций испытуемого материала в месте контакта и отображается на графике отрезком *CE*. Промежуточная точка *D* соответствует максимуму восстановленной кинетической энергии ударной системы. В точке *E* начинается прямолинейный участок изменения скорости индентора, характеризующий свободное движение индентора при отскоке. Как можно судить из рис. 4, прямолинейные участки скорости свободного падения и отскока строго параллельны, поскольку характеризуются одинаковым ускорением  $g$ . Фа-

зовый портрет данной кривой показан на рис. 2, б.

Необходимую нам текущую контактную силу  $P_k(t)$  можно получить, если дифференцировать скорость, обусловленную непосредственно сопротивлением материала, без влияния силы тяжести, т.е. использовать зависимость

$$v_k(t) = v_p(t) - v_g(t),$$

где  $v_g(t)$  – скорость, образуемая за счет действия силы тяжести.

В то же время прямое определение  $v_g(t)$  несколько затруднительно из-за сложностей при описании процесса удара. Поэтому контактную силу, необходимую для расчета механических характеристик, получим путем дифференцирования полученной результирующей скорости индентора  $v_p(t)$  с последующим умножением на массу ударной системы  $m$  и вычитанием силы тяжести из полученного значения по следующей формуле:

$$P_k = -m \left[ -\frac{dv_p(t)}{dt} + g \right]. \quad (4)$$

Важным условием точного расчета параметров удара и вычисления на их основе механических характеристик материалов является правильное определение начала момента касания индентором испытуемой поверхности. Точка  $A$  (см. рис. 4), соответствующая моменту «отхода» от прямой, воспроизводится с некоторой погрешностью и часто не имеет четко выраженного характера. Поэтому для регистрации начала удара лучше использовать уравнение (4), где величина  $g$  является постоянной и не зависит от погрешности измерений.

На рис. 5 показана зависимость  $P(t)$  (кривая 1), полученная в результате дифференцирования  $v_p(t)$ . На данном рисунке хорошо видна точка начала контакта  $A$ , в которой сила переходит от прямой к криволинейной зависимости.

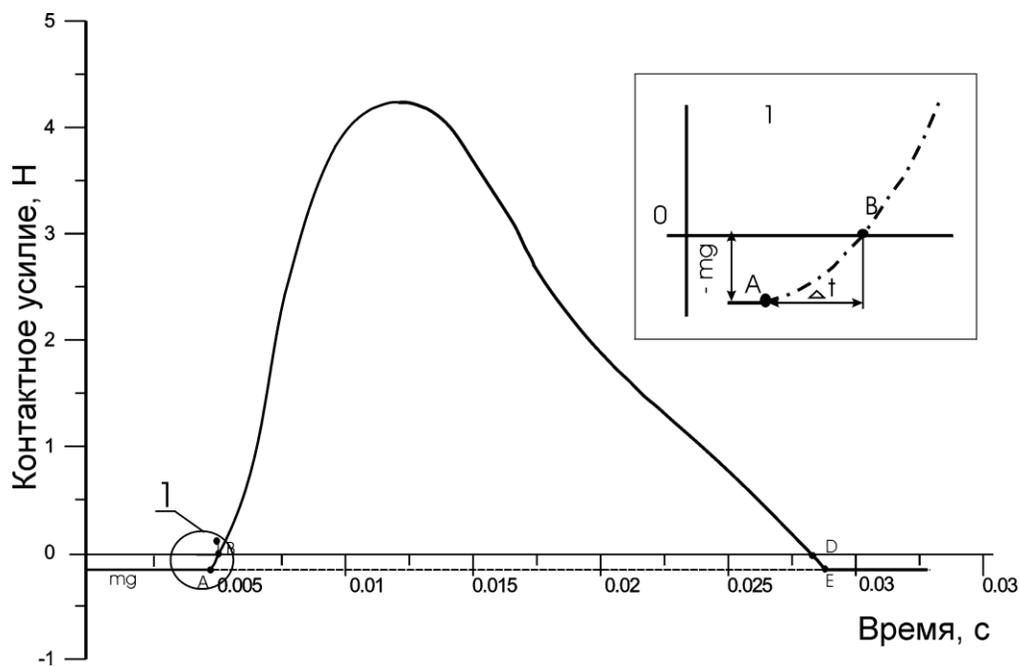


Рис. 5. Зависимость полного контактного усилия, получаемого с учетом реальной точки касания

Рис. 4 и 5 дают возможность оценить источники погрешности, возникающие при обработке данных. Из рис. 4 следует, что погрешность будет возникать при определении времени удара, поскольку время рассчитывалось как отрезок равный  $B'D'$ , тогда как истинное значение времени удара будет равно отрезку  $A'E'$ . Неверное определение точки касания окажет влияние и на значение внедрения индентора, поскольку оно дополнится значениями, равными площадям фигур  $AA'BB'$  и  $DD'EE'$ . Рис. 5 дает хорошее представление о том, что значение контактного уси-

лия за вычетом силы тяжести сохранит свое значение, а неучтенной окажется область отрицательных значений, в которой сила тяжести превосходит по своему значению силы сопротивления вдавлению.

Проанализируем, насколько важен учет данных областей для параметров ударного импульса. С этой целью были взяты полимерные материалы, имеющие различную плотность и жесткость (резины, интегральные, эластичные пенополиуретаны), сведения о которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики испытываемых материалов

| Материал                                    | Плотность, кг/м <sup>3</sup> | Динамическая жесткость $k, \cdot 10^3, \text{Н/м}^{3/2}$ |
|---|------------------------------|--|
| Резина 7-4004-112                           | 1670                         | 20611  |
| Резина ИРП-1346                             | 1047                         | 3637   |
| Пенополиуретан полужесткий                  | 324                          | 107  |
| Пенополиуретан эластичный формуемый ППУ-215 | 56                           | 11,11  |
| Пенополиуретан N 2336                       | 22                           | 2,83   |
| Пенополиуретан S 1820                       | 18                           | 1,92   |

Испытания проводились индентором массой  $m = 16,62$  г с радиусом сферического наконечника  $R = 3,23$  мм и началь-

ной скоростью 1,36 м/с. Изменение параметров удара отражено в табл. 2.

Таблица 2

| Материал                          | Усилие                             |                             | Время            |                           |              | Перемещение                |   |              | Импульс                 |              |
|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------------|--------------|----------------------------|---|--------------|-------------------------|--------------|
|                                   | Максимальное усилие $F_{\max}$ , Н | Отношение $mg/F_{\max}$ , % | Время удара, мкс | Дополнительное время, мкс | Отношение, % | Максимальное внедрение, мм | Неучтенное перемещение на активном этапе удара, мкм | Отношение, % | Импульс, $10^{-6}$ , Нс | Отношение, % |
| Резина 7-4004-112                 | 98                                 | 0,17                        | 477              | 10,64                     | 2,28         | 0,25                       | 3,96  | 1,01         | 14856                   | 0,012        |
| Резина ИРП-1346                   | 18                                 | 0,9                         | 323              | 17,58                     | 0,55         | 1,37                       | 1,26  | 0,57         | 43285                   | 0,066        |
| Пенополиуретан полужесткий        | 8,65                               | 1,9                         | 5200             | 210                       | 4,22         | 1,70                       | 132   | 4,86         | 92902                   | 0,368        |
| Пенополиуретан эластичный ППУ-215 | 5,24                               | 3,17                        | 13662            | 1085                      | 8,63         | 4,58                       | 599   | 8,17         | 10129                   | 1,717        |
| N 2336                            | 4,44                               | 3,74                        | 25909            | 26139                     | 11,22        | 7,92                       | 1491  | 11,77        | 9565                    | 4,26         |
| S 1820                            | 3,64                               | 4,57                        | 30312            | 33854                     | 12,57        | 8,55                       | 1931  | 14,12        | 88478                   | 5,87         |

Как видно из таблицы, значение дополнительного перемещения для образца из пенополиуретана N2336 несколько меньше, чем теоретическое, показанное на рис. 1, ввиду наличия вязкой составляющей силы.

Таким образом, в работе проведен анализ влияния гравитационной силы на основные параметры ударного взаимодей-

ствия жесткого индентора с вязкоупругими материалами различной жесткости. Показано, что неучет гравитационной силы в уравнении контактных сил взаимодействия может приводить к погрешностям до 14% в определении длительности и глубины вдавливания при контроле изделий из эластичного полиуретана.

### Литература

1. Инженерные методы исследования ударных процессов // Г.С.Батуев, Ю.В.Голубков, Л.К.Ефремов, А.А.Федосов. – М.: Машиностроение, 1977. – 240 с.
2. Hunt K. H., Grossley F.R.E. Coefficient of restitution Interpreted as damping in vibroimpact // Trans. ASME. J. Appl. Mech.– 1975. – Vol. 97.– P.440-445.
3. Taguchi Y.-H. J. A new origin of a convective motion: Elastically induced convection in granular materials // Phys. Rev. Lett. – 1992. – No 69. – P. 1367-1370.
4. Hunter S. C. The Hertz problem for a rigid spherical indenter and viscoelastic half-space // J. Mech. Phys. Solids.– 1960. – No 8. – P. 219-234.

## ПЕРВИЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИХ КОНЦЕНТРАТОМЕРОВ

**О.К.Гусев**, кандидат технических наук, Белорусский национальный технический университет;  
**Ю.С.Марцынкевич**, аспирант кафедры СМИС

При проектировании средств технологического контроля жидких сред, реализующих кондуктометрический метод измерения, особое значение для обеспечения минимальной погрешности измерения прибора имеет правильный выбор конструкции первичного преобразователя (кондуктометрической ячейки).

Можно выделить два основных источника погрешности кондуктометрической ячейки:

1). Образование двойного дипольного слоя на границе раздела "металл-электролит" (поляризация электродов), что приводит к уменьшению напряженности электрического поля между электродами и соответствующему уменьшению силы тока, протекающего через кондуктометрическую ячейку.

2). Сопротивление подводящих проводов и разъемов, которое по порядку величины может соответствовать сопротивлению раствора между электродами ячейки, что приводит к искажению градуировочной характеристики ячейки.

Следует отметить, что способы уменьшения этих двух погрешностей находятся в определенном противоречии. Так, свести к минимуму влияние сопротивления подводящих проводов и разъемов можно только за счет увеличения полного сопротивления раствора  $R$  между электродами ячейки. Этого можно добиться, используя ячейку с большой постоянной  $k$ , поскольку сопротивление  $R$  связано с удельной

проводимостью раствора  $\chi$  соотношением

$$R = k \cdot \frac{1}{\chi}$$

Увеличение постоянной  $k$  достигается увеличением эффективного расстояния между электродами вдоль силовых линий электрического поля  $l$  и уменьшением эффективной площади сечения ячейки  $S$ . Однако, в случае приборов промышленного назначения, этот путь наталкивается на серьезные ограничения. Не следует забывать, что кондуктометрическая ячейка включает в себя два основных элемента: электродную систему и сосуд, в который эта система помещена, причем величины  $l$  и  $S$  определяются параметрами обоих этих элементов. Задача же технологического контроля заключается в измерении удельной проводимости или концентрации раствора электролита непосредственно в трубопроводе технологической линии. Таким образом, внешние размеры и конфигурация ячейки, как правило, жестко заданы (сечения трубопроводов и размеры присоединительных элементов стандартизованы и не могут быть произвольно изменены). Следовательно, эффективная площадь  $S$  может быть в определенных пределах изменена только за счет изменения активной поверхности электродов и, в некоторой степени, их

конфигурации (коаксиальные датчики). Величина  $l$  ограничена тем, что межэлектродное расстояние не должно превышать расстояния между электродом и стенкой ячейки (трубопровода); в противном случае значительная часть силовых линий электрического поля будет замыкаться через проводящие стенки трубопровода и вместо увеличения величины  $k$  будет наблюдаться ее уменьшение. Кроме того,  $k$  в этом случае будет зависеть от позиционирования датчика в трубопроводе, что исключает возможность сколь-либо точных кондуктометрических измерений.

В то же время уменьшение активной поверхности электродов приводит, при прочих равных условиях, к увеличению напряженности электрического поля в приэлектродной области. Это в свою очередь способствует усилению поляризационных эффектов, т. е. проявлению первого из указанных источников погрешности, одним из традиционных способов минимизации которого как раз и является увеличение активной поверхности электродов (за счет использования пористых материалов или покрытий – углерода, платиновой черни и т. п.). Следовательно, необходимо определить некоторую оптимальную площадь поверхности электродов, при которой может быть обеспечено приемлемое значение  $k$ , и при этом поляризационная погрешность также будет находиться в допустимых пределах. При этом если сопротивление подводных проводов и разъемов нетрудно оценить количественно, то теоретический расчет поляризационной составляющей погрешности представляет собой чрезвычайно сложную задачу.

Тем не менее, анализируя форму экспериментально полученной амплитудно-

частотной характеристики (АЧХ) кондуктометрической ячейки, можно количественно оценить минимальное значение рабочей частоты для данной конструкции ячейки (и данных анализируемых растворов). Поскольку эквивалентная схема кондуктометрической ячейки представляет собой активное сопротивление (сопротивление раствора), последовательно с которым включен конденсатор с утечкой, представляющий двойной дипольный слой, то при достаточно высокой частоте напряжения импеданс этого конденсатора становится пренебрежимо малым в сравнении с активным сопротивлением. Однако, при неудачно выбранной конструкции ячейки, эта "граничная" частота может оказаться слишком велика, что не позволит реализовать этот способ снижения поляризационной погрешности без использования дорогостоящей высокочастотной элементной базы.

Исходя из этого были проведены экспериментальные исследования зависимости амплитудно-частотных характеристик кондуктометрической ячейки от ее конструктивных параметров. Для исследования использовался сосуд объемом 1 л (с тем, чтобы исключить влияние стенок сосуда). В качестве материала для электродов ячейки была выбрана сталь 12Х18Н9Т, что связано со специфическими условиями работы технологического оборудования: так, наличие в технологическом растворе взвеси дисперсных частиц исключает возможность использования электродов с шероховатой или пористой поверхностью (к примеру, углеродных), а высокая химическая активность раствора предполагает применение коррозионно-стойких материалов, из которых оптимальным является нержавеющая сталь,

как практически идеально поляризуемый металл [1]. Исследования проводились для кондуктометрических ячеек с плоскими параллельными электродами с различной площадью и расстоянием между ними; кроме того, исследовались ячейка с цилиндрическими электродами и ячейка коаксиального типа. Исходя из требуемого диапазона измерений (удельные проводимости используемых растворов составляют порядка  $1 \dots 100$  мСм/см) и сопротивления присоединительных проводов и разъемов (около  $0,2$  Ом) было определено желаемое значение  $k \geq 0,1$  см<sup>-1</sup>. Для ячеек с плоскими параллельными электродами значение постоянной можно приближенно оценить по формуле

$$k \leq \frac{d}{S}$$

где  $d$  – расстояние между электродами;

$S$  – площадь активной поверхности электрода.

Точному расчету препятствует сложность учета краевых эффектов, приводящих, особенно при больших (относительно размеров электродов) значениях  $d$ , что приводит к значительному (иногда в несколько раз) уменьшению  $k$  по сравнению с расчетным значением.

По результатам калибровки ячеек с цилиндрическими и коаксиальными электродами по образцовым растворам хлористого калия [2] в обоих случаях было получено значение  $k \approx 0,2$  см<sup>-1</sup>.

Для каждой конфигурации кондуктометрической ячейки определялись АЧХ при заполнении сосуда водными растворами азотной кислоты с концентрацией  $0,26$ ;  $0,53$ ;  $0,84$ ;  $1,26$ ;  $1,80$  и  $2,52$  % HNO<sub>3</sub>, что соответствует диапазону concentra-

ций реально используемых в технологических процессах растворов. Амплитуда напряжения на электродах ячейки составляла  $50$  мВ, частота варьировалась в пределах  $10$  Гц –  $100$  кГц (в соответствии с возможностями использовавшейся элементной и приборной базы). Выходной ток кондуктометрической ячейки предварительно усиливался для удобства регистрации; линейность работы усилителя проверялась подключением вместо ячейки активного сопротивления постоянного резистора.

Результаты проведенных исследований представлены на рис. 1 – 3.

Как и следовало ожидать, для системы с прямоугольными электродами минимальная рабочая частота, определяемая переходом от наклонного к горизонтальному участку АЧХ ячейки, уменьшается с ростом площади электродов и расстояния между ними. Однако при приемлемых габаритах ячейки достичь горизонтального участка АЧХ в пределах частот, меньших или равных  $1$  МГц, оказывается невозможно. На примере рис. 1, г хорошо видно, что логарифм граничной частоты практически пропорционален концентрации заполняющего ячейку раствора. Таким образом, при измерении растворов малой концентрации можно использовать более низкие рабочие частоты либо кондуктометрические ячейки с меньшими линейными размерами. Следует отметить, что "горизонтальный" участок АЧХ в данном случае также имеет довольно значительный наклон, т. е. сигнал ячейки в любом случае будет обладать частотной дисперсией.

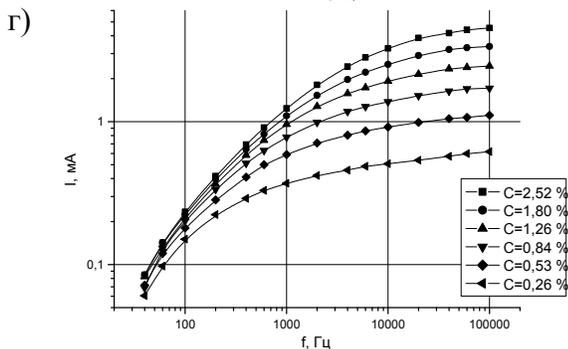
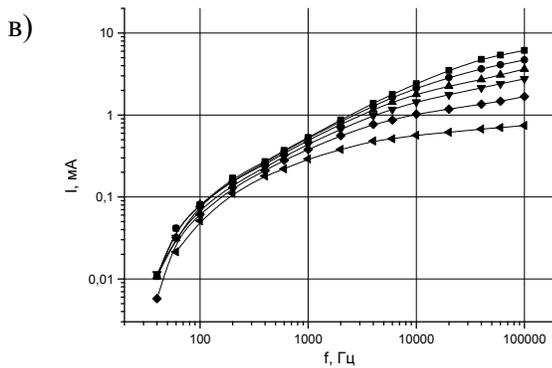
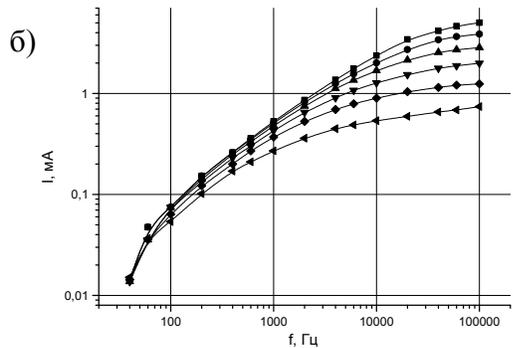
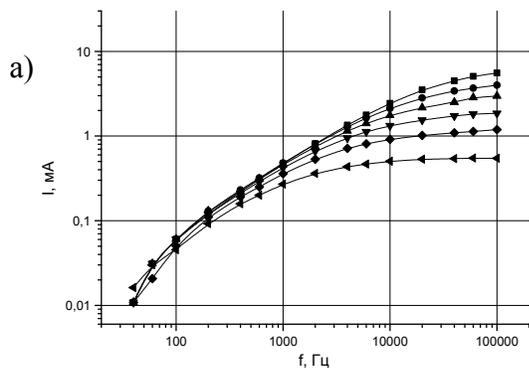


Рис. 1. АЧХ кондуктометрических ячеек с плоскими параллельными электродами: а)  $d = 1,3$  см,  $S = 0,016$  см<sup>2</sup>; б)  $d = 1,3$  см,  $S = 0,6$  см<sup>2</sup>; в)  $d = 7,3$  см,  $S = 0,016$  см<sup>2</sup>; г)  $d = 7,3$  см,  $S = 0,6$  см<sup>2</sup>

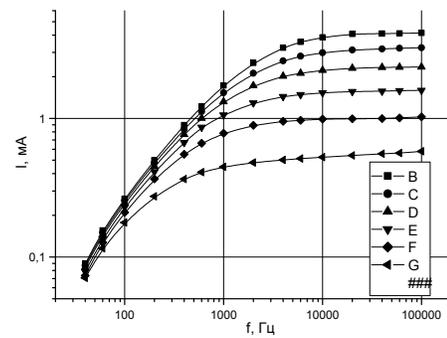


Рис. 2. АЧХ кондуктометрической ячейки с цилиндрическими электродами,  $k = 0,2$  см<sup>-1</sup>

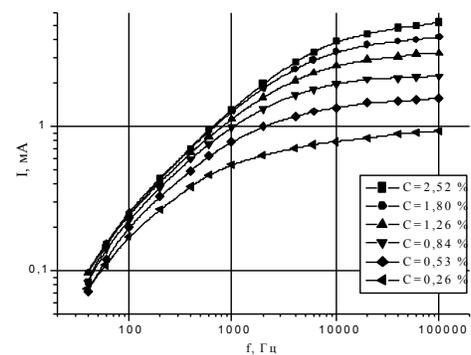


Рис. 3. АЧХ кондуктометрической ячейки с коаксиальными электродами,  $k = 0,2$  см<sup>-1</sup>

Значительно лучшие результаты были получены для ячеек с цилиндрическими (рис. 2) и коаксиальными (рис. 3) электродами. Можно видеть, что при одном и том же значении  $k$  АЧХ кондуктометрической ячейки с цилиндрическими электродами характеризуются более резким переходом от наклонного участка к горизонтальному, а также меньшей частотной дисперсией в пределах горизонтального участка и несколько меньшими граничными частотами. Исходя из полученных результатов для использования в приборах технологического контроля промышленного назначения была выбрана кондуктометрическая ячейка с параллельными цилиндрическими электродами и постоянной  $k = 0,2$  см<sup>-1</sup>. Рабочая частота измерительного напряжения определена равной 32 кГц по условию минимизации частотной дисперсии.

## Литература

1. Грилихес М. С., Филановский Б. К. Контактная кондуктометрия: Теория и практика метода. – Л.: Химия, 1980. – 176 с., ил.
2. ГОСТ 8.354-85. ГСИ. Анализаторы жидкости кондуктометрические. Методика поверки.

### **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НОМИНАЛЬНОГО КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ ДЕТАЛИ**

**П.А.Петрусенко**, преподаватель кафедры СМИС

Целью работы является определение координат центра и поля рассеяния центров номинально круглого сечения по «неполным данным» (по ограниченному числу контрольных точек), а также определение значений отклонений расчетных радиусов от номинального значения, оценка диаметральных размеров и отклонений от круглости.

Решение такой задачи в наиболее представительной форме возможно с помощью применения метода вычислительного эксперимента. Преимущества такого метода очевидны, так как используются богатые возможности построения наглядных имитационных моделей [1].

Для проведения вычислительного эксперимента был разработан программный продукт, который позволяет создавать математическую модель номинально круглого сечения детали и осуществить математическую обработку результатов измерений, а также графически демонстрировать метод нахождения центра окружности и графически представлять отклонения расчетных значений радиусов и центров окружности от номинальных значений.

Математическая модель любой реальной поверхности для проведения исследований строится в виде некоторого множества точек, случайным образом расположенных (рассеянных) по отношению к участку некоторой теоретической окружности, искаженной  $K$ -й гармоникой с заданной амплитудой  $A$ . Это сечение принимается за детерминированную низкочастотную составляющую экспериментальной модели (детерминированную модель реальной поверхности).

Вычислительный эксперимент в наиболее общем виде должен включать следующие последовательно реализуемые этапы:

1. Генерирование детерминированной модели реального сечения детали в виде «искаженной» окружности. Для построения модели задаются номинальный диаметр окружности, количество гармоник и их амплитуда.

2. Трансформация детерминированной модели в стохастическую модель реального сечения детали путем внесения возмущений с помощью генератора случайного отклонения точек. При этом предварительно задаются вид закона распределения отклонений и значение сред-

него квадратичного отклонения точек от детерминированной модели. В качестве математического ожидания положения каждой точки принимают соответствующую ей координату детерминированной модели, сформированной на этапе 1.

3. Построение средней окружности, являющейся базой для отсчета отклонений от круглости при проведении эксперимента по следующему алгоритму:

- Нахождение центра окружности по заданному количеству контрольных точек  $n$  путем определения среднего арифметического значения координат центров окружностей. Для определения центра средней окружности через каждые 3 точки из  $n$  заданных проводится окружность, у которой определяются координаты центра. Таким образом получается массив координат  $X_1, X_2, \dots, X_{in}$  и  $Y_1, Y_2, \dots, Y_{in}$ . Затем определяются координаты центров  $X_m$  и  $Y_m$ :

$$X_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{in} \quad Y_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_{in},$$

где  $m$  – количество экспериментов;

$X_{in}, Y_{in}$  – координаты центра окружности, вычисленные по  $M$  экспериментам.

- Построение базовой средней окружности из центра  $X_m, Y_m$  методом наименьших квадратов в соответствии с условием

$$\sum_{i=1}^q y_i^2 \rightarrow \min ,$$

где  $q$  – количество точек, образующих экспериментальную модель поверхности;

$y_i$  – расстояния от базовой окружности до точек, образующих стохастическую экспериментальную модель.

4. Обобщение полученных результатов и анализ влияния номинального размера экспериментальной модели, количества гармоник, амплитуды, среднего квадратичного отклонения точек модели от ее детерминированного вида на точность оценки.

Разработанный программный продукт позволяет строить дискретные модели искаженного номинально круглого профиля с выбранным номинальным радиусом. Детерминированные отклонения получают, задавая синусоидальный характер искажения исходного контура с произвольным числом гармоник, а стохастические отклонения обеспечивают «выбросом точек» генератором случайных чисел с заданным предельным значением отклонений (амплитудой отклонений).

Разработанный программный продукт может использоваться для проведения вычислительных экспериментов, а также в качестве средства программного обеспечения математической обработки результатов измерительного контроля реальных деталей на двухкоординатных и трехкоординатных средствах измерений.

## Литература

1. Цитович Б.В. Вычислительный эксперимент в области линейных измерений // Тезисы докладов IX Всеакадемической школы-семинара по проблемам метрологического обеспечения и стандартизации. – Бердянск, 1991.

### **Часть 2. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ**

#### **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМАХ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА**

**П.С.Серенков**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой СМИС;

**В.В.Краснопрошин**, кандидат физико-математических наук,  
Белорусский государственный университет;

**Е.П.Максимович**, кандидат физико-математических наук,  
Институт проблем информатики НАН Беларуси

В последнее время наблюдается повышенный интерес к новым информационным технологиям менеджмента качества (МК). Это обусловлено по крайней мере двумя факторами: с одной стороны, все возрастающей конкуренцией и соответствующими претензиями рынка к производителю, а с другой стороны, – экспансией стандартов ИСО серии 9000, потребовавшей новых форм и методов мобилизации ресурсов, перестройки механизмов управления, структуры бизнеса и т.п.

Базовые методы менеджмента, сложившиеся еще в 60-х – 70-х годах прошлого столетия, сами по себе уже не могут обеспечить эффективного управления современными организациями. Это обусловлено тем, что большинство организаций представляют собой сложные человеко-машинные системы, функционирование которых зависит от большого количества слабо формализуемых динамичных факторов. Выявить все эти факторы и априори охарактеризовать их во времени, как правило, не представляется возможным. В результате

МК приходится осуществлять в условиях неопределенности. В этом случае МК реализуется на основе текущих наблюдений и сводится к оперативной корректировке управления в ответ на нарушение требуемого качества функционирования. Потребность в автоматизации данного процесса обуславливает необходимость использования соответствующих формальных методов. В условиях неизвестной связи между наблюдаемыми параметрами процесса и выбором корректирующих управляющих воздействий существующие средства не дают удовлетворительного решения. Вследствие этого возникает потребность в развитии уже известных и разработке новых моделей и методов. Это требует использования современных математических теорий, в том числе и теории искусственного интеллекта.

#### **Менеджмент качества в соответствии с требованиями ИСО серии 9000.**

В соответствии со стандартом ИСО семейства 9000 версии 2000 года МК представляет собой систему взаимосвя-

занных процедур, которая «обслуживает» сеть процессов, определяющих качество конечной продукции. МК предполагает комплексное решение задач планирования, обеспечения, управления и улучшения качества сети процессов, образующих так называемый цикл

управления Э. Деминга или «*p-d-c-a*» (рис. 1). Каждый этап цикла «*p-d-c-a*», базируется на развертывании подсистемы сбора, регистрации, анализа и обобщения соответствующих данных [1-3].



Рис. 1. Концепция методологии менеджмента качества как управленческого цикла с точки зрения организации-поставщика

Первый этап состоит в построении функциональной модели бизнес-процесса организации. Модель предназначена для формализованного описания структуры бизнес-процесса (составляющих его подпроцессов и взаимосвязей между ними), а также всех циркулирующих в нем потоков информации и материалов. Этот этап достаточно хорошо проработан. В частности, для построения модели разработана методика описания сети процессов на базе стандарта IDEF0 [2].

Второй и третий этапы методологически на стратегическом уровне доста-

точно хорошо проработаны в методических рекомендациях, базирующихся на практическом опыте организаций Беларуси, России и других стран [4].

Четвертый этап состоит в принятии эффективных управленческих решений (корректирующих и предупреждающих действий) на основе обратной связи. На сегодняшний день этот этап в отличие от остальных трех не имеет существенной научной и методической проработки. Чаще всего процесс принятия управленческих решений не автоматизирован и полностью возлагается на человека.

Поэтому управление сегодня – это скорее искусство, нежели формализованный обоснованный процесс. Корректирующие и предупреждающие действия в соответствии с седьмым принципом менеджмента качества должны базироваться на «фактических данных». По-

Концептуально механизм принятия управленческих решений состоит в следующем. Эффективность используемого управляющего воздействия зависит от состояния процесса. Процесс реализуется во времени в виде траектории перехода из одного состояния в другое. Для изменения состояния процесса требуется принятие новых управленческих решений. Принятие решения осуществляется на основе оценки текущего состояния процесса. Состояние определяется совокупностью внутренних (связанных непосредственно с производственной системой) и внешних (связанных со средой функционирования системы) условий. Совокупность этих условий назовем ситуацией. Ситуация характеризуется множеством измеряемых параметров (описанием ситуации), выступающих как информационный вектор состояния процесса. В условиях непредсказуемого изменения состояния процесса для принятия управленческих решений широко используется ситуационное управление, сводящееся к следующему:

- реализация мониторинга текущего состояния процесса и выявление перехода его в качественно новое состояние;

- принятие новых управленческих решений, адекватных текущей ситуации.

МК имеет по крайней мере два взаимосвязанных и соподчиненных контура управления:

- «общее руководство качеством» – контур первого уровня, прописанный в

этому механизм принятия управленческих решений в области качества может служить объектом научного исследования. Разработка удачной модели этого механизма и ее методическая интерпретация составит недостающее звено в методологии «сквозного» МК.

виде требований к системе МК (СТБ ИСО 9001-2001);

- «локальное управление качеством» – контур второго уровня, специфичный по методам, подходам, инструментам.

Цель контура «общего руководства качеством» – обеспечение главным образом результативности. Он должен обеспечить комплексный подход к менеджменту качества на уровне, абстрагированном от вида выпускаемой продукции, особенностей жизненного цикла, структуры организации, вида собственности и т.д. Область действия контура – сеть процессов, составляющая бизнес-процесс организации. В соответствии с СТБ ИСО 9001-2001 общее руководство осуществляется на следующих уровнях:

- стратегический менеджмент (реализуемый в виде требований раздела 5 «Ответственность руководства»);

- менеджмент ресурсов (реализуемый в виде требований раздела 6 «Менеджмент ресурсов»);

- оперативный менеджмент или обеспечение управляемых условий (реализуемый в виде требований раздела 7 «Процессы жизненного цикла продукции»);

- измерение, анализ, улучшение (реализуемый в виде требований раздела 8 «Измерение, анализ и улучшение»).

Контур «локального руководства качеством» не регламентирован СТБ ИСО 9001-2001 и поэтому не ограничен в методах, подходах, инструментах. Цель контура – обеспечение эффективности менеджмента качества как всего бизнес-процесса, так и каждого отдельного процесса. Он ориентирован на повышение конкурентоспособности организации и должен реализовывать комплексный подход к менеджменту качества в конкретных условиях, определяемых как внешними, так и внутренними факторами.

Контур «общего руководства качеством» является более формализованным. Можно ожидать, что он легче поддается автоматизации и поэтому будет рассматриваться в первую очередь как объект исследований.

#### **Модель менеджмента качества по прецедентности.**

Обеспечение общего руководства качеством состоит в том, чтобы на протяжении всего бизнес-процесса поддерживать на требуемом (в смысле заданных критериев) уровне выполнение требований разделов 5-8 СТБ ИСО 9001-2001.

Предполагается, что для каждого требования заданы экспертные оценки, характеризующие качество его выполнения. Каждая оценка измеряется по некоторой балльной шкале и может быть определена (например, на основе данных аудита) в любой текущий момент производственного процесса. Для каждого требования задан порог, указывающий допустимое отклонение от максимальной оценки, в пределах которого качество выполнения требования считается приемлемым.

В соответствии с типичной для практики ситуацией будем предпола-

гать, что переход процесса в новое состояние может произойти в любой случайный момент времени и обусловлен множеством неизвестных неуправляемых факторов, вследствие чего идентифицировать его причины не представляется возможным.

Изменение состояния процесса, как правило, нарушает степень выполнения тех или иных требований, вследствие чего в ходе функционирования производственной системы требуется производить соответствующие управляющие действия. Управляющие воздействия определяются наблюдаемой динамикой процесса, могут основываться на прогнозировании и носить определенный характер:

- предупреждающий (предупреждающие действия);
- корректирующий, т.е. выступать как ответ на уже произошедшие изменения (корректирующие действия или коррекции);
- характер запланированного улучшения процесса и (или) продукции (улучшающие действия).

В результате задача управления на уровне общего руководства качеством может быть сведена к задаче слежения, которая состоит в организации оперативного изменения используемых управляющих воздействий в ответ на изменение состояния процесса, нарушающее выполнение требований СТБ ИСО 9001-2001.

Данная задача может быть сформулирована следующим образом.

Пусть

$P$  – комплексный процесс общего руководства качеством;  $X$  – множество его допустимых состояний;  $C(X) =$

$\{c: X \rightarrow X\}$  – множество допустимых управляющих воздействий (коррекций);  $R$  – множество требований СТБ

ИСО 9001-2001,  
соответствующих контуру «общего  
руководства качеством» (рис. 2);  
 $Q:R \times X \rightarrow [0, N]$ ,  $N < +\infty$  – оценка ка-  
чества выполнения требований  $r$  из  $R$   
в различных состояниях  $x$  из  $X$ .

Требуется реализовать управле-  
ние  $c^*: X \rightarrow X$ ,  $c^*(x) \in \{x\} \cup \{c(x), c \in C\}$ ,  
обеспечивающее для любого  $x$  из  $X$   
выполнение условия

$$Q(r, c^*(x)) \geq a_r, \quad \forall r \in R, \quad (1)$$

где  $\{a_r\}_{r \in R}$  – множество заданных па-  
раметров.

Решение задачи состоит в по-  
строении локально-эффективного  
комбинированного управления,  
представляющего собой последова-  
тельность коррекций, адекватных  
динамике производственного про-  
цесса. В условиях непредсказуемой  
динамики для этого естественно ис-  
пользовать идеи ситуационного  
управления, основанного на наблю-  
дении и анализе текущего состояния  
процесса.

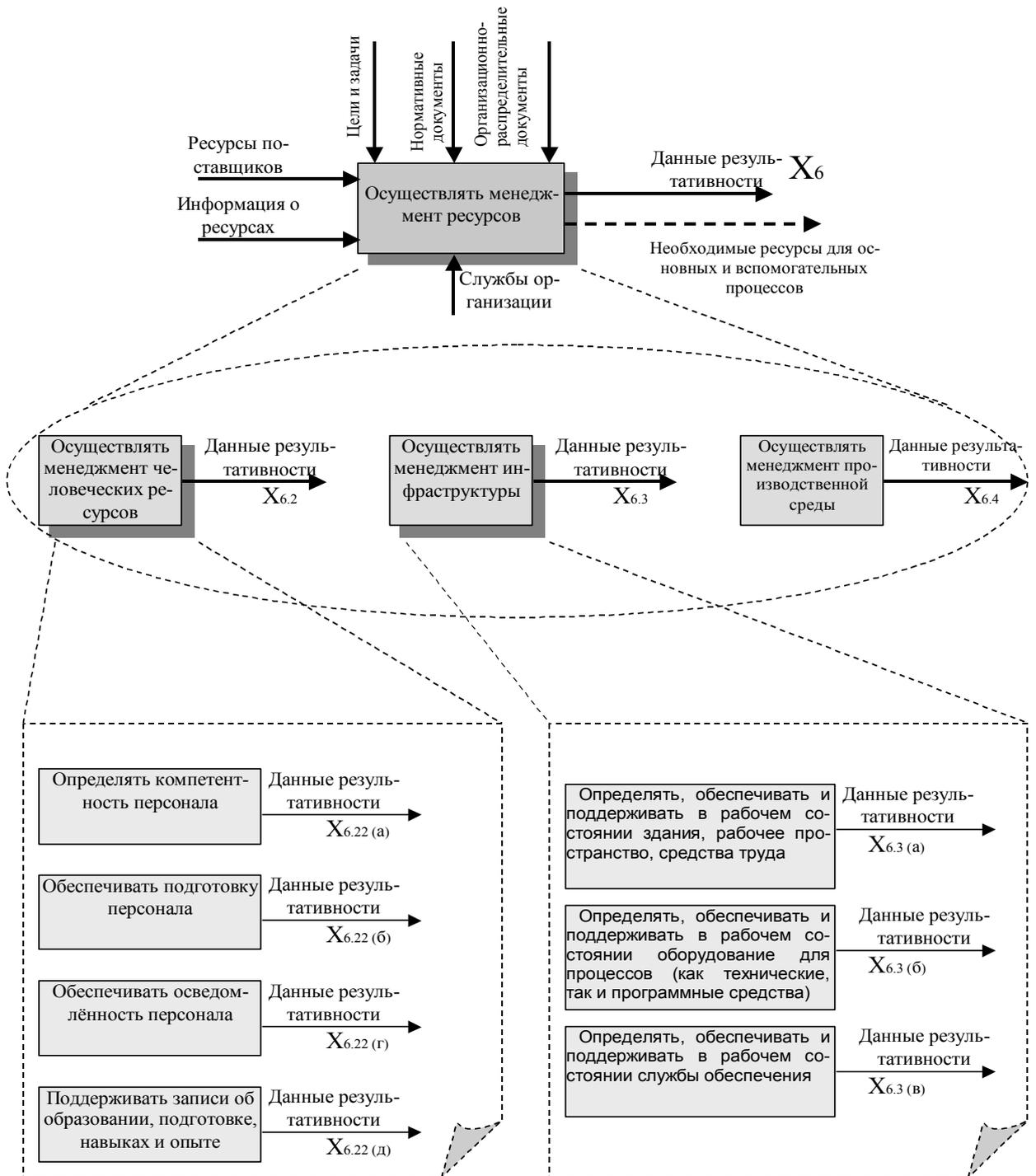


Рис. 2. Фрагмент модели «общего руководства качеством» – декомпозиция одного из четырех управляющих процессов «менеджмент ресурсов» (раздел 6 СТБ ИСО 9001-2001 «Менеджмент ресурсов»; индексы соответствуют номерам пунктов требований)

При этом возникают две основные подзадачи:

- выявление «разладки» функционирования системы менеджмента каче-

ства, т.е. нарушения условия (1) («задача о разладке»),

- автоматический выбор локально-эффективной коррекции, восстанавливающей условие (1) (задача выбора).

При разработке подходов к их решению можно исходить из следующих характерных особенностей контура «общего руководства качеством»:

- результативность этого контура управления (как оценка работы системы менеджмента в целом) определяется достаточно большим количеством слабо формализуемых факторов (см. рис. 2);

- сама зависимость результативности от данных факторов слабо формализуема, что в совокупности с предыдущей особенностью делает оценку результативности «бедной», т.е. малоинформативной;

- контур регламентирован требованиями СТБ ИСО 9001-2001 [3], что обуславливает стабильность механизма общего руководства и позволяет использовать накапливаемый опыт.

Указанные особенности обуславливают целесообразность использования для решения указанных выше задач методов нечеткой формализации, основанных на использовании опыта [5].

Чаще всего опыт представлен примерами уже возникавших ранее производственных ситуаций с указанием соответствующих им коррекций, прошедших удачную практическую апробацию. В этом случае идентификация ситуации «разладки» и выбор адекватной коррекции основываются на моделировании по прецедентности, базирующемся на сравнении текущего со

стояния процесса с известными примерами и принятии решения, соответствующего наиболее похожему примеру.

Моделирование по прецедентности реализуется в рамках математической теории распознавания образов. Первоочередной задачей является при этом построение информативного пространства признаков для описания множества  $X$  допустимых состояний процесса.

При этом возникает задача выявления наблюдаемых информативных параметров, отражающих качество общего руководства. Проблема состоит в том, что механизм связи между наблюдаемыми параметрами процесса и видом адекватной коррекции, как правило, неизвестен. Это не позволяет выделить приемлемого подмножества косвенных признаков. Поэтому в качестве признаков, используемых для описания ситуаций, предлагается использовать непосредственно показатели эффективности общего руководства, представленные в виде требований СТБ ИСО 9001-2001 (разделы 5-8).

В результате состояние  $x \in X$  описывается вектором вида  $(x_1, \dots, x_N)$ , включающим 4 группы признаков:

1.  $x_1, \dots, x_{N_1}$  – признаки, соответствующие требованиям раздела «ответственность руководства»;

2.  $x_{N_1+1}, \dots, x_{N_2}$  – признаки, соответствующие требованиям раздела «менеджмент ресурсов»;

3.  $x_{N_2+1}, \dots, x_{N_3}$  – признаки, соответствующие требованиям раздела «процессы жизненного цикла продукции»;

4.  $x_{N_3+1}, \dots, x_N$  – признаки, соответствующие требованиям раздела «измерение, анализ, улучшение».

Область допустимых значений признака  $x_i$ ,  $1 \leq i \leq N$  задается множеством

допустимых балльных оценок  $i$ -го требования. Оценки характеризуют качество выполнения требования и задаются обычно конечным числом целочисленных значений.

Пусть  $X_0 = \bigcup_{i=1, \dots, K} X_i^0$  – множество известных состояний, используемых в качестве примеров.

Начальная информация имеет вид  $T = \{ \langle (m_{i1}^0, \dots, m_{iN}^0), a_i \rangle \}_{i=1, 2, \dots, K}$ . Здесь  $m_{ij}^0$ ,  $1 \leq i \leq K$ ,  $1 \leq j \leq 82$  – балльная оценка, характеризующая степень выполнения  $j$ -го требования в состоянии  $x_i^0$ , а  $a_i$  – описание соответствующих  $x_i^0$  коррекций. Ввиду того, что каждому разделу требований «общее руководство» соответствует свое управленческое решение,  $a_i$  имеет вид  $(a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, a_{i4})$ , где  $a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, a_{i4}$  – управляющие решения по каждому из четырех разделов. Множества  $A_j = \{a_{1j}, \dots, a_{Tjj}\}$ ,

$1 \leq j \leq 4$ , допустимых коррекций формируется экспертным методом. Для состояний  $x_i^0$ , в которых не требуется никаких коррекций, полагают  $a_i = (0, 0, 0, 0)$ .

В контексте задачи о «разладке» множество  $X$  допустимых состояний допускает разбиение на 2 класса

$$X = X^+ \cup X^- \quad (2)$$

Здесь  $X^+$  – класс нормальных состояний, а  $X^-$  – класс состояний «разладки». Первый класс соответствует множеству желаемых состояний процесса, когда не требуется никаких коррекций. А второй – множеству состояний, не удовлетворяющих необходимому качеству и требую-

щих предпринять соответствующие коррекции.

Задача о «разладке» решается на основании постоянного мониторинга производственного процесса, вследствие чего при ее рассмотрении актуальна проблема вычисления сложности. Непосредственная проверка условия (1) для текущего состояния  $x \in X$  – весьма трудоемкая задача. Поэтому предлагается решать задачу о «разладке» на двух уровнях:

- текущая оценка производственного процесса на основе достаточно простых эвристических алгоритмов (текущий мониторинг);
- непосредственная проверка условий (1) (полный аудит).

Один из возможных подходов к реализации мониторинга может состоять в классификации текущего состояния относительно разбиения (2). Для этого можно использовать распознавание с обучением. На этапе обучения к классу  $X^+$  относятся  $x_i^0 \in X_0$ , для которых  $a_i = (0, 0, 0, 0)$ , а к классу  $X^-$  – все остальные состояния.

Один из возможных подходов к построению решающего правила состоит в следующем. На основании экспертного анализа каждой группе признаков  $\{x_1, \dots, x_{30}\}$ ,  $\{x_{31}, \dots, x_{40}\}$ ,  $\{x_{41}, \dots, x_{62}\}$ ,  $\{x_{63}, \dots, x_{82}\}$  ставится в соответствие один или несколько интегральных признаков, дающих грубую, но легко вычисляемую оценку выполнимости требований соответствующего раздела СТБ ИСО 9001-2001 в целом.

Вследствие того, что в любой текущий момент производственного процесса должны быть удовлетворе-

ны все требования контура «общее руководство»,  $X^+$  состоит из элементов, у которых значения всех признаков достаточно близки к максимальному. А у элементов из  $X^-$  это условие не выполняется хотя бы для одного признака. В результате для классификации текущего состояния  $x \in X$  относительно полученного на этапе обучения разбиения (2) можно использовать, например, схему метода «ближайшего соседа» с функцией близости  $\mu$  вида

$$\mu((x_1, \dots, x_n), (y_1, \dots, y_n)) = \max_{i=1, \dots, n} (|x_i - y_i|).$$

Точная диагностика ситуации «разладки» (полный аудит) осуществляется через определенные регламентируемые промежутки времени либо в случае каких-то чрезвычайных обстоятельств, свидетельствующих о явных нарушениях в обеспечении общего руководства. Для решения задачи выбора можно использовать распознавание с обучением.

Ввиду того, что контур «общее руководство» разбивается на 4 самостоятельных раздела, реализация каждого из которых требует своих коррекций, по каждому разделу требований предлагается рассматривать свою задачу выбора. Совокупность полученных коррекций составит комплексное управляющее решение по обеспечению «общего руководства».

На этапе обучения строится 4 разбиения множества  $X^+$  на кластеры близких ситуаций: относительно групп признаков  $\{x_1, \dots, x_{N1}\}$ ,  $\{x_{N1+1}, \dots, x_{N2}\}$ ,  $\{x_{N2+1}, \dots, x_{N3}\}$ , и  $\{x_{N3+1}, \dots, x_N\}$ .  $N$  – ориентировочно равно 82 [3]. На каждое разбиение налагается требование, чтобы си-

туациям из одного и того же кластера соответствовало одинаковое управляющее решение. Возможность построения подобного разбиения обусловлена следующими факторами.

Эффективность управляющего решения зависит от состояния системы. Проявления различных состояний системы в своем многообразии значительно превышают количество допустимых управляющих решений. При этом управляющие решения обладают определенной устойчивостью, вследствие чего в достаточно близких ситуациях эффективно одно и то же управляющее решение. Построение разбиения сводится к задаче кластеризации с внешней целью и без учителя. Для ее решения можно использовать, например, схему метода «динамических ядер».

Выбор коррекции в текущем состоянии  $x \in X^+$  сводится к его последовательной классификации относительно каждого из четырех полученных разбиений множества  $X^+$ . По результатам классификации относительно того или иного разбиения выбирается управляющее решение по обеспечению соответствующей группы требований. Совокупность решений, полученных в результате этих классификаций, составляет решение задачи выбора.

Проведенный анализ показал, что два контура управления в системе менеджмента качества обуславливают наличие двух типов задач управления процессом производства: задачи управления на уровне общего руководства и задачи управления на уровне инженерно-технического персонала. Каждая из них может быть сформулирована как задача слежения – на любом текущем этапе процесса производства обеспечить использование оптимального/суб-

оптимального (относительно заданных критериев эффективности и на заданном множестве допустимых альтернатив) управляющего воздействия.

Ввиду того, что каждому контуру управления соответствуют свои «узкие места», критерии эффективности и исходные данные, задачи разных типов требуют различных методов решения. Однако общая схема принятия решения по прецедентности применима в обоих случаях. На

уровне инженерно-технического управления она может быть использована в условиях, когда причина отклонения от задания не может быть идентифицирована и выбор управляющего воздействия осуществляется в диалоговом режиме на основе специального анализа текущей ситуации. Для описания текущего состояния производства в этом случае могут использоваться наблюдаемые значения показателей качества продукции.

## Литература

1. ISO 9000 Introduction and Support Package: Guidelines on the Process Approach to quality management systems / ISO/TC 176/SC 2/N 544R. – 17 May, 2001.
2. ТК РБ 4.2-Р-05-2002. Методика и порядок работ по определению, классификации и идентификации процессов. Описание процессов на базе методологии IDEF0.- Методические рекомендации // Управление качеством. НТК по стандартизации. Госстандарта Республики Беларусь. – 2001. – 45 с.
3. СТБ ИСО 9001-2001. Системы менеджмента качества. Требования // БелГИСС. – 2001.
4. Соломахо В.Л., Серенков П.С., Краснопрошин В.В. Модель «сквозного» менеджмента качества // Новости. Стандартизация и сертификация. – 2003. – № 5. – С. 65 – 69.
5. Краснопрошин В.В., Максимович Е.П. Принятие решений на основе прецедентности в задачах управления дискретно-событийными системами. – Мн., 2000. – 41 с. – (Препринт / Нац. акад. наук Беларуси. ИТК; № 7).

## КОНЦЕПЦИЯ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМА «ИЗМЕРЕНИЯ» ПОТЕРЬ КАЧЕСТВА

А.Г.Курьян, соискатель кафедры СМИС, ИП «Ориентсофт»

Люди покупают только ту продукцию и услуги, которые обладают для них определенной ценностью. Современный менеджмент пришел к пониманию того, что управлять нужно не столько производством продукции, сколько созданием ценности для потре-

бителя. При этом продукция является носителем этой ценности.

Одной из важных составляющих менеджмента является предотвращение потери ценности продукции или снижения ее качества. Ключевым в деятельности организации, которая произ-

водит продукцию, обладающую ценностью для потребителя, становится сохранение и увеличение достигнутого уровня ценности.

Современные представления о деятельности организации базируются на процессном подходе, согласно которому деятельность организации представляет собой структурированную сеть процессов, которые, в свою очередь, состоят из отдельных функций, «поглощающих» ресурсы, необходимые для их выполнения. Результатом деятельности является полезный результат – продукция, представляющая ценность для потребителя. Механизм формирования ценности основан на переработке и использовании ресурсов. Одновременно с полезными изменениями свойств ресурсов в рамках процессов «создаются» в силу различных причин и потери ценности, представляющие собой по сути «потери качества».

Здравый смысл подсказывает, что управлять нужно не там и не тогда, когда потери качества уже произошли и ценность уменьшилась, а там и тогда, где эти потери качества совершаются, т.е. в рамках процессов, составляющих бизнес-процессы организации. В связи с этим современный менеджмент качества пришел к пониманию, что управлять нужно не качеством продукции, а качеством исполнения процессов. В частности, это обстоятельство нашло свое отражение в международных стандартах ИСО серии 9000 версии 2000 года, где провозглашен принцип процессного подхода к менеджменту качеством [2].

Причины появления потерь качества весьма разнообразны: некорректно сформулированные требования к продукции, плохо проработанный проект, нарушения технологии, несоответствующее качество ресурсов, флуктуа-

ции режимов и параметров оборудования, «человеческий фактор», несовершенство системы управления и законодательства и т.п. Существенным является то обстоятельство, что все эти потери качества появляются при выполнении отдельных процессов и привносятся в производимые продукцию или услуги одновременно и параллельно с производством ценности. Специально потери качества не создаются!

Условно продукцию, производимую организацией, можно рассматривать как накопители ценности, и одновременно потерь качества. Ценность и потери качества переносятся с ресурсов на процессы в рамках всей структуры бизнес-процесса А0 (рис. 1). Затем ценность и потери качества переносятся с процессов на продукцию или услуги, т.е. накапливаются в них. Следовательно, выявление и структуризацию факторов, влияющих на оценку результативности менеджмента качества, следует проводить в соответствии со структурой бизнес-процесса, формирующего качество конечной продукции.

Функция потерь качества для всего бизнес-процесса А0 имеет вид

$$Y = f(x_1; x_2; x_3),$$

где  $f$  – функция связи, отражающая структуру взаимодействия процессов всех уровней сети процессов;

$x_1; x_2; x_3$  – комплексные и элементарные показатели потерь качества, зарегистрированные на выходах всех процессов более низкого уровня.

Выражение  $Y = f(x_1; x_2; x_3)$  представляет собой обобщенную модель количественной оценки качества продукции и качества деятельности организации, в том числе результативности менеджмента качества.

Преимуществом процессного подхода является следующее: представляя процесс производства продукции или услуги в виде последовательностей операций, мы яснее понимаем структуру формирования ценности для потребителя. Представляя структуру формирования ценности, мы автоматически начинаем представлять структуру возникновения потерь качества (рис. 1). Последнее создает базис для получения обобщенной функции потерь качества, увязывающей элементарные потери качества с результативностью менеджмента качества в целом. Обобщенная функция потерь качества и является объектом анализа, ее можно использовать для оптимизации потерь качества составляю-

щих процессов, прогнозирования. Выявляя с помощью полученной функции «узкие места», мы можем предотвращать потери качества вместо того, чтобы тратить силы и средства на восстановление уже потерянной ценности.

Здесь уместна следующая аналогия: если бракованную продукцию рассматривать как сыпь на теле предприятия, то она сигнализирует о том, что где-то внутри предприятия появились очаги «болезни». Не зная устройства тела, мы не можем понять смысл этих сигналов. Мы будем чувствовать боль, но не сможем понять ее источник и причину ее появления. Не понимая причины появления болезни, мы не сможем ее вылечить.

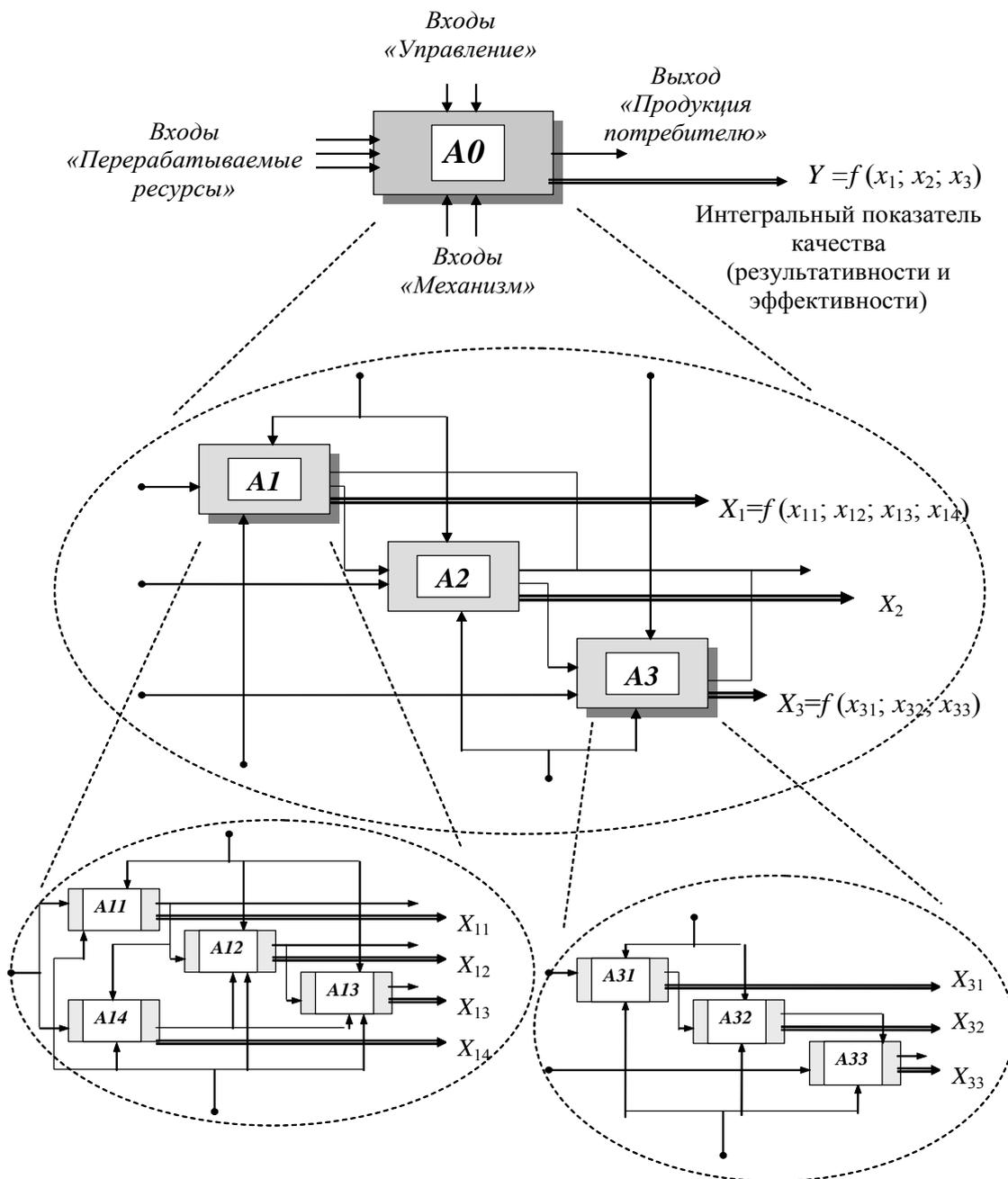


Рис. 1. Модель структуры функции потерь качества  $Y$  как методологическая основа достоверности оценки результативности менеджмента качества

Достаточно наглядно эту ситуацию демонстрирует деятельность службы по обработке обращений и жалоб клиентов в крупной телекоммуникационной компании. Жалоба клиента – это сигнал о том, что произошла потеря качества и соответственно снизилась ценность услуги, которую компания предоставила клиенту. Эта служба, получив жалобу от клиента, изучает ситуацию и вы-

ясняет, какое подразделение и какой сотрудник выполняли соответствующие работы, т.е. ищет ответ на вопрос «Кто виноват?». Только после того, как выявлены причины, которые привели к появлению жалобы, компания принимает меры по исправлению ситуации. По сути компания устраняет потери качества и восстанавливает утраченную ценность. При этом затраты по выявле-

нию и устранению причин жалоб являются незапланированными и, следовательно, приводят к снижению эффективности деятельности компании. Более того, даже после выполнения работ по устранению причин конкретной жалобы нет гарантии того, что подобного рода ситуация не будет повторяться.

Первым шагом на пути эффективного менеджмента качества является понимание структуры бизнес-процессов предприятия. Хорошо представляя структуру бизнес-процессов, менеджеры предприятия смогут лучше понимать, где находится источник потерь качества. Более того, зная структуру бизнес-процессов, мы сможем развернуть систему сбора данных о качестве таким образом, чтобы своевременно получать достоверную информацию и эффективно предотвращать возникновение потерь качества, отслеживать тенденции, формировать стратегию улучшения бизнес-процессов.

Очевидно, что условиями объективного, она была принята в 1983 году в качестве федерального стандарта США [4], правильно построенная функциональная модель в 2001 году – в качестве российского стандарта [5].

в понимании механизма менеджмента качества.

### Представление деятельности организации в виде сети процессов

Проблема описания структуры сложных бизнес-процессов не является новой для общества. Еще в конце 60-х годов при реализации крупномасштабных проектов специалисты столкнулись с необходимостью формализации представления информации о составе и структуре сложных систем, включающих как людей и машины, так и программное обеспечение.

В 1969 году Дуглас Т. Росс предложил использовать для этих целей методологию структурного анализа и проектирования (Structural Analysis and Design Technique – SADT) [3]. Широкое распространение эта методология получила под другим названием: IDEF0 – методология функционального моделирования (рис. 2). Под этим названием

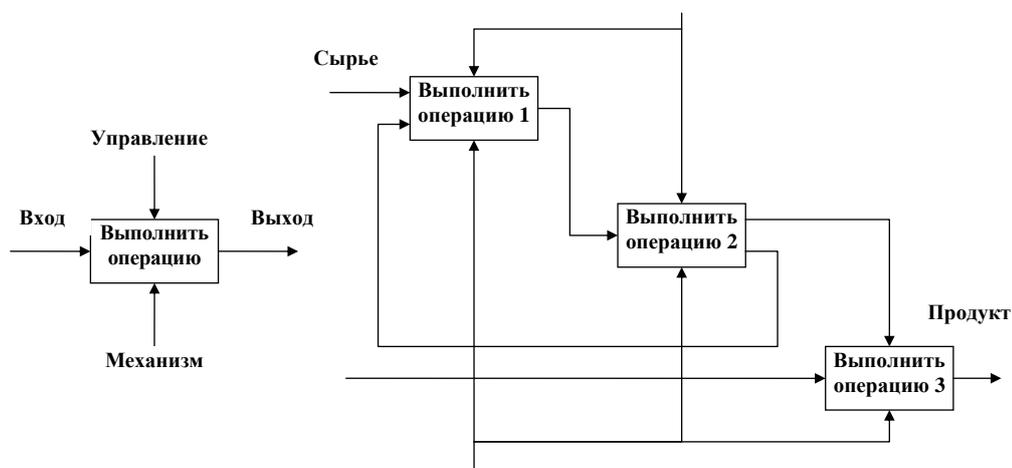


Рис. 2. Представление процесса в соответствии с методологией IDEF0

Функциональные блоки являются теми узловыми точками бизнес-процесса, в которых происходит преобразование ресурсов на входы в выходы и перенос ценности ресурсов с входов на выходы. Потери качества неразрывно связаны именно с преобразованиями ресурсов (предусмотренными и непредвиденными), поэтому они порождаются в этих же самых узловых точках. Функциональная структура процесса дает менеджеру по качеству представление об этих узловых точках.

Другими словами, функциональная модель является системой координат, в которой менеджер осуществляет свою деятельность.

### **Потери качества**

В 1981 году д-р Г. Тагучи на презентации в Ford Motor Company предложил свою методологию менеджмента качества, в рамках которой он предложил измерять качество через «потери качества» с помощью двух показателей: функция потерь качества и отношение сигнал/шум. Этот подход не нов и аналогичен, например, подходам в метрологии, где точность измерения оценивается через погрешности (потери точности).

Согласно Г. Тагучи [1], каждый продукт выполняет некоторую полезную для потребителя функцию. Существует такое состояние продукта, про которое можно сказать, что его полезная функция выполняется «идеально». Другими словами, продукт или услуга обладают максимально возможной для этого состояния ценностью для потребителя. Отклонения от идеального состояния представляют собой «потери качества» и, следовательно, приводят к снижению ценности для потребителя. Чем меньше отклонений (в количе-

ственном и качественном выражении), тем выше качество.

Причины отклонений продукции от идеального состояния связаны с отклонениями отдельных их характеристик продукта или услуги. Функция потерь качества позволяет количественно оценить степень неудовлетворенности потребителя, вызванную отклонениями тех или иных характеристик продукта от идеального состояния. Оценка выражается как разность между текущим и целевым (идеальным) значениями полезной функции.

Применительно к бизнес-процессам цепочка становится сложнее: характеристики продукции, которая производится в результате реализации бизнес-процесса, зависят от характеристик составляющих его процессов. Характеристики процессов, в свою очередь, зависят от характеристик ресурсов, поступающих на их входы и перерабатываемых в рамках процессов или используемых при выполнении процессов.

Условно продукцию, производимую организацией, можно рассматривать как накопитель ценности и потерь качества.

Ценность и потери качества переносятся с ресурсов на процессы в рамках бизнес-процесса. Затем ценность и потери качества переносятся с процессов на продукцию, т.е. накапливаются в ней.

Следует отметить, что структура переноса и накопления ценности и потерь качества может быть весьма сложной. Сложность связана со сложным характером взаимодействий и взаимосвязей между ресурсами, процессами (операциями) и накопителями ценности и потерь качества.

### **Оценка результативности менеджмента качества и мониторинг потерь качества**

Качество как степень удовлетворенности потребителя может и должно быть измерено и оценено. Это имеют в виду, когда говорят, что цели в области качества должны быть измеримыми. Цель менеджмента качества и систем менеджмента качества – максимальная удовлетворенность потребителя, т.е. максимальная оценка качества.

Следует отметить стратегическую ошибку некоторых методических рекомендаций по оценке результативности менеджмента качества или его элементов, например, корректирующих и предупреждающих действий. Практика показывает, что методики оценивания результативности разрабатываются в отрыве от комплексной методологии «сквозного» менеджмента качества, что подменяет цели и задачи оценивания. Как правило, производится оценка ради оценки. Это в свою очередь приводит к примитивизации методов оценивания результативности как интегрального показателя качества деятельности организации. Игнорируются принципы системности и комплексности, имеет место поверхностный подход к выбору и структуризации влияющих факторов как в количественном, так и в качественном отношении. В то же время оценивание в рамках менеджмента качества имеет своей главной целью обеспечение условий для принятия управляющих решений, что, собственно, и обеспечивает результативность и эффективность менеджмента качества. Иными словами, получаемая оценка должна служить исходными данными для выработки целенаправленных корректирующих и предупреждающих действий. Это – ключевой момент, который придает оцениванию определен-

ный статус, формулирует требования к получаемой оценке, без выполнения которых она становится практически бесполезной (оценка ради оценки). Среди требований, выдвигаемых методологией «сквозного» менеджмента качества к оцениванию результативности, на первом месте стоят достоверность и прослеживаемость.

Реализация этих требований сталкивается с двумя основными видами проблем. Во-первых, это методические проблемы, связанные с определением контекста (границ) самой модели оценивания, например:

- Что является началом отсчета результативности? Сравнение состояния дел в организации до и после введения систем менеджмента качества в соответствии с ИСО 9001:2000 методически неверно, т.к. система управления качеством существовала всегда, пусть в неявном виде.

- Какова доля систем менеджмента качества в достигнутом уровне качества? Система менеджмента качества является подсистемой общей системы менеджмента организации и участвует в обеспечении качества наряду с другими подсистемами: финансового менеджмента, ресурсов и т.д.

Во-вторых, это проблемы, связанные с разработкой самой модели оценивания. Формально интегральная оценка результативности и эффективности может быть сведена к типовой задаче статистического моделирования (задача квалиметрии), решаемой в три этапа:

- 1) выявление и структуризация влияющих на рассматриваемый параметр качества продукции факторов;
- 2) нахождение функции связи и ее анализ;
- 3) вычисление оценки и ее анализ для целей последующего принятия целевых управляющих решений.

Как ни странно, наиболее сложным на сегодняшний день является реализация первого этапа, ибо он имеет в общем случае самый высокий уровень субъективизма при высоком уровне влияния на адекватность модели оценивания и, соответственно, достоверность оценки.

Очевидно, что полная (адекватная) модель оценки результативности менеджмента качества требует значительных ресурсов, в частности широко развернутой сети сбора данных (по всей сети процессов, составляющих бизнес-процесс).

С другой стороны, ИСО 9001-2000 требует постоянного наблюдения за состоянием качества процессов и продукции – мониторинга. Смысл этого понятия опять же не нов и привычно используется в других областях деятельности, например в диагностике состояния объекта, а точнее, в оценке изменения состояния в ту или иную сторону.

В медицине, например, широко распространен тезис о том, что залогом успешного лечения заболевания является его диагностика на ранней стадии. Человека подвергают диагностическому анализу с целью выявления потенциально возможных заболеваний. Этот

тезис применим с тем же успехом к менеджменту качества. Диагностика потерь качества на ранней стадии их появления является залогом успешного предотвращения переноса этих потерь на конечную продукцию или услуги.

Суть мониторинга сводится к следующему. На стадии полной оценки результативности менеджмента качества (по всему бизнес-процессу) в результате анализа обобщенной функции потерь качества (см. рис. 1) выявляются «узкие места», т.е. те процессы, где потери качества дают наибольший вклад в потерю ценности продукции для потребителя. В установленные «узкие места» в рамках бизнес-процесса предприятия необходимо установить «сигнализацию», которая будет срабатывать всякий раз, когда появляются потери качества. В результате мониторинг сводится к сканированию информации датчиков, установленных в потенциально «узких местах», и оценивании тенденций в изменении результативности менеджмента качества. Общая схема мониторинга потерь качества как упрощенная модель оценки результативности менеджмента качества представлена на рис. 3.

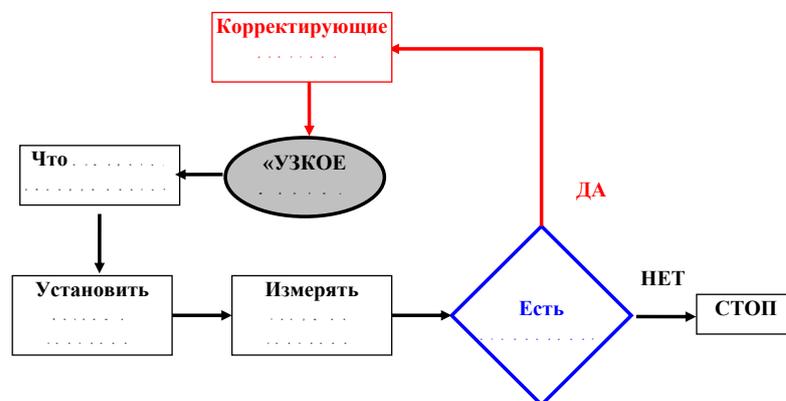


Рис. 3. Общая схема мониторинга в «узком месте»

Скажем несколько слов о природе «сигнализации», которая лежит в основе мониторинга потерь качества. В основе такой сигнализации находится «датчик», который должен улавливать появление потерь качества и сообщать об этом менеджеру по качеству. Естественно, что датчик зависит от характера операций, при выполнении которых он должен обнаруживать (или измерять) появление потерь качества, от характеристик ресурсов, обрабатываемых или используемых в рамках таких операций, а также от природы самих потерь качества, т.е. неприемлемых характеристик объекта, который получается на выходе операции в результате ее исполнения.

Рассмотрим еще один пример из деятельности телекоммуникационной компании – услуги по установке телефонов в отдаленных местах (деревнях, хуторах, дачах и т.п.). До последнего времени заявления граждан по поводу установки телефона рассматривались в рамках утвержденных планов телефонизации. Если, например, в планах телефонизации на текущий год населенный пункт не значился, то рассмотрение заявлений ее жителей по поводу установки телефонов откладывались. Компания не удовлетворяла потребность граждан в своевременном предоставлении услуг по телефонизации. Учитывая, что сегодня имеется возможность предоставлять различные услуги гражданам за их счет вне планов развития компании, было бы целесообразно наладить процесс обработки таких заявлений. Процесс обработки заявлений мог бы выглядеть следующим образом. В компании фиксируется количество заявлений граждан по поводу установки телефонов. Если количество таких обращений из некоторого насе-

ленного пункта становится достаточно большим, это является сигналом о том, что можно начинать подготовительную и организационную работу по реализации проекта установки телефонов для этого населенного пункта.

В приведенном примере заявления граждан будут выполнять роль сигналов; роль датчика выполняют службы по работе с гражданами (абонентский отдел, служба маркетинга). Показателем является количество заявлений граждан из одного населенного пункта. Если количество заявлений достигает некоторого критического значения, компания может начинать работы по телефонизации этого населенного пункта.

### **Заключение**

В статье рассмотрена одна из важных составляющих менеджмента качества – предотвращение потерь качества. Также предложен инструмент для реализации этого вида менеджмента – мониторинг потерь качества. В основе предлагаемого инструмента лежит процессный подход к менеджменту. Этот подход позволяет осуществлять мониторинг потерь качества в месте их возникновения: в рамках бизнес-процессов предприятия.

В статье не затрагивалась еще одна важная составляющая менеджмента качества – улучшение (совершенствование) процессов. В общем случае улучшение процессов становится оправданным тогда, когда мониторинг потерь качества в «узком месте» демонстрирует высокий уровень потерь качества. Критерием того, что нужно улучшать процесс, является превышение затрат на корректирующие действия по отношению к затратам, связанным с улучшениями процесса в этом «узком месте».

## Литература

1. Taguchi Methods. Case Studies from the U.S. and Europe. – ASI Press, 1989.
2. МС ИСО 9000:2000. Пер. с англ. – Мн.: Госстандарт Республики Беларусь, 2000.
3. Давид Марка, Клемент МакГоуэн. Методология структурного анализа и проектирования. Пер. с англ. – М, 1993, – 240 с.
4. INTEGRATION DEFINITION FOR FUNCTION MODELING (IDEF0) // Draft Federal Information Processing Standards Publication. – 1993. December, 2. – 183 p.
5. Р50.1.028-2-001. Методология функционального моделирования. – М.: Госстандарт РФ, 2001.

## МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

**П.С.Серенков**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой СМИС;  
**В.М.Романчак**, кандидат физико-математических наук,  
Белорусский национальный технический университет;  
**Э.М.Короневич**, студент группы 113519 кафедры СМИС

Менеджмент качества как специфический вид деятельности предполагает, прежде всего, комплексное решение задач планирования, обеспечения, управления и улучшения качества каждого процесса и сети процессов в целом.

В соответствии с международными стандартами ИСО семейства 9000 все параметры качества изделия должны задаваться в виде номинального значения с допуском. Это означает, что каждый параметр качества должен быть представлен в виде диапазона допустимого рассеяния своих значений, который нормируется соответствующими стандартами и оформляется должным образом. Таким образом, корректировать показатель качества можно двумя путями:

1. Воздействовать на факторы, определяющие его математическое ожидание.
2. Воздействовать на факторы, определяющие его дисперсию.

подавляющее большинство процессов можно по степени определенности отнести к категории «черные ящики». Этот класс процессов наиболее сложен с точки зрения менеджмента качества. Все широко рекламируемые, а также малоизвестные методы, техники и подходы для решения проблем качества этих процессов можно объединить под одним названием «статистическое моделирование процессов», т. к. основаны они на принципах теории вероятности и математической статистики. «Пищу» для статистического моделирования процессов составляют «данные о качестве» – накапливаемые в количественной или качественной форме данные о параметрах качества каждого процесса сети процессов [1]

Однако известные методы решения задач моделирования процессов не всегда могут дать удовлетворительное решение поставленной задачи, предоставляя некорректные модели. Анализ

некорректной модели искажает картину реального состояния системы, даже если алгоритм и математический аппарат обработки данной модели будет идеален с точки зрения математики. В данной статье обсуждается гипотеза построения модели процесса с помощью глобальной рациональной интерполяции результатов экспериментов (данных о качестве) и ее использования для решения оптимизационных задач а также автоматизации процессов менеджмента качества.

Математическую модель данных о качестве можно представить в виде

$$\varphi = f(x_1, x_2 \dots x_n),$$

где  $\varphi$  – выходной параметр (показатель качества, результативность и т.п.),

$f$  – функция отклика,

$x_1, x_2 \dots x_n$  – факторы.

В настоящее время наиболее распространенным способом описания зависимости между параметрами оптимизации и влияющими факторами является регрессионная модель [2], суть которой лежит в нахождении коэффициентов регрессии при выполнении условия наименьшего значения суммы квадратов разностей действительных и аппроксимированных значений. В основном используется линейная регрессия, которая описывается уравнением

$$\varphi = \sum_{i=0}^m b_i f_i(x_1, x_2 \dots x_n),$$

где  $\varphi$  – выходной параметр,

$f_i$  – функция связи,

$b_i$  – коэффициенты регрессии,

$x_1, x_2 \dots, x_n$  – факторы.

Данная модель называется линейной, потому что коэффициенты регрессии имеют степень, равную единице,

функции же связи могут быть различными. На практике наибольшее применение находит линейная регрессия (функция связи выражает линейную зависимость выходного параметра от факторов):

$$\varphi = \sum_{i=0}^m b_i x_i. \quad (1)$$

Сразу бросается в глаза главный недостаток данного метода описания функции отклика: происходит приближение к заранее выбранной функции, причем выбор данной функции зачастую не обосновывается априорной информацией. В качестве примера можно привести какой-либо процесс, имеющий параболоид в качестве действительной функции отклика

$$z = 100 - x^2 - y^2,$$

причем массив имеющихся данных о качестве симметричен относительно точки экстремума. В таком случае при аппроксимации функции к виду (1) экстремум найден не будет, хотя он имеет ярко выраженный характер.

С целью минимизации методических ошибок моделирования такого рода, на наш взгляд, необходимо построить функцию связи, проходящую через все точки массива данных о качестве. В качестве решения можно использовать интерполяционные полиномы, однако существует ряд трудностей связанных с применением общеизвестных интерполяционных полиномов:

- отсутствие устойчивости интерполяционных полиномов Лагранжа и Ньютона при увеличении количества узлов интерполяции до 20;

- сложность построения функции многих переменных для интерполяции кубическими сплайнами.

Рассмотрим методы построения функции отклика, не содержащие недостатков, описанных выше.

### 1. Применение аппроксимирующего полинома вида

$$R(t) = \frac{\sum_i y_i \cdot f(t - x_i)}{\sum_i f(t - x_i)},$$

где  $f(x) = \frac{l^2}{(x)^2 + l^2}$ ,

$x_i$  – значения факторов в узлах;

$y_i$  – значения выходного параметра в узлах;

$l$  – параметр, отвечающий за степень приближения функции отклика к узлам;

$t$  – значение фактора.

Чем меньше данный параметр, тем ближе функция к узлам (на рис. 1 приведена аппроксимация при  $l = 0,1$ ).

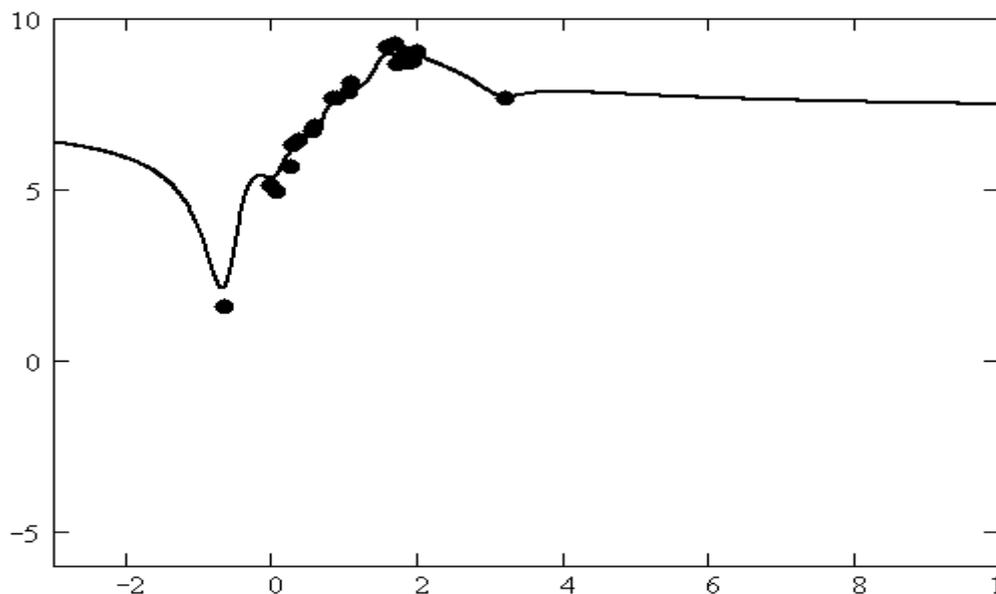


Рис. 1. Аппроксимация массива данных о качестве при помощи первого метода

Для многомерных случаев функция будет иметь вид

$$R(t_1, t_2) = \frac{\sum_i z_i \cdot f(t_1 - x_i, t_2 - y_i)}{\sum_i f(t_1 - x_i, t_2 - y_i)},$$

где  $f(x, y) = \frac{l^2}{x^2 + y^2 + l^2}$ ,

т.е. для перехода к большему количеству переменных добавляем переменные в исходные функции.

## 2. Представление функции отклика в виде интегрального уравнения Фредгольма первого рода.

Интегральное уравнение Фредгольма первого рода имеет вид [3]

$$\int_a^b K(x, s) \cdot z(s) \cdot ds = u(x),$$

где  $x$  – переменное значение фактора применительно к нашему случаю;

$s$  – значения наблюдаемых факторов;

$K(x, s)$  – ядро функции;

$z(s)$  – значение некоторой заданной функции от фактора;

$u(x)$  – значение параметра оптимизации.

Возьмем ядро функции как разностную функцию  $K(x - s)$ , имеющую вид

$$K(x) = \frac{1}{x^2 + h^2},$$

где  $h$  – параметр, определяющий степень влияния узлов в зависимости от удаленности от данной точки.

Чем больше данный параметр, тем большее количество узловых точек имеет значимое влияние на любую точку функции отклика, таким образом, чем больше данный параметр, тем более гладкой будет функция отклика.

Составляется матрица ( $A$ ) значений ядра, в качестве переменных которого выступает разность между узлами факторов:

$$A = K(s_i - s_j),$$

где  $s_i$  и  $s_j$  – узловые значения факторов (исходные данные о качестве для построения модели),  $i$  и  $j = 1, \dots, n$ .

На основании известного вектора значений параметра оптимизации можем определить вектор значений  $z = \{z(s_1), z(s_2), \dots, z(s_n)\}$ :

$$z = A^{-1}u,$$

где  $u = \{u(s_1), u(s_2), \dots, u(s_n)\}$  – вектор наблюдаемых значений параметра оптимизации при факторах  $s_1$ .

Исходя из найденных значений  $z$ , составляем функцию отклика (рис. 2):

$$u(x) = \sum_i z(s_i) \cdot K(x - s_i)$$

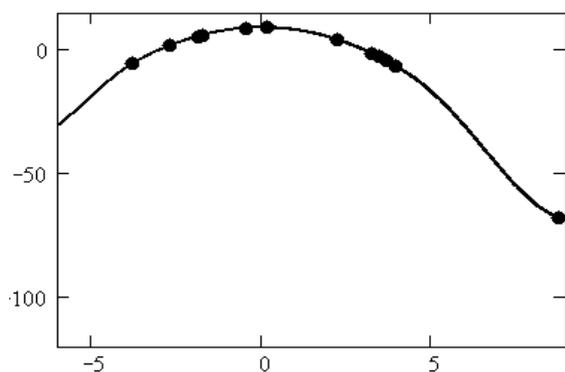


Рис. 2. Аппроксимация массива данных о качестве при помощи второго метода

Переход к многомерным случаям осуществляется путем добавления соответствующего числа переменных. Получается для ядра функции (случай для двух факторов; для большего числа факторов, все аналогично)

$$K(x, y) = \frac{1}{x^2 + y^2 + h^2}.$$

$A = K(s_i - s_j)$  преобразуется в  $A = K(x_i - x_j, y_i - y_j)$ ,

где  $x_i, y_i$  – координаты соответствующих узловых точек  $s_i$ , а функция отклика становится функцией двух переменных (рис. 3):

$$u(x, y) = \sum_i z(s_i) \cdot K(x - x_i, y - y_i).$$

Рассмотренные примеры построения функции отклика обеспечивают построение ее математического описания по известным значениям факторов и параметра оптимизации, однако они не гарантируют точности описания рассматриваемого процесса из-за того, что сами данные о качестве могут не обладать достаточной степенью глобальности, чтобы покрыть все возможные состояния системы.

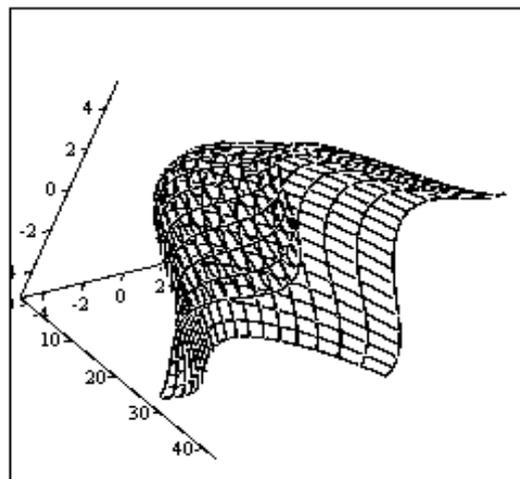


Рис. 3. Аппроксимация функции двух переменных вторым методом

### Рекомендации по применению

На основании изучения рассмотренных методов можно привести ряд рекомендаций по их применению.

Аппроксимация полиномом первого вида является наиболее простым способом построения функции по известным точкам, причем функция будет приближаться к данным точкам настолько близко, насколько необходимо разработчику модели. Основным преимуществом данного полинома является то, что при его помощи можно построить функцию отклика по большому количеству наблюдаемых значений, причем чем больше рассматриваемых значений, тем лучше ведет себя функция отклика, так как полином стремится занять среднее положение в случае, когда параметр качества имеет несколько значений при одном и том же сочетании факторов, т.е. он “выбирает” статистически наиболее значимую точку. Но при небольшом количестве точек функция отклика имеет множество локальных экстремумов, что может привести к неправильному анализу данных. Поэтому данный полином лучше всего применять для построения модели по накапливающимся в про-

цессе производства данным, число которых может быть велико (тысячи).

Полином второго вида в отличие от первого обладает свойством сохранять тенденции, т.е. гладким образом продолжаться. Это хорошо при условии, что точки расположены на достаточном расстоянии друг от друга, и такая характеристика, как конечная разность (характеризует скорость нарастания функции, т.е. аналог производной), не имеет резких перепадов от больших положительных значений к большим отрицательным. Однако при резких перепадах функция начинает осциллировать. При наличии двух и более точек при одном сочетании уровней факторов матрица  $A$  становится вырожденной. Таким образом, данный вид полинома наиболее выгодно использовать при построении математической модели в планировании промышленного эксперимента, когда количество точек небольшое, причем точки обладают достаточной статистической значимостью. Применение таких полиномов для построения модели по накапливающимся в процессе производства данным является невозможным из-за показанных недостатков. Однако можно привести алгоритм первоначальной обработки массива данных о качестве для получения из набора большого числа незначимых данных меньший массив значимых данных, в котором каждой области присваивается значение средней точки.

Критерием данной замены является то, что одна точка – это не есть «чистое значение» на сочетание факторов, так как в отклик входят еще и результаты влияния случайных неуправляемых факторов, и погрешность измерения.

Поэтому есть смысл перейти к набору данных о качестве, обладающих какой-либо значимостью. Для получения этих данных необходимо разделить массив первоначальных данных на подобласти, а затем определить средние значения факторов и отклика в каждой из этих подобластей. Разделение массива можно произвести при помощи аппарата регрессионного анализа: выбирается минимальное количество точек (в подобласти примем его равным четырем), затем находятся коэффициенты регрессии методом наименьших квадратов для функции. Здесь мы рассматриваем случай однофакторного эксперимента

$$\varphi = b_0 + b_1x_1 + b_2x_1^2,$$

где  $x_1$  – значение фактора;

$b_0, b_1, b_2$  – коэффициенты регрессии.

Если коэффициент регрессии  $b_2$  незначим по критериям, применяемым в полнофакторном эксперименте (это означает, что набор данных аппроксимируется прямой линией), то добавляем еще одну точку в подобласть и так делаем до тех пор, пока коэффициент  $b_2$  не становится значимым. После этого вводим новую точку, характеризующую данную подобласть, координаты которой равны средним значениям факторов и отклика в этой подобласти, далее берем следующую подобласть и проводим ту же процедуру.

Таким образом при помощи представленных алгоритмов и полиномов можно аппроксимировать любой набор данных о качестве и получить функцию отклика, характеризующую исследуемую систему.

## Литература

1. Соломахо В.Л., Серенков П.С., Краснопрошин В.В. Модель «сквозного» менеджмента качества // Новости. Стандартизация и сертификация. – 2003. – № 5. – С. 65 – 69.
2. Бендат Дж., Пирсон А. Прикладной анализ случайных данных. – М.: Мир, 1969.
3. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1986.

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ УЧЕТА ЗАТРАТ НА КАЧЕСТВО В РАМКАХ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА**

**О.А.Ленкевич**, преподаватель кафедры СМИС;  
**Е.М.Сиротина**, студентка гр. 113529 кафедры СМИС;  
**Е.А.Каритько**, студентка гр. 113529 кафедры СМИС;  
**А.Г.Курьян**, соискатель кафедры СМИС, ИП «Ориентсофт»

Современные представления о системном соотношении между результативностью управления базируются на том, что функциями, которые выполняют, нужно четко определить, контролировать, анализировать в системе (например, системе менеджмента качества), и затратами на их выполнение. Одним из эффективнейших методов описания, контроля, анализа и выполнения [1].

улучшения сложных систем является функционально-стоимостный анализ (ФСА).

Современный менеджмент качества для оценки бизнеса оперирует такими понятиями, как результативность и эффективность. Следует отметить, что их трактовка несколько отлична от традиционной для метода ФСА.

В контексте метода ФСА, рассматриваемого как инструмент менеджмента качества, результативность – это характеристика системы, определяемая как ее способность выполнять в большей или меньшей степени функции, а эффективность – это характеристика, обратно пропорциональная затратам, поглощаемым системой для соответствующей реализации этих функций. Другими словами, для оценки эффективности системы необходимо опреде-

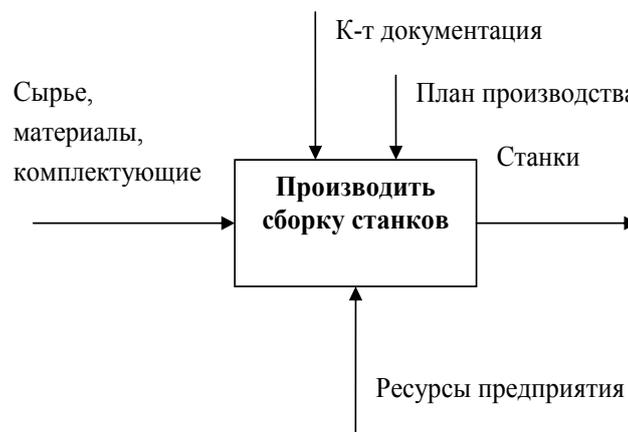
Применение метода ФСА для оценки деятельности предприятия начинается с построения функциональной модели. Для описания деятельности предприятия мы рекомендуем использовать функциональные модели по методологии (стандарту описания структуры процессов) IDEF0 [2, 3], которая предназначена для этих целей.

Деятельность предприятия состоит из множества структурированных процессов, взаимосвязанных в рамках сети процессов предприятия. Таким образом, описание сети процессов предприятия включает перечень процессов и перечень взаимосвязей между процессами. В рамках функциональной модели для представления процесса используется понятие «функциональный блок».

На рис. 1 приведен пример представления процесса «Производить сборку станков» в виде функционального блока.

Стрелка «Станки», выходящая из блока, обозначает полезный результат, произведенный в рамках процесса. Стрелка «Сырье, материалы, комплектующие», входящая в блок слева, обозначает материалы, из которых в рамках процесса осуществляется сборка

станков. Стрелка «Ресурсы предприятия», входящая в блок снизу, обозначает ресурсы, которые потребляются в ходе сборки станков: трудовые ресурсы, оборудование, энергия и т.п. Стрелки «План производства» и «К-т документация» (конструкторско-технологическая документация), входящие в блок сверху, обозначают управление процессом: на основании чего выполняется процесс.



**Рис. 1. Представление процесса в виде функционального блока**

Процессы обмениваются друг с другом ресурсами: ресурс с выхода одного процесса поступает на один из входов другого процесса. Эта связь имеет причинно-следственную природу. В рамках функциональной модели она представляется в виде стрелки, которая соединяет два функциональных блока.

На рис. 2 приведен пример взаимодействия трех процессов в рамках деятельности по сборке станков. Каждый процесс представлен отдельным функциональным блоком. Взаимосвязи процессов представлены соответствующими стрелками, соединяющими выходы одного процесса с входами других процессов.

В любой организации есть основные процессы, т.е. те, которые опреде-

ляют деятельность предприятия и его взаимоотношения с потребителями и поставщиками. Основной процесс – это процесс, выходом которого является продукт и/или услуга, предназначенная внешнему потребителю. Входами основного процесса являются сырье, материалы и данные от внешних поставщиков, которые используются при изготовлении продуктов или оказании услуг.

В организации может быть один или несколько основных процессов. Количество основных процессов определяется количеством видов продукции, которые производит предприятие. Основной процесс (как и любой другой процесс) потребляет ресурсы предприятия в качестве механизмов и управлений.

Ресурс – это любой материальный или информационный объект, который используется на предприятии для осуществления какой-то деятельности. Ре-

сурс характеризуется стоимостью, а также тем, что он расходуется. Его стоимость переносится определенным образом на продукцию и/или услуги.



Рис. 2. Взаимосвязи между процессами

Ресурсы на предприятии могут быть либо в готовом для использования виде, либо их нужно предварительно произвести или обработать. Во втором случае ресурс называется производным. Например, для проектирования станка используется система автоматизированного проектирования – САПР. САПР является готовым ресурсом, имеющимся в распоряжении предприятия.

С другой стороны, при сборке станков используется инструмент, который часто ломается и изнашивается. Для того, чтобы этот ресурс использовать в рамках процесса, его нужно предварительно подготовить, заточить,

сделать специальный инструмент из других ресурсов.

САПР является готовым ресурсом, а инструмент для сборки тракторов – производным.

Ресурсами, которые используются для управления при проектировании станка, являются стандарты на конструкторско-технологическую документацию (ЕСКД и ЕСТД). Этот ресурс используется на предприятии в готовом виде. Он не требует какой-либо специальной обработки.

С другой стороны, ресурс «Требования маркетинга», который представляет собой оценку потребностей рынка в тех или иных особенностях тракто-

ров, является производным ресурсом – результатом отдельного процесса – «Проведение маркетинговых исследований».

Ресурсы, которые используются в качестве механизмов и управлений в процессах, имеют еще одну важную особенность – они расходуются, изнашиваются, морально устаревают, к ним с течением времени изменяются требования. Для их восстановления или изменения на предприятии осуществляются соответствующие процессы. Например, процессы повышения квалификации персонала; процессы, связанные с ремонтом основных фондов или оборудования.

Таким образом, в качестве механизмов процесс может использовать как готовые, так и производные ресурсы, которые подвергаются обработке в рамках предприятия. Производный ресурс является выходом соответствующего процесса. Такой процесс называется обеспечивающим процессом.

По аналогии с механизмами процесс может использовать в качестве управления как готовые, так и производные ресурсы. Производный ресурс является результатом соответствующего процесса. Процесс, на выходе которого производится ресурс для управления другим процессом, называется управляющим.

Для того чтобы в рамках функциональной модели IDEF0 сети процессов определить, к какому типу относится процесс, следует проанализировать характер связи между функциональными блоками.

Если выход функционального блока, описывающего в модели некоторый процесс, связан с механизмом другого функционального блока, то рассматри-

ваемый процесс является обеспечивающим.

Если выход функционального блока, описывающего в модели некоторый процесс, связан с управлением другого функционального блока, то рассматриваемый процесс является управляющим.

В том случае когда выход функционального блока связан с входом другого функционального блока, то эти функциональные блоки относятся к одному и тому же процессу.

Согласно СТБ ИСО 9000-2000, процесс – это совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих видов деятельности, преобразующих входы в выходы.

Процесс может быть простым или сложным. Основными факторами, определяющими сложность процесса, являются ресурсы, потребляемые в рамках процесса. Чем больше различных видов ресурсов связано с процессом, тем более сложную структуру этот процесс имеет.

Сложный характер причинно-следственных связей между ресурсами и функциями предприятия предопределяет и сложный механизм переноса стоимости этих ресурсов и формирования добавленной стоимости результата на выходе процесса.

**В функциональной модели IDEF0 для представления состава и структуры процесса используется принцип декомпозиции. В результате декомпозиции происходит упрощение системы: каждый функциональный блок на дочерней диаграмме имеет более простую структуру, чем функциональный блок, который представляет процесс в целом.**

Отдельный вид деятельности в рамках процесса, в свою очередь может состоять из еще более простых видов деятельности. Детализация процесса

может осуществляться до тех пор, пока внутренняя структура видов деятельности не станет простой. После упрощения причинно-следственные связи между ресурсами становятся понятными и доступными для анализа.

Традиционная система учета затрат в организации не оперирует процессами и их взаимодействиями. Объектами учета затрат являются ресурсы, приобретаемые предприятием для своей деятельности: затраты на труд, амортизация оборудования, основных фондов, стоимость сырья и материалов, административные расходы и т.п. Такая система учета затрат позволяет эффективно учитывать затраты в рамках простых причинно-следственных связей.

Например, между сырьем и готовой продукцией существует простая причинно-следственная связь: сырье превращается в продукт, соответственно

стоимость сырья полностью переносится в стоимость продукта. Причинно-следственные связи между ресурсами, которые используются в качестве механизмов и управлений, имеют более сложную природу. Из-за этого в традиционной системе учета затрат невозможно прямым способом определить, каким образом стоимость управленческого персонала переносится в стоимость конечной продукции. Мы знаем, что без управления предприятие не может работать, но мы не видим, как именно управление превращается в конечный результат.

В рамках метода ФСА стоимость ресурсов учитывается по месту их использования в рамках сети процессов.

Для того, чтобы представить процедуру определения стоимости процесса, рассмотрим упрощенный процесс. Он представлен на рис. 3.

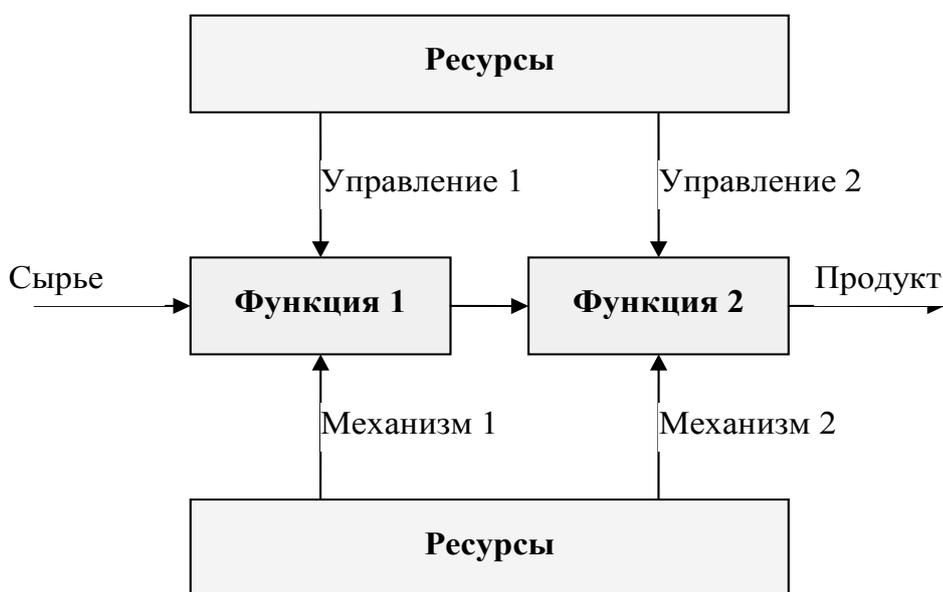


Рис. 3. Схематическая модель процесса

Приведенная на рис. 3 модель процесса включает последовательность из двух функций. Результат выполнения каждой функции в рамках процесса определяется тем, какое сырье используется (вход), каким инструментом это сырье обрабатывается (механизм) и по каким правилам (управление). Все перечисленные отношения представлены на функциональной модели.

Рассмотрим, что происходит со стоимостью. На вход процесса подается сырье со своей заранее известной стоимостью. На выходе процесса появляется продукт, который является результатом преобразования сырья. При этом стоимость продукта на выходе каждой функции процесса всегда больше стоимости сырья на входе. Добавление стоимости происходит за счет того, что часть стоимости механизма и часть стоимости управления переносится на сырье в процессе его обработки (преобразования). Функции процесса поглощают стоимость механизма и управления и переносят ее на продукт. Таким образом, стоимость процесса определяется как сумма стоимостей механизмов и управлений этого процесса.

В рамках процесса мы имеем дело с тремя стоимостями: стоимостью сырья на входе процесса, стоимостью процесса и стоимостью продукта на выходе процесса. Последняя стоимость также называется себестоимостью. При этом стоимость продукта связана со стоимостью функции следующим соотношением:

$$C_{\text{продукт}} = C_{\text{процесс}} + C_{\text{сырье}}.$$

При этом стоимость процесса есть суммарная стоимость функций, из которых состоит этот процесс:

$$C_{\text{процесс}} = \sum_{i=1}^N C_{\text{Функция}(i)},$$

где  $N$  – количество функций в процессе.

Соответственно стоимость функции есть сумма стоимостей механизма и управления:

$$C_{\text{функция}} = C_{\text{механизм}} + C_{\text{управление}}.$$

Как уже отмечалось выше, в качестве механизма может использоваться как готовый ресурс, так и производный. Производный ресурс есть результат выполнения какого-то обеспечивающего процесса. Тип ресурса имеет значение при определении его стоимости.

Стоимость механизма – это стоимость потребляемого ресурса. В том случае, когда речь идет о готовом ресурсе, его стоимость нам известна. Как правило, в системе учета затрат предприятия учитывается стоимость ресурса, потребляемого предприятием в целом за отчетный период времени. Так, стоимость ресурса «труд» учитывается в виде «фонда заработной платы», стоимость расходования основных фондов учитывается в виде «амортизационного фонда». При этом в системе учета затрат не учитывается стоимость ресурса, потребляемого отдельным процессом или функцией.

Стоимость механизма, для которого используется готовый ресурс, определяется путем распределения общей стоимости ресурса между процессами и функциями [4]. В основе такого распределения лежит понятие «носитель стоимости» (носитель затрат или в английском языке – cost driver). Носитель затрат – это фактор, определяющий количество ресурсов, потребляемых процессом или функцией. Посредством носителя затрат устанавливается причинно-следственная и количественная взаимосвязь между ресурсом, функциями и процессами, в которых он используется (расходуется).

Например, при выполнении функции 1 оборудование требует 1 кВт·час

электроэнергии. Фактор, который определяет потребление энергии, – количество потребленной энергии, которое, в свою очередь, определяется временем выполнения функции и мощностью оборудования. Зная стоимость 1 кВт·часа электроэнергии, можно определить стоимость электроэнергии, поглощаемой функцией 1.

В случае когда механизмом является производный ресурс, его стоимость равна стоимости процесса, в рамках которого этот ресурс производился (обрабатывался). По сути, такой ресурс является внутренним продуктом предприятия. Для механизма, в котором используется производный ресурс, стоимость механизма будет определяться через себестоимость ресурса в рамках процесса-поставщика.

Управление также является ресурсом, который предприятие приобретает, производит и использует в своей деятельности. Управление так же, как и механизм, может являться простым или производным ресурсом. В этом случае, когда для управления используется простой ресурс, его стоимость заранее известна и основная проблема возникает при распределении этой стоимости по конкретным процессам и функциям.

Для нормативной или конструкторско-технологической документации стоимость за единицу времени может быть рассчитана по времени актуальности подобной документации или времени, в течение которого должна быть окуплена (амортизирована) стоимость приобретения. На предприятии принято решение приобрести право на производство некоего продукта. Это право покупается на срок 5 лет. Стоимость комплекта конструкторско-технологической документации составляет \$2.000.000. Стоимость лицензии – \$3.000.000. Стоимость управления для приобретаемой технологии составит  $(\$2.000.000 + \$3.000.000) / 5 \text{ лет} \approx 496 \$ / \text{ час}$ .

То есть для того, чтобы окупить затраты на приобретение документации и лицензии, компания должна учитывать при производстве продукции, выпускаемой за один час, сумму 496\$. Эта стоимость должна быть определенным образом разнесена по всем функциям процесса выпуска продукции.

В случае если предприятие занимается самостоятельной разработкой проектной документации, очень важно правильно выстроить всю цепочку взаимосвязанных процессов.

Например, одна из функций маркетингового процесса заключается в выяснении требований потребителей к продукции. Эти требования могут оформляться в виде специальных документов и передаваться администрации предприятия. Администрация предприятия, в свою очередь, может принять решение о необходимости модернизации выпускаемой продукции и проведении необходимых опытно-конструкторских работ. В свою очередь, результатом проведения опытно-конструкторских работ являются документы, описывающие новую продукцию и содержащие необходимые руководящие указания по организации процесса производства, т.е. цепочка процессов по разработке документации может начинаться в процессах, имеющих самое отдаленное отношение к производственному процессу.

Приведенные примеры управления достаточно абстрактны. Их цель состоит в том, чтобы показать, что стоимость может возникать в любом процессе предприятия и доставляться в основные процессы в виде дополнительной стоимости управления. При этом доставка стоимости может осуществляться или непосредственно с выхода какого-либо процесса, или через другие обеспечивающие или управляющие процессы.

Проведение ФСА является трудоемкой, однако окупающей себя деятельностью. Главная особенность метода ФСА – абсолютная гармонизация с процессным подходом к менеджменту, что делает его пригодным для целей оценки результативности и эффективности систем менеджмента качества.

Особенностью проведения ФСА является также то, что нельзя правильно определить стоимость основного процесса, не определив предварительно стоимость обеспечивающих процессов и процессов управления. Из-за этой особенности метода ФСА его внедрение часто входит в противоречие со стремлением менеджеров компании фокусироваться на основных процессах предприятия, отодвигая на второй план

процессы управления и обеспечивающие процессы.

Мы бы хотели акцентировать внимание еще на одном аспекте метода ФСА: при его проведении выявляются причинно-следственные связи, которые определяют перенос стоимости с ресурсов на продукты. Метод ФСА не дает ответа на вопрос, как изменять эти причинно-следственные связи, чтобы улучшить деятельность предприятия, но дает возможность увидеть, где эти причинно-следственные связи являются «плохими». Метод ФСА является необходимым шагом на пути улучшения деятельности предприятия с точки зрения результативности и эффективности.

## Л и т е р а т у р а

1. Серенков П.С., Курьян А.Г., Ленкевич О.А. Функционально-стоимостной анализ деятельности предприятия как методическая основа оценки результативности и эффективности менеджмента качества // Новости. Стандартизация и сертификация. – 2003. – № 3.

2. Р50.1.028 – 2001. Методология функционального моделирования. – М.: Госстандарт России, 2001.

3. **ТК РБ 4.2-Р-05-2001. Методика и порядок работ по определению, классификации и идентификации процессов. Описание процессов на базе методологии IDEF0: Методические рекомендации // Управление качеством: НТК по стандартизации Госстандарта Республики Беларусь. – 2001.**

4. Концепции и принципы управленческого учета: Метод. рекомендации. – М.: Министерство экономического развития России, 2001.

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

**П.С.Серенков**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой СМИС

Менеджмент качества в соответствии с трактовкой МС ИСО 9000 версии 2000 года представляет собой один из «контуров» общего руководства организацией и имеет свои цели и задачи, интегрированные в общий процесс

управления. Менеджмент качества как специфический вид деятельности предполагает комплексное решение задач планирования, обеспечения, управления и улучшения качества каждого процесса и сети процессов в целом, образуя

щих так называемый цикл управления «*p-d-c-a*». В результате руководство качеством в компании представляет собой довольно сложную систему взаимосвязанных процедур, «обслуживающих» сеть процессов, определяющих качество конечной продукции. Этот аспект особо подчеркивается и положен во главу угла в проектах стандартов ИСО семейства 9000 версии 2000 года.

В настоящее время теоретическим и практическим работникам в области менеджмента качества в мире уделяется особое внимание. При этом в последние десятилетия революционных прорывов в области фундаментальных исследований и вы-

сок технологий основной упор в условиях жесткой конкуренции делается на инновационные технологии, направленные на мобилизацию «внутренних резервов», – совершенствование руководства процессами для снижения издержек. Сегодня это, пожалуй, одно из немногих реальных источников ресурсов для решения вопросов эффективного управления компанией.

С подачи крупнейших преуспевающих компаний сложился круг различных методов менеджмента качества, которые получили название “Quality engineering”. Все научные и научно-практические разработки в области менеджмента качества условно можно разделить на три направления:

- исследования, направленные на разработку новых форм систем менеджмента качества через организационную структуру системы, перераспределение ответственности и полномочий, ресурсов, каналов связи между подразделениями;
- исследования, направленные на разработку новых методов мотивации работников, новых подходов к формированию корпоративного мышления;
- исследования, направленные на разработку новых методов и информационных технологий, поддерживаю-

щих процедуры планирования, обеспечения, управления и улучшения как сети процессов, так и отдельно взятых процессов на протяжении всего жизненного цикла продукции.

Сегодня, когда ряд предприятий Республики Беларусь начал проявлять интерес к методам классического менеджмента качества, службы качества столкнулись с проблемами двух видов (в зависимости от наличия инте-

греса и доступа к современным источникам информации): либо с отсутствием доступных менеджмента качества в мире уделяется особое внимание формализованным инструментам менеджмента качества, либо с необъятным количеством различных информационных технологий.

Анализ состояния менеджмента качества на промышленных предприятиях Республики Беларусь показал, что наиболее сложной задачей является мобилизация «внутренних резервов», – совершенствование руководства процессами для снижения издержек. Сегодня это, пожалуй, одно из немногих реальных источников ресурсов для решения вопросов эффективного управления компанией.

подавляющее большинство процессов можно по степени определенности отнести к категории «черные ящики». Этот класс процессов наиболее сложен с точки зрения менеджмента качества. Все широко рекламируемые, а также малоизвестные методы, виды техники и подходы для решения проблем качества этих процессов можно объединить под одним названием «статистическое моделирование процессов», т. к. они основаны на принципах теории вероятности и математической статистики. «Пищу» для статистического моделирования процессов составляют «данные о качестве» – накапливаемые в количественной или качественной форме данные о параметрах качества каждого процесса сети процессов. Информационно доступна на сегодняшний день масса всевозможных видов техники, приемов, методик статистического моделирования.

Отличительной особенностью информационных технологий, используемых в промышленности, являются задачи менеджмента качества. На рис. 1 представлена структура основных типовых задач, которые должен решать менеджер качества в рамках системных подходов. Основные причины – большое количество проблем с качеством производственных процессов (показатели сходимости и восстановления высокого уровня в рамках “Quality engineering”), стремление к максимальному охвату работников компании всех уровней, отсутствие персональной компьютерной техники и соответствующего программного обеспечения. Характерный пример – «семь простейших инструментов» менеджмента качества. Высокая эффективность методов самого широкого спектра. Этого же простейшего анализа, контроля, регулирования качества продукции и процессов (см. рис. 1). Наконец, это вопрос стратегии развития предприятия, при-сущих неотлаженным производственным процессам, с одной стороны, а тенденция роста интереса к статистическим методам мониторинга отлаженных процессов со стороны персонала всех уровней. Для своего времени это была очень грамотная стратегия, рассчитанная на достижение к статистическим методам вообще и точно узкий круг задач, соответствующий уровню подготовленности персонала, низ-мощному рычагу решения проблем качества и его процессов прежде всего за счет внутренних резервов. Нетрудно доказать, что алгоритм обеспечения качества одинаков для процессов любой

Эта тенденция, к сожалению, остается в природе. Удачная формализация любого процесса практически всегда приводит к прагматичному подходу – действительные значения «статистические методы» в рамках системного подхода – должны укладываться в установленные границы (поле допуска), определяющие понятие «уровень качества».

Какие методы в современных условиях? Такой подход аналогичен широко распространенному у нас на практике методу статистических или методов высокого уровня? И в классическом смысле включения. Этот вопрос все чаще возникает в рамках дискуссий по поводу использования статистических методов в менеджменте качества.

1) центрирование действительного поля рассеяния значений параметра корректно. Отталкиваться надо, на наш взгляд, от целей и задач. Хороши те методы, совпадения математического ожидания и середины поля допуска);

2) снижение диапазона действительного поля рассеяния параметра до значения индекса воспроизводимости процесса, например,  $C_p > 1,33$ .

Появление тестированных пакетов при-по качеству при решении задач разведочного кладных программ, ставших сегодня доступ-анализа данных и ответов на ключевые вопро-ными, на наш взгляд, является тем самымсы: что влияет и в какой степени, все ли факто-недостающим звеном цепи дальнейшего ка-ры учтены. При этом надо иметь в виду, что чественного развития методологии менедж-последующие наши корректирующие и преду-мента качества процессов.

Появились мощные пакеты при-кладных программ SPSS (SPSS Inc.), STATGRAPHICS (Manugistic Inc.), STATISTICA (Stat. Soft) и др. с доста-точно дружественными интерфейсами. Сравнительный анализ этих пакетов по-казал, что количество методов (модулей) статистического моделирования сегодня устоялось, оно относительно невелико и обеспечивает решение практически всех возможных задач менеджмента в разных отраслях бизнеса в части всестороннего анализа и прогноза деловых процессов.

Программное обеспечение «разгружает» пользователя (менеджера) от необходимости глубокого профессионального изучения разделов высшей математики и позволяет сосредоточиться на постановке задачи, формализации исходных данных, интерпретации результатов расчетов. Это, на наш взгляд, является ключевым моментом, создающим ре-альные предпосылки для внедрения методо-логии статистического моделирования на промышленных предприятиях Республики Беларусь в качестве основы методологии ме-неджмента качества процессов.

Как пример можно рассмотреть мно-гопараметрический дисперсионный анализ – достаточно сложную в математическом отно-шении технику, практически «неподъемную» для менеджера по качеству в вопросах понима-ния и реализации на бумаге с калькулятором. В пакете STATISTICA (Stat.Soft) эта техника представлена как отдельный модуль с просты-ми, доступными правилами подготовки исход-ных данных о качестве анализируемого про-цесса, управления процедурой компьютерной

обработки данных, представления результатов анализа. Достаточно простая для понимания трактовка результатов делает эту технику в та-ком исполнении незаменимой для менеджеров

Качество становится более тех-ничным. В общем, базовые методы сами по себе уже не могут обеспечить того уровня чувствительности и ана-лиза, который необходим для изуче-ния сложных систем. А поскольку большинство организаций – это слож-ные системы, применение новых тех-нических методов будет иметь боль-шое значение для достижения высо-ких бизнес-результатов. Это, конечно, не означает, что организации должны отказаться от простых методов, при-менение которых – минимальная пла-та за выход на мировой рынок.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ решает задачи

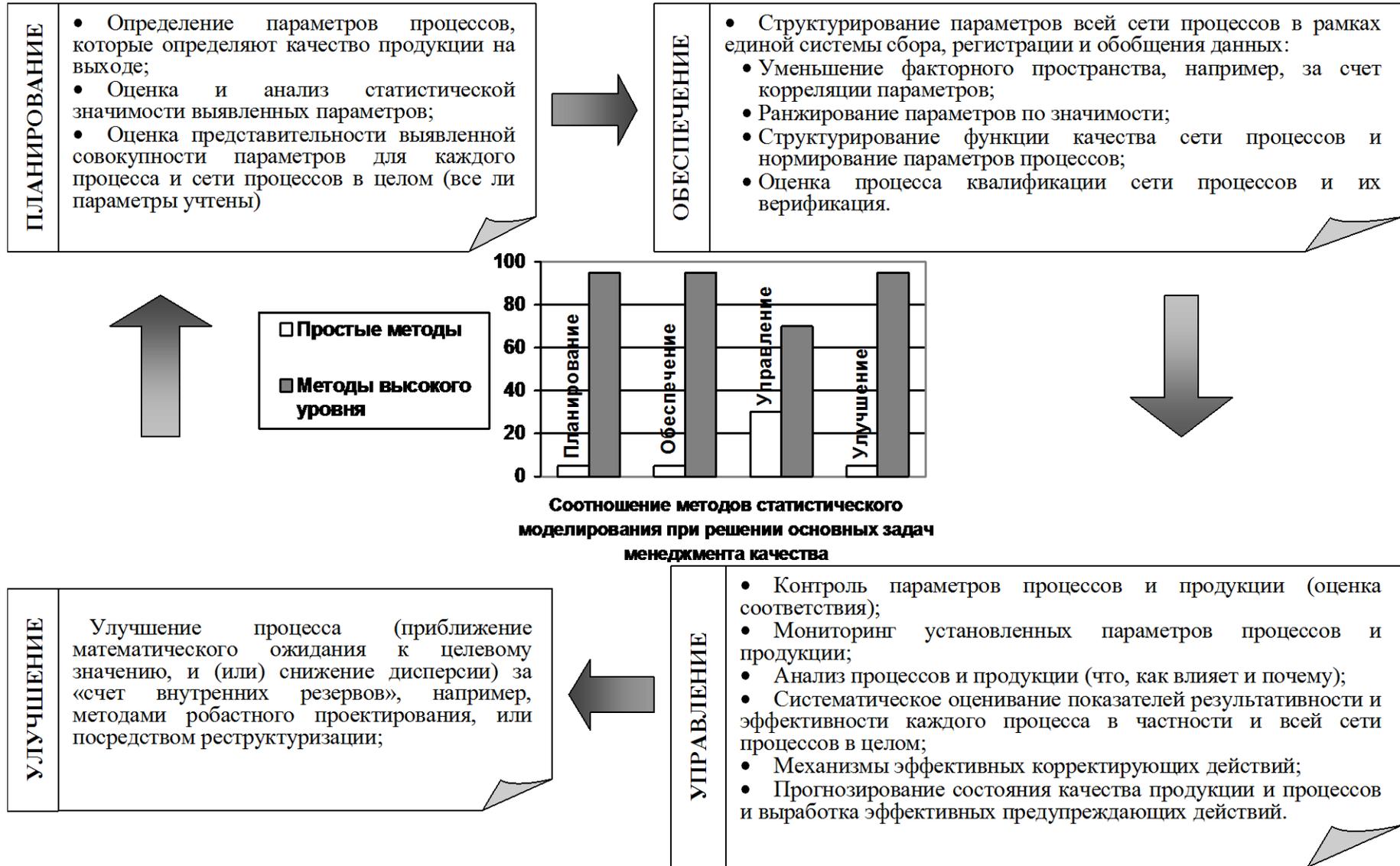


Рис. 1. Классификация типовых задач статистического моделирования процессов в рамках систем менеджмента



## Литература

1. Серенков П.С. Методы и подходы к системам менеджмента качества // «Экономика, финансы, управление». – 2001. – № 3. – С. 25 – 32.
2. Опыт разработки, внедрения и развития системы менеджмента качества в соответствии с требованиями МС ИСО серии 9000 на ПО «Горизонт» / В.И. Семашко, И.И. Толкачев, В.Л. Соломахо, П.С. Серенков // Техника. Экономика. Организация (ТЭО). – 2001. – № 6. – С. 17-19.
3. StatSoft, Inc. (2001). Электронный учебник по промышленной статистике. – Москва, StatSoft. [http://www.statsoft.ru/home/portal/textbook\\_ind/default.htm](http://www.statsoft.ru/home/portal/textbook_ind/default.htm).

### МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ СБОРА И АНАЛИЗА ДАННЫХ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ПРОЦЕССА "ИЗМЕРЕНИЕ, АНАЛИЗ И УЛУЧШЕНИЕ" В РАМКАХ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

**П.С.Серенков**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой СМИС;  
**Н.А.Жагора**, кандидат технических наук, БелГИМ;  
**Л.И.Толстик**, БелГИМ

Современные представления о деятельности организации базируются на процессном подходе, согласно которому деятельность организации представляет собой структурированную сеть процессов, которые, в свою очередь, состоят из отдельных функций, «перерабатывающих» ресурсы, необходимые для их выполнения. Результатом деятельности является полезный результат – продукция, представляющая ценность для потребителя.

Механизм формирования ценности основан на переработке и использовании ресурсов. Одновременно с полезными изменениями свойств ресурсов в рамках процессов создаются в силу различных причин, и потери ценности, представляющие собой по сути «потери качества» [1].

Здравый смысл подсказывает, что управлять нужно не там и тогда, где потери качества уже произошли, а ценность уменьшилась, а там и тогда, где эти потери качества совершаются, т.е. в

рамках процессов, составляющих бизнес-процессы организации. В связи с этим современный менеджмент качества пришел к пониманию, что управлять нужно не качеством продукции, а качеством исполнения процессов. Это ключевой момент, определяющий статус системы сбора и анализа данных о качестве и необходимость научно-методической проработки ее идеологии.

Причины появления потерь качества весьма разнообразны и имеют сложную структуру. Существенным является то обстоятельство, что все эти потери качества появляются при выполнении отдельных процессов и привносятся в производимые продукцию или услуги одновременно и параллельно с производством ценности. Специально потери качества не создаются!

Условно процесс производства продукции в соответствии с концепцией ИСО можно представить в виде следующей схемы (рис. 1). Обеспечение качества продукции в процессе производства может быть сведено к

обеспечению качества процессов, влияющих на качество выпускаемой продукции [2]. Ка-сети процессов как объект руководства, качество конечной продукции в виде заданных характеристик, объект с предписанными показателями «формируется» последовательно и проявляет качества, выраженными в виде диапазона на выходах каждого процесса на протяжении всего жизненного цикла. Поэтому обычно говорят, что руководить качеством – это определить средства и методы выявления качества выпускаемой продукции. А это означает, что с целью обеспечения эффективности нахождения числовых значений показателей качества процессов, их контроля, обобщения и анализа, руководству следует поставить задачу в управляемые условия.

Очевидно, что для этого необходимо решить задачи:

1. Четко выделить и структурировать основные процессы в организации, влияющие на качество.

2. Рассматривать каждый процесс в качестве конечной продукции в виде заданных характеристик, объект с предписанными показателями «формируется» последовательно и проявляет качества, выраженными в виде диапазона на выходах каждого процесса на протяжении всего жизненного цикла. Поэтому обычно говорят, что руководить качеством – это определить средства и методы выявления качества выпускаемой продукции. А это означает, что с целью обеспечения эффективности нахождения числовых значений показателей качества процессов, их контроля, обобщения и анализа, руководству следует поставить задачу в управляемые условия.

3. Определить средства и методы решения вопросов по обеспечению соответствия показателей качества продукции и процессов заданным нормативам.

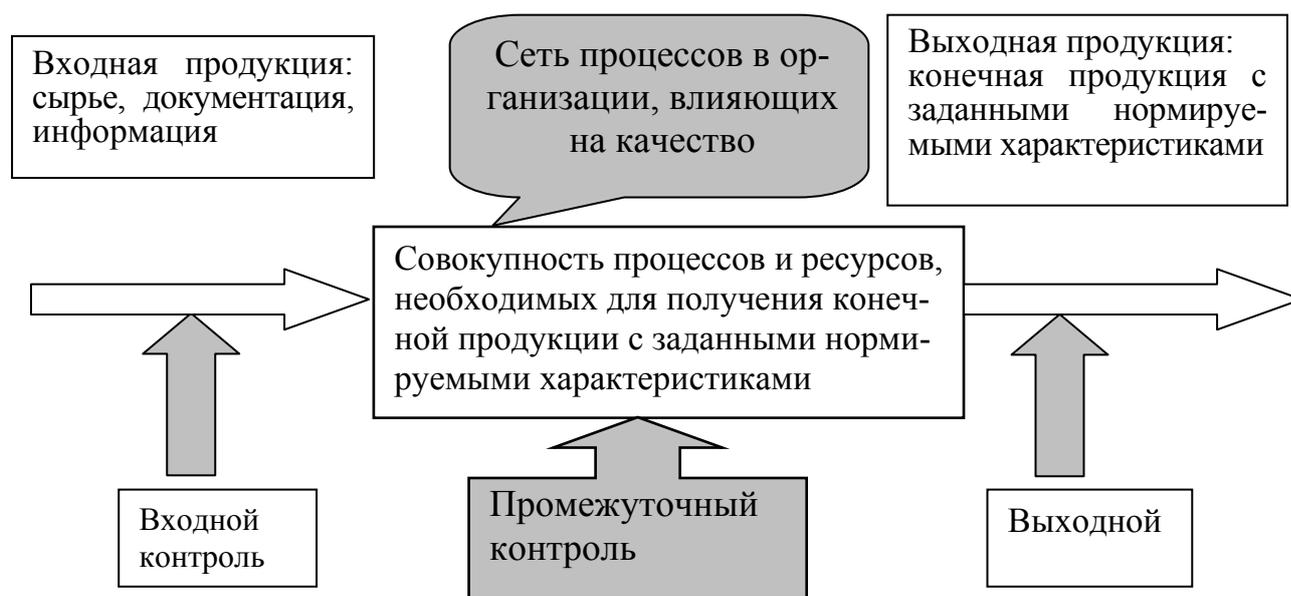


Рис. 1. Процесс производства продукции в соответствии с концепцией ИСО семейства 9000

**ПЕРВАЯ ЗАДАЧА** сводится к определению и описанию сети процессов организации и решается, например, с помощью информационных технологий функционального моделирования бизнес-процессов.

Целью построения функциональной модели процесса является необходимое и достаточное формализованное описание всех подпроцессов, из которых состоит моделируемый процесс, а также характера взаимосвязей между ними. Такая модель способна обеспе-

читать полное представление как о функционировании исследуемого процесса, так и обо всех имеющих в нем место потоках информации и материалов. Построение модели – необходимое условие построения системы сбора, анализа и обобщения данных о качестве.

Функциональная модель отражает функциональную структуру системы процессов, составляющих деятельность организации. Она используется для формализации знаний о структуре деятельности организации, анализа деятельности «как есть», выявления «узких мест» и проектирования функциональной структуры «как должно быть».

В различных источниках, трактующих процессный подход, предлагаются различные способы представления процессов (языки описания). Анализ более чем 20 различных языков описания процессов для различных целей [3] показал, что наиболее подходящей для целей менеджмента качества является методология структурного анализа и проектирования (Structural Analysis and Design Technique - SADT) [4]. Широкое распространение эта методология получила под другим названием: IDEF0 – методология функционального моделирования. Именно под этим названием она была принята в 1983 году в качестве федерального стандарта США, а в 2001 году – в качестве российского руководящего документа. Очевидно, что методологические подходы IDEF0 к формализованному представлению процесса являются в наибольшей степени адекватными по отношению к подходам менеджмента качества в соответствии с требованиями [2], что очень важно, в том числе для целей сертификации.

При нашем участии разработан нормативно-методический документ Госстандарта Республики Беларусь [5], содержащий методику описания (моделирования) процессов, включая их

определение, классификацию и идентификацию, а также документирование процессов в рамках системы менеджмента качества, соответствующей требованиям СТБ ИСО 9001-2001.

Методика в полной мере отвечает принципу реализации процессного подхода в рамках системы менеджмента качества, соответствующей требованиям СТБ ИСО 9001-2001. Цель методики – предоставить в распоряжение специалистов служб качества способ и средство описания процессов в организации для целей их эффективного планирования, обеспечения, управления и улучшения в соответствии с идеологией системы менеджмента качества, а также идентификации и документирования процессов.

Методика в документе разделена на две части. Первая часть представляет собой общую методику определения, классификации и идентификации процессов в рамках системы менеджмента качества. Вторая часть представляет собой один из возможных подходов к реализации общей методики на базе методологии функционального моделирования процессов IDEF0.

Методология IDEF0 уже сегодня успешно применяется в самых различных отраслях и зарекомендовала себя как эффективное средство формализованного описания, проектирования, анализа и улучшения деловых процессов сложных систем, к которым можно отнести систему менеджмента качества промышленного предприятия.

**ВТОРАЯ ЗАДАЧА** может быть сведена к развертыванию системы сбора, обобщения и анализа данных о качестве как «поставщике» информации для подзадач дальнейшего менеджмента качества, основанном на процессном системном подходе, и включает следующие элементы:

- оценки результативности и эффективности систем менеджмента качества;

- оценки качества конечной продукции (анализа и прогнозирования);
- оценки качества и улучшения качества процессов (групп процессов);
- оценки обратной связи – корректирующих и предупреждающих действий как в отношении системы в целом, так и отдельно взятых процессов.

**ИДЕОЛОГИЯ** «добротной» системы сбора и анализа данных о качестве, развернутой на основе функциональной модели всей сети процессов системы менеджмента качества, в первом приближении заключается в следующем.

На выходе любого процесса помимо самой продукции, полученной в результате выполнения заданной функции, посредством или испытаний также регистрируется информация (совокупность характеристик продукции и/или процесса), которая в документированном виде и представляет собой данные его качества. Данные о качестве процессов, адекватно их характеризующие, составляют информационную основу руководства качеством.

Первым и самым важным шагом на пути создания системы сбора, регистрации, анализа и обобщения данных о качестве является разработка методики определения номенклатуры показателей качества для каждого процесса, которые будут адекватно отражать состояние процесса. Номенклатура показателей качества процессов должна, во-первых, соответствовать нормативным документам, регламентам, требованиям контракта и т.п. Во-вторых, номенклатура показателей качества процессов должна быть необходимой и достаточной для последующего анализа и обобщения данных с целью принятия тактических и стратегических решений по корректированию, предупреждению, улучшению продукции и процессов. Это очень важный момент: на разумном сокращении контроля и испытаний параметров процессов можно значи-

тельно повысить эффективность работы организации.

Здесь следует иметь в виду, что при разработке стратегии сбора данных о качестве существенным фактором является статус контроля и контролируемого показателя.

Как видно из рис. 1, система сбора данных о качестве включает три вида контроля: входной; промежуточный; выходной.

При проведении выходного контроля параметры продукции уже известны (они заложены в требованиях к выпускаемой продукции). Контролировать следует все установленные требования к качеству продукции при выходном контроле и испытаниях, как правило, регламентированы. В соответствии с этим условием все предусмотренные виды контроля и испытаний, включая нормированные, при приемке продукции или в процессе производства должны быть выполнены, а результаты должны соответствовать всем установленным требованиям.

Параметры для входного контроля (закупаемые материалы, комплектующие, узлы и т. п.) также известны и оговорены в контрактах на поставку. В отличие от окончательного контроля и испытаний требования к процедурам входного контроля являются не такими жесткими и предписывают, что при определении объема и характера входного контроля следует учитывать меры по управлению качеством продукции и процессов субподрядчика и зарегистрированные доказательства обеспечения качества его поставок. Например, при работе с субподрядчиком, сертифицированным в системе QS 9000, которая жестко регламентирует процедуру выходного контроля у субподрядчика, может быть принято решение о применении облегченного плана контроля или

об упразднении регулярного входного контроля вообще.

Если для перечисленных видов контроля все процедуры в достаточной степени определены, то при организации системы сбора данных на уровне «промежуточных процессов» зачастую имеет место практически полная неопределенность. Не регламентировано, какие параметры надо контролировать, в каких пределах должно находиться числовое значение параметра, что делать с полученными данными, как их анализировать и какие выводы должны быть сделаны по результатам анализа. Ситуацию осложняет и тот факт, что в состав сети процессов системы менеджмента качества кроме привычных производственных процессов входят управленческие процессы, которые также подлежат контролю. Показатели качества такого рода процессов идентифицировать непросто в силу их «непривычности», необходимости использовать для их оценки различные шкалы, например ранговые, а также применять экспертные методы оценки.

Принципиальное различие указанных видов контроля заключается в том, что при входном и выходном контроле только оценивают качество продукции на соответствующих этапах жизненного цикла продукции, а данные промежуточного контроля в процессе произ-

водства дают возможность управлять качеством процессов и продукции. Подсистема «промежуточного контроля» и является основным объектом управления в рамках всей системы сбора и анализа данных о качестве.

Данные о качестве «снимаются» на выходе всех процессов функциональной модели. Наряду с данными о качестве продукции регистрируются также данные о качестве процесса. Параметры могут оцениваться как средствами измерения, так и экспертными методами.

На рис. 2 представлен общий алгоритм развертывания рациональной системы сбора и регистрации данных, которые адекватно отражают «состояние» качества процесса и удовлетворяют условиям необходимости и достаточности. Этот же алгоритм применим и для всей сети процессов для оценки результативности СМК. Эффективность предлагаемого алгоритма во многом определяется тем, какие методы, техники, приемы используются на каждом этапе. Нами проанализированы различные подходы к решению этих и подобных задач и разработан механизм подбора методов статистического моделирования различного уровня для этих процедур.

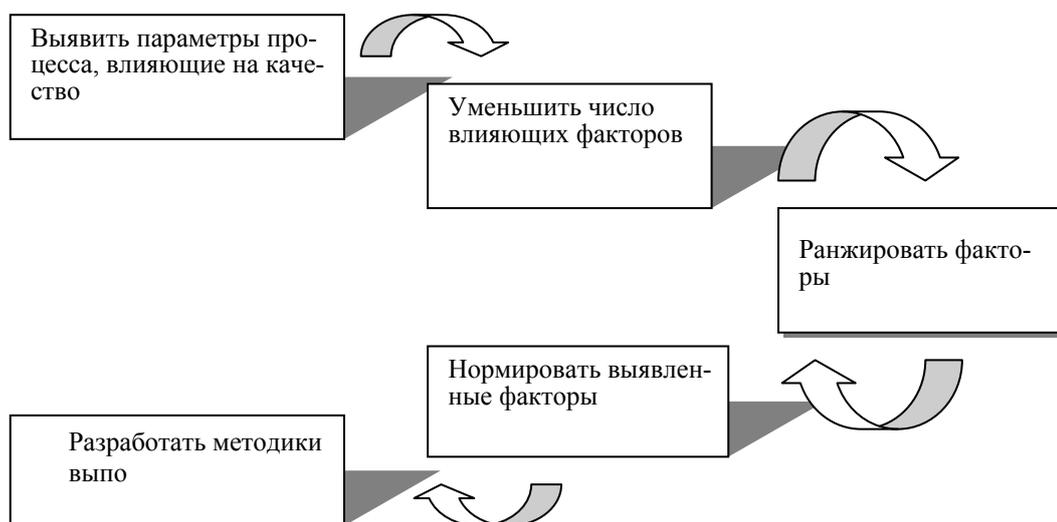


Рис. 2. Алгоритм подготовки сбора данных о качестве

Выявление факторов процесса происходит, как правило, экспертными методами на входах процесса (процессов), описанных функциональной моделью, – это ключевой момент. На этапе формирования системы сбора данных о качестве в поле зрения должны попасть все данные о выходах (продукции) каждого процесса, определенные еще на стадии проектирования и разработки, а также данные о самих процессах. Выявление факторов процесса происходит, как правило, экспертными методами оценки с использованием накопленного опыта и научных разработок. Большинство факторов определены уже на стадии разработки технологического процесса априори. Этого, кстати, требуют обязательные процедуры валидации и верификации процессов. Остальные факторы выявляются различными аналитическими методами «разведочного анализа», «добычи данных» (Data Mining) или экспертными методами (например, мозговой штурм) в процессе наблюдения и оценки параметров, в том числе рекомендуемыми документами ИСО.

На этом этапе должен работать принцип «любая информация не лишняя». Действительно, для первого ознакомительного анализа и атте-

станции процессов может пригодиться любая информация. Рекомендуется при этом использовать:

- априорную информацию о процессе, позволяющую выделить характерные при реализации этого процесса возмущающие факторы;
- информацию о состоянии ресурсов процесса;
- информацию о результативности выполнения аналогичных процессов;
- информацию о контролируемых параметрах из нормативной документации, контракта, технического задания и т. д.

В дальнейшем, после накопления данных о качестве каждого процесса и продукции на выходе, необходимость в столь подробном массиве информации отпадает. Здесь начинает срабатывать такой фактор, как экономическая целесообразность. Это означает, что система сбора данных о качестве не является в рамках предприятия жесткой по отношению к оцениваемым параметрам, объемам выборок, методам контроля, испытаний и оценивания.

Остальные процедуры приведенного на рис. 2 алгоритма являются объектами «статистического мо-

делирования процессов» – концепции применения статистических методов (простых и высокого уровня), называемой Quality Engineering.

Например, процедура алгоритма – уменьшение числа параметров контроля – может проводиться такими статистическими методами, как корреляционный анализ, построение и анализ функции желательности, что позволяет учесть степень влияния откликов, специальные техники планирования эксперимента и др.

Для ранжирования выявленных факторов следует использовать различные статистические методы высокого уровня: дисперсионный анализ, дискриминантный анализ, кластерный анализ и др.

Для нормирования выявленных факторов могут быть использованы структурирование функции качества (QFD), методы многопараметрической оптимизации, проектирование норм точности параметрических цепей и т. д.

И только затем для контроля определенного круга параметров с нормированными полями допусков следует разрабатывать конкретные методики выполнения измерений.

**ТРЕТЬЯ ЗАДАЧА** заключается в разработке механизма корректирующих и предупреждающих действий, которые в соответствии с седьмым принципом менеджмента качества должны базироваться на «фактических данных», а не на предположениях. Поэтому практичный механизм принятия управленческих решений в области качества – самостоятельный объект научного исследования (здесь не рассматривается).

## Литература

1. Курьян А.Г., Серенков П.С., Реуц Н.А. Потери качества и результативность менеджмента // Методы менеджмента качества. – 2004. – № 3.
2. МС ИСО 9000:2000. Пер. с англ. – Мн.: Госстандарт Республики Беларусь, 2000.
3. Process Specification Language: An Analysis of Existing Representations. NIST Process Specification Language (PSL) project (NIST's Systems Integration for Manufacturing Applications (SIMA) Program) / Amy Knutilla, Craig Schlenoff, Steven Ray, etc. – 1997. – 123 с.
4. Давид Марка, Клемент МакГоуэн. Методология структурного анализа и проектирования. Пер. с англ. – М., 1993. – 240 с.
5. ТК РБ 4.2-Р-05-2001. Методика и порядок работ по определению, классификации и идентификации процессов и построению карт процессов: Методические рекомендации // Управление качеством: НТК по стандартизации / Госстандарт Республики Беларусь. – Мн., 2001.

## СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА

**Л.В.Купреева**, преподаватель кафедры СМИС

В условиях рынка любая компания ориентируется на качество продукции, отношения, складывающиеся на рынке, и экономическую эффективность про-

изводства, а также на меняющиеся тенденции в обществе. Успех той или иной компании зависит от ее способности адаптироваться к изменениям в рыноч-

ных отношениях и требованиям потребителя. Одним из таких новых требований, которое приобретает все большее значение, является требование соответствия продукции определенным экологическим стандартам.

Возникла необходимость поиска новых путей и подходов к реализации вопросов влияния экологических аспектов на качество продукции. Появившиеся в 1996 г. международные стандарты ИСО серии 14000 стали первым этапом в решении накопившихся экологических проблем.

Экологические стандарты вызвали большой интерес в мире, т.к. предоставили компаниям возможность сертификации продукции и систем экологического менеджмента на соответствие требованиям данных стандартов. В настоящее время процесс создания, внедрения и функционирования систем экологического менеджмента в странах мирового сообщества идет довольно успешно. По состоянию на 2003 г. в 118 странах мира получено уже 49 462 экологических сертификата.

С учетом сложившейся экологической обстановки в Республике Беларусь, для многих предприятий наличие экологического сертификата – это преимущество при заключении контракта. Но именно в этом и заключается опасность ситуации. Целью компании становится получение экологического сертификата любым способом. Такой подход аналогичен подходу, которого придерживается большинство отечественных предприятий на протяжении последних лет по развертыванию систем менеджмента качества в соответствии с МС ИСО семейства 9000. Таким образом, в республике наметилась следующая тенденция: создание системы сводится к формализованному набору соответствующих документов и процедур.

Реализация только этого подхода в отрыве от концепции классической теории менеджмента ведет к серьезным экономическим и социальным потерям.

Поэтому предметом дальнейшего обсуждения является вопрос о *применимости процессного подхода к системам экологического менеджмента*.

«Процессный подход» как принцип известен уже давно как в методологии классического менеджмента, так и в различных его техниках (ответвлениях), таких, например, как реинжиниринг деловых процессов.

Менеджмент – это скоординированная деятельность по руководству и управлению организацией [1].

Общепризнанно, что ключевым для целей общего руководства является представление объекта в виде сети процессов [1 – 4]. Действительно, каждая организация или система создаются для того, чтобы что-то делать (создавать добавленную стоимость). Прежде всего «...организации должны определить свои системы и входящие в них процессы для того, чтобы можно было четко понимать, управлять и улучшать эти системы и процессы. Руководство должно обеспечить эффективную работу и управление процессами, измерениями и данными, используемыми для установления удовлетворенности деятельностью» [3].

Применение в организации системы процессов, наряду с их идентификацией и взаимодействием, а также менеджмент процессов могут считаться «процессным подходом» [1, 2, 3].

Эффективный менеджмент через призму процессного подхода можно представить условно как совокупность двух элементов:

- описание сети процессов, включающее:
  - определение процессов, влияющих на конечный результат;
  - идентификация процессов;

- взаимодействие между процессами сети;

- постоянно реализуемые процедуры планирования, обеспечения, управления, улучшения качества в рамках каждого процесса сети процессов организации.

Очевидно, что эффективность менеджмента качества однозначно определяется качеством описания сети процессов. В статье затрагивается только первая часть реализации процессного подхода, касающаяся «применения системы процессов», т.е. описания процессов, которое включает определение, классификацию и идентификацию процессов, определяющих качество конечного продукта. Менеджмент процессов (планирование, обеспечение, управление и улучшение) здесь не рассматривается.

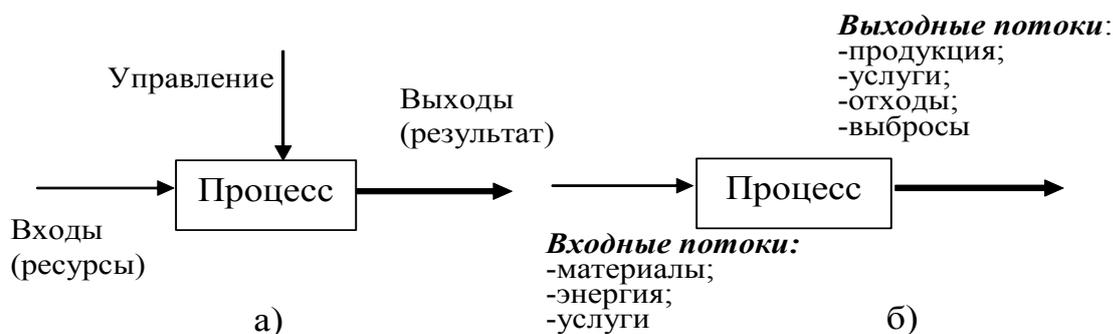
Системы экологического менеджмента и менеджмента качества рассматриваются как часть общей системы руководства организацией, конечной целью которой является результативность и эффективность работы компании. Последние, в свою очередь, определяются результативностью и эффективностью деловых процессов организации. В результате общее руководство организацией сводится к руководству сетью процессов организации, которые «формируют» качество конечной продукции. В этом и заключается **основа системного подхода к общему руководству.**

Отправным моментом при изучении проблемы применения процессного подхода к развертыванию систем экологического менеджмента является понятие «продукция» (определение термина приведено в МС ИСО 8402). В соответствии со стандартом продукция может быть как «намеренной», так и «ненамеренной». Причем к «ненамеренной» продукции относятся загрязняющие

вещества или нежелательные последствия, т.е. выбросы в атмосферу, сбросы в сточные воды, твердые отходы, шум, вибрации, излучения и пр. Так как любая продукция является результатом процессов, то именно процесс является «поставщиком ненамеренной продукции», параметры которой регламентируются различными нормами. Следовательно, экологический менеджмент сводится к управлению нормированными параметрами через параметры процессов на всех стадиях жизненного цикла продукции.

С этой точки зрения экологический менеджмент как управление параметрами «ненамеренной» продукции органично вписывается в концепцию процессного подхода аналогично менеджменту качества. Точно так же к нему могут быть применены современные подходы и информационные технологии моделирования процессов (описания и последующего планирования, обеспечения, управления и улучшения).

Описание сети процессов, составляющих деятельность организации – это сложная организационно-техническая задача, для решения которой требуются специальные средства описания и анализа. Большинство экспертов сходится на том, что наиболее приемлемым способом описания процессов является их графическое представление. В различных документах [4], посвященных толкованию процессного подхода, предлагаются различные варианты для графического представления процессов (рис. 1).



**Рис. 1. Варианты графического представления процессов:**

а) – в соответствии с [4]; б) – в соответствии с [5]

Для целей реализации процессного подхода в части описания процессов (определения, классификации, идентификации) была разработана методология функционального моделирования IDEF0, которая в 1993 году была принята в качестве федерального стандарта в США, а в 2000 году – в качестве руководящего документа Российской Федерации.

В методологии функционального моделирования IDEF0 для графического представления процесса используется следующая нотация (рис. 2). Процесс представляется в виде функционального блока, который преобразует входы в выходы при наличии необходимых ресурсов (механизмов) в управляемых условиях. Взаимосвязи и взаимодействия процессов в IDEF0 представляются дугами, соединяющими выходы одних функциональных блоков с входами других.

Очевидно, что методологические подходы IDEF0 (рис. 2, 3), менеджмента качества, менеджмента окружающей среды (см. рис. 1) как руководства сетью процессов в организации идентичны, очень важны и привлекательны, например, для целей сертификации.

На базе IDEF0 компанией «Ориентсофт» (Республика Беларусь) разработано мощное по возможностям и простое в пользовании CASE-средство IDEF0/EMTool (графическая СУБД на русском языке под Windows). Привлекательность этого инструмента для служб качества, экологических служб предприятий, как, впрочем, и любых других структур организации независимо от профиля деятельности, заключается в том, что он рассчитан на пользователя, умеющего работать в среде Windows, но не имеющего навыков программирования. IDEF0/EMTool – это мощная по возможностям информационная система, позволяющая сделать проект любой системы (будь то система менеджмента качества или система экологического менеджмента) как системы руководства сетью процессов наглядным (прозрачным), увязанным, «готовым» к регулярному анализу, дальнейшему улучшению.

На кафедре СМИС БНТУ совместно с разработчиками IDEF0/EMTool разрабатывается методология моделирования, описания, анализа и совершенствования процессов в рамках системы экологического менеджмента, соответствующей МС ИСО серии 14000.

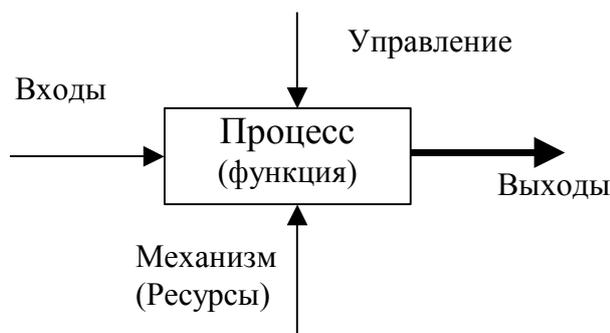


Рис. 2. Графическое представление процесса в IDEF0



Рис. 3. Типовые элементы процесса, описываемого по правилам методологии IDEF0

## Литература

1. 2000-12-15. ISO – 2000. Международный стандарт ИСО 9000. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – 2-е изд.
2. 2000-12-15. ISO – 2000. Международный стандарт ИСО 9001. Системы менеджмента качества. Требования. – 3-е изд.
3. ISO – 2000. Международный стандарт ИСО 9004. Системы менеджмента качества. Руководство по улучшению деятельности. – 2-е изд.
4. ISO/TC 176/SC 2/N 544R. ISO 9000 Introduction and Support Package: Guidelines on the Process Approach to quality management systems. 17 May, 2001.
5. СТБ ИСО 14031-2003. Управление окружающей средой. Оценка экологической эффективности. Общие требования.

## ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

**М.В.Сенюта**, студентка группы 113529 кафедры СМИС;

**Ю.Ф.Ляшук**, доктор технических наук, зам. генерального директора ОАО «Горизонт»

Анализ результатов деятельности многих предприятий, организаций и накопленного опыта их работы с кадрами показывает, что формирование производственных коллективов, обеспечение высокого потенциала персонала являются решающими факторами эффективности производства и конкурентоспособности продукции. На основании этого можно утверждать, что проблемы в области управления персоналом и повседневная работа в области социального менеджмента в ближайшей перспективе будут постоянно находиться в центре внимания [1].

Принимая во внимание невозможность повышения уровня современного производства за счет вложения больших материальных и финансовых ресурсов, еще в советские времена руководство различных компаний пришло к мнению, что самым доступным и приносящим нужные плоды способом обеспечения и улучшения конкурентоспособности компании является использование человеческих ресурсов, которые всегда были в наличии в необходимом количестве.

Значительное внимание этому вопросу и достойная попытка его систематизации присутствует в стандартах ИСО серии 9000. Развертывание на промышленных предприятиях систем менеджмента качества в соответствии с требованиями СТБ ИСО 9001 и их успешное применение сегодня невозможно без активного привлечения человеческого фактора, без такого элемента политики, как «управление персоналом». Естественно, что в последние годы предприятия начали уделять проблемам управления персоналом всё

большее внимание. Причин этому несколько:

- исчерпали себя старые формы управления персоналом, что заставило искать новые методы работы с людьми;
- меняющиеся рыночные условия заставили искать новые резервы;
- в стране формируется рынок труда, появились возможности отбора кадров;
- возникла необходимость в поиске квалифицированных кадров, их оценке;
- многие предприятия и фирмы накопили положительный опыт работы с персоналом.

Проявляются и другие элементы рыночного подхода к управлению персоналом, например, существенно улучшились научная и методическая базы работы с персоналом, опубликовано много научных работ, которые позволили поднять эффективность работы с персоналом на новый уровень. В результате среди менеджеров появились грамотные специалисты по работе с персоналом [2].

Ключевой частью деятельности по управлению персоналом является мотивация. Мотивация – это комплексный подход к управлению персоналом, направленный на создание побудительных мотивов, цель которых – продуктивное выполнение сотрудником своих обязанностей. Проще говоря, мотивация – процесс, ведущий к сокращению разницы между количеством оплаченных часов и количеством продуктивно отработанных часов, направленный на сокращение издержек компании.

Управление персоналом признается одной из наиболее важных сфер жизни предприятия, которая способна многократно повысить его эффективность, а само понятие «управление персоналом» рассматривается в широком диапазоне: от экономико-статистического до философско-психологического. Сущность управления персоналом, включая наемных работников, работодателей и других владельцев предприятия заключается в установлении организационно-экономических, социально-психологических и правовых отношений субъекта и объекта управления. Методологически эта сфера управления обладает специфическим понятийным аппаратом, имеет отличительные характеристики деятельности, специальные процедуры и методы – аттестация, эксперимент и другие методы изучения и анализа содержания труда различных категорий персонала [3].

Начало исследованиям в области теории мотивации было положено американским социологом Элтоном Мэйо в 20-х годах 20-го века, а первыми практическими исследованиями мотивации работников стали знаменитые Ховторнские исследования в «Western Electric Company» (1927–1932). В дальнейшем практически все видные теоретики и практики менеджмента уделяли внимание развитию теории мотивации, периодически появлялись и, как правило, опровергались жизнью всевозможные модели мотивации.

Во многих странах Европы и США в наиболее наукоемких отраслях промышленности (автомобилестроения, авиастроения и др.) в целях повышения продуктивности труда пытаются изменить традиционные стратегии управления персоналом. Форсируется ведение на производстве работы в группах качества, создаются более «плоские» управленческие иерархии за счет сокращения уровней управления; функ-

ции координации в основном передаются тем же группам.

В условиях рыночной экономики на смену административным методам управления персоналом приходят формы работы с кадрами, основанные на заинтересованности в качестве труда, росте квалификации, конечных результатах работы. Усиливается роль потребностей, интересов, мотивов и стимулов.

Исследование проблемы мотивационного механизма и роли зарплаты в условиях рыночных отношений отражено в ряде работ. Отмечено, что традиционная система оплаты труда, основанная на гарантированных тарифных ставках и должностных окладах, не заинтересовывает работника трудиться более качественно и реализовывать свой физический и интеллектуальный потенциал. Поэтому одной из главных задач в управлении персоналом становится возрождение экономической функции заработной платы.

В современной производственной практике можно наблюдать основные черты тейлоровской стратегии управления на производствах с технологически расчлененными, мало меняющимися работами (сборочные работы на конвейере, обслуживание прессов, ввод данных в компьютеры и т.д.). Предпочтение в этих случаях отдается работоспособным, исполнительным работникам с невысокой квалификацией, которые при соответствующем инструктаже в короткий срок надежно осваивают свои обязанности. За надлежащим выполнением задания следит мастер. Главным инструментом мотивации является вознаграждение в зависимости от объема выполняемой работы в сочетании с заданной нормой производительности. Но в условиях все более и более усложняющихся производственных и экономических отношений такой

подход часто не обеспечивает достижения поставленных целей.

В настоящее время, особенно за рубежом, находит все более широкое применение интегрированная стратегия управления персоналом. Концепция этой стратегии предполагает, что работающий человек мыслит самостоятельно и заинтересованно относится к труду. Поэтому человека на производстве воспринимают как главный ресурс, стимулируют его развитие и используют в соответствии с его конкретными возможностями. Высококвалифицированным сотрудникам назначают задания, которые позволили бы полностью реализовать и повысить имеющуюся у них квалификацию [4]. Оплата труда становится не столько инструментом достижения наибольшей производительности, сколько эквивалентом производительности, достигаемой на основе высокой квалификации, сознательного отношения к труду.

Характерной особенностью управления персоналом в современных рыночных условиях является сокращение персонала, вызванное продолжающимся сокращением объема промышленного производства в основных отраслях народного хозяйства. С экономической точки зрения высвобождение персонала означает устранение излишней его численности с целью воссоздания нарушившегося равновесия между количественными и качественными характеристиками рабочих мест и количественными и качественными характеристиками персонала (преодоление ситуации, при которой расходы на соответствующих работников непропорциональны их трудовому вкладу). Поэтому сокращение персонала и изменение его качественного состава является экономической необходимостью [5]. Наглядным примером может служить «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез».

«ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез» признан Международной Ассоциацией нефтепереработки лидером в области экономической деятельности, инвестиционной политики и качества менеджмента среди предприятий стран СНГ. Подтверждение тому – сертификация системы менеджмента качества по ISO 9001 версии 2000 г. Приняв Социальный кодекс, "ЛУКОЙЛ" подошел к тому, чтобы стать первой в России компанией, сертифицированной по SA 8000 "Социальная ответственность". Социальные проекты "ЛУКОЙЛа" – свидетельство заботы о людях: негосударственное пенсионное обеспечение, медицинское страхование, современно оснащенные кабинеты медико-санитарной части, столовая-кафе "ЛУКовка" и др. Чтобы бизнес сделать прозрачным и менее затратным, на предприятии проводится работа по выводу непрофильных подразделений в самостоятельные сервисные структуры. Так, если фактическая численность персонала на 1 января 2002 г. составляла 5665 человек, то уже на 1 июля 2003 г. – 3200 человек, а экономия фонда заработной платы – 45%. До конца нынешнего года численность работников предприятия должна снизиться практически до 2000 человек.

Анализ литературных источников дает возможность определить основные направления и методы мотивации персонала, сравнить теории доказавших свои профессионализм и компетентность специалистов в области социального менеджмента (например, таких, как А.Маслоу, Ф. Герцберг, В.Врум) и сравнительно недавно появившиеся, но уже доказавшие свое право на существование теории, рассмотреть методы управления человеческими ресурсами в разрезе национальных различий, что дает возможность оценить динамику их развития, познакомиться с их классификацией. Результаты имевших место

ранее исследований позволяют проследить направления разработок классификации видов мотивации, определить взаимосвязи между методами мотивации и результатами деятельности коллективов организации.

И все же можно говорить лишь о нескольких более или менее удачных результатах исследований в этой области. А в общем следует с огорчением констатировать несостоятельность по-

пыток систематизировать полученные результаты и привести их к виду, дающему возможность применять эти теории, на практике, не прибегая к индивидуальному подходу, не возможному в условиях больших предприятий и организаций. Считаю, что это один из важнейших вопросов, который нуждается в действительно хорошей проработке, а в данное время он все еще остается открытым.

## Литература

1. Травин В.В., Дятлов В.А. Основы кадрового менеджмента. – М., 1997.
2. Бляхман Л. С. Качество работы: роль человеческого фактора. – М., 1990.
3. Гришин А.Г. Мотивационный аспект управления персоналом. – 2000.
4. Мескон М.Х., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента. – 1999.
5. Синев Р.С. Формирование концепции соучастного менеджмента в управлении персоналом. – 2000.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ ПРОЦЕССА ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

**В.Г.Лысенко**, кандидат технических наук, доцент кафедры СМИС;  
**К.Циммерманн**, доктор технических наук, Технический университет, г.Ильменау

Современные компьютерные системы поддержки процесса проектирования с каждым годом все лучше и полнее обеспечивают различные его этапы, за исключением одного, пожалуй, самого важного – поиска новых принципов действия и генерирования новых идей. В промышленности передовых стран до 70 % качества изделий закладывается на ранних стадиях их проектирования [1]. Применение САД, САМ и других систем поддержки процесса проектирования не решает задач принципиального повышения уровня качества изделий, так как одними из важнейших составляющих процесса создания изделий, в значительной степени определяющих каче-

ство конечного продукта, являются процедуры принятия решений именно на начальных стадиях проектирования [2].

В БНТУ на кафедре СМИС совместно с Техническим университетом г. Ильменау проводятся научные исследования в направлении создания специализированных методик принятия решений на начальных стадиях проектирования, построенных на базе использования специально разрабатываемых способов преобразования изображения одной технической или биологической системы в другую. В основу создания и применения этих методик положено графическое моделирование и преобразование технических систем в

виде компьютерной анимации. Целью работы является создание новых принципов проектирования технических систем за счет их графического моделирования и преобразования.

В качестве инструмента для переноса свойств и кинематики одной тех-

нической системы на другую и их комплексирования используется компьютерная анимация бесступенчатого преобразования изображений – морфинг (morphing). Структурная схема процесса морфирования показана на рис. 1.

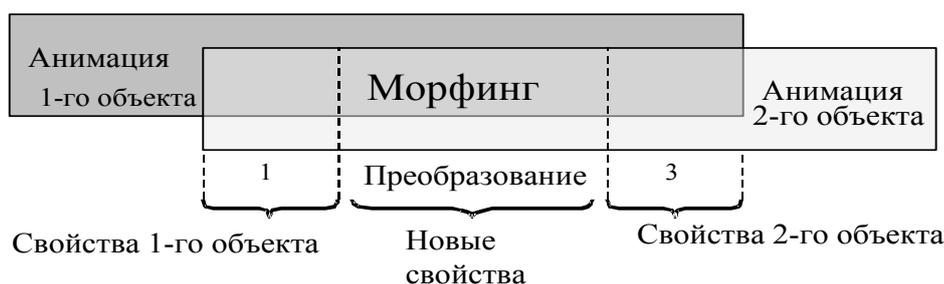


Рис. 1. Фазы изменения свойств двух объектов

В качестве методической основы для создания новых принципов нами выбран метод «объединения альтернативных систем» [3], что в сочетании с морфингом позволяет не только совершенствовать технические системы уже существующие, но и создавать новые технические системы с особыми характеристиками [4, 5].

В процессе морфинга гибридный объект имеет необычный характер функционирования, являющийся сложной комбинацией нескольких движений и деформаций, что можно наблюдать на экране дисплея. Наблюдаемые образы позволяют инженеру сформировать новые **протоидеи**, связанные с решением задачи. Протоидея – расплывчатый, нечеткий образ технического решения, не поддающийся непосредственной трансляции. В процессе логического анализа протоидеи инже-

нер преобразует ее в решение технической задачи. Таким образом, инженер может использовать промежуточные результаты морфинга для получения новых технических идей. Это позволяет создавать новые технические системы с особыми характеристиками. Схема процесса решения инженерных задач в ходе проектирования новых технических систем с использованием графического преобразования объектов (морфинга) представлена на рис. 2.

Процесс морфирования можно многократно повторять для исходной технической системы, изменяя или прототип, или способ преобразования объектов. Можно использовать промежуточные результаты в качестве нового прототипа или в качестве новой исходной технической системы для после-

дующего морфинга. Использование в качестве прототипов биологических объектов определяется тем, что в результате миллионов лет эволюции они приобрели принципы и способы движения, характеризующиеся минимальными потерями энергии [5]. Возможны различные принципы выбора прототипов. Наиболее перспективным мы считаем принцип выбора прототипа по одинаковой главной полезной функции с проектируемой системой.

Можно выбирать прототип по одинаковому принципу действия, одинако-

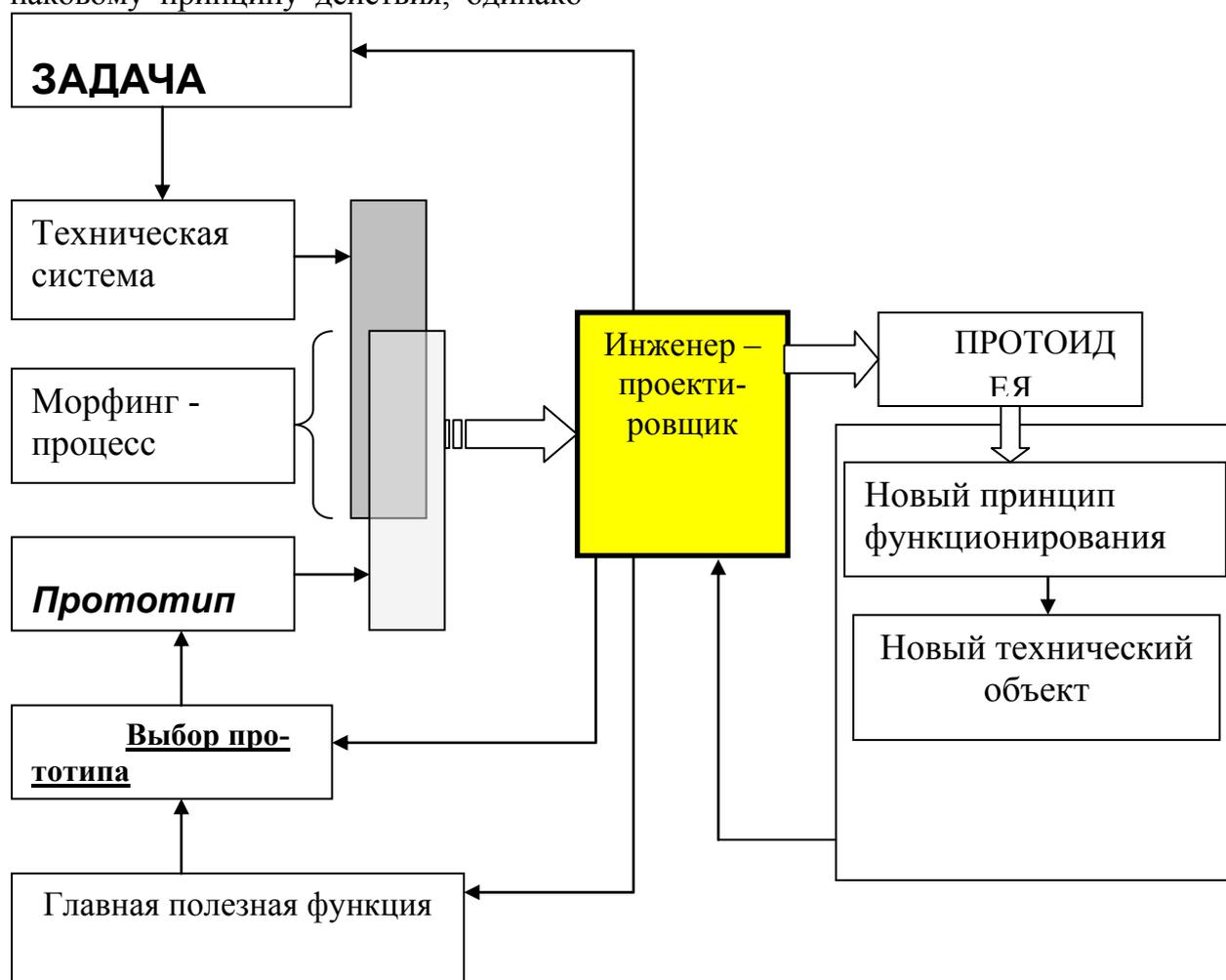


Рис. 2. Схема создания новых технических систем с использованием процесса графического преобразования анимации (морфинг)

В ходе исследований решаются задачи выбора или создания специальных процессов морфирования и методик поддержки принятия решений на начальных стадиях проектирования.

вой структуре и т.д. Банк прототипов должен содержать несколько вариантов системы с одинаковыми признаками, по которым осуществляется подбор.

Основным вкладом предлагаемой работы в научные исследования по разработке принципиально новых процедур проектирования технических систем является разработка нового способа использования графических возможностей компьютера для совершенствования технических систем.

В процессе работы удалось не только принципиально модернизировать, на уровне изобретений, некоторые технические системы, но и создать новые, ранее не существовавшие.

## Литература

1. 40 Years of Innovations, NASA Tech Briefs. 1998. – April.
2. Джонс Дж. К. Методы проектирования. – М.:Мир, 1986.
3. Герасимов В.М., Литвин С.С. Зачем технике плюрализм (развитие альтернативных технических систем) // Теория решения изобретательских задач. Т. 1. – 1990.
4. Lysenko V., Zimmermann K. Methode für Schaffen der Erfindungen und neuen Funktionierungsprinzipien von technischen Systemen während Vorentwurfsforschungen 44. Internationalen Wissenschaftlichen Kolloquium. – Ilmenau: TU, 1999.
5. Lysenko V. Methoden zur Verbesserung von Antriebssystemen auf der Basis der Modellierung der Bewegungen des Regenwurms // Biona-report. – 1997. – N 13.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

**В.К.Терешко, зам. директора по менеджменту НПО «Фенокс»;**  
**П.С.Серенков**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой СМИС;  
**В.М.Романчак**, кандидат физико-математических наук,  
Белорусский национальный технический университет

Вопросы эффективности метрологического обеспечения испытаний становятся все более актуальными. Этому способствовал ряд причин, появившихся относительно недавно. Во-первых, – стратегическая концепция международных метрологических организаций, фактически направленная на повышение эффективности испытаний за счет взаимного признания результатов и сокращения процедур испытаний. Во-вторых, темпы технического перевооружения в ряде областей промышленности начинают значительно опережать действующие стандартизованные методики испытаний, оперативное изменение которых затруднено в силу объективных причин. Поэтому все чаще приходится сталкиваться с ситуацией, когда метрологические службы промышленных предприятий вынуждены на основании предписанных процедур проводить ресурсоемкие, малоэффективные испытания продукции исключительно в силу «законопослушности»

исполнителя. Такие испытания обычно сужают до минимума, необходимого для выполнения нормированных процедур. Тем самым ограничивается информативность испытаний, их ценность как источника данных о качестве испытуемых объектов.

Разработка методик испытаний продукции и процессов, альтернативных стандартизованным, предполагает предоставление объективных доказательств их адекватности и воспроизводимости результатов второй (потребителю) или третьей (уполномоченному органу) стороне.

Решение этой проблемы, удовлетворяющее все заинтересованные стороны, должно основываться, прежде всего, на принципах системности и комплексности. Необходимо реализовать эти принципы в полной мере, так как испытания – это деятельность, сложно структурированная по функциям и ресурсам. Очевидно, что начинать следует с по-

строения функциональной модели испытаний. Мы предлагаем на этом этапе реализовать «процессный подход» к испытаниям по аналогии с подходом к менеджменту качества сложного объекта (4-й принцип менеджмента качества, СТБ ИСО 9001-2001). В соответствии со второй аксиомой менеджмента качества Э. Деминга «любой процесс контроля (испытаний) и управления надо рассматривать как обычный технологический процесс, который подлежит системному планированию, обеспечению, управлению и улучшению» [1]. Это означает, что при разработке процесса испытаний для достижения поставленных целей (достоверности результатов, эффективности и т.п.) следует руководствоваться принципами, подходами, информационными технологиями, используемыми в менеджменте качества [2].

Функциональная модель процесса испытаний используется как инструмент, позволяющий в необходимой и достаточной мере прояснить структуру

всего комплекса операций, необходимых для достижения требуемой результативности и эффективности. Функциональная модель испытаний обладает рядом свойств, из которых можно выделить важнейшие. Во-первых, в ней устанавливаются отношения между различными по своей природе элементами (материалами, данными, оборудованием, персоналом, управленческими решениями и документами и т.п.), составляющими деятельность, во-вторых, она позволяет абстрагироваться от природы этих элементов и представить деятельность в виде наборов взаимосвязанных между собой функций [3, 4].

Функциональная модель делает процедуру испытаний «прозрачной» в отношении задействованных в ней элементов (управляемых и неуправляемых входных параметров, операций, ресурсов и самого объекта). Она позволяет понять сущность процесса, включая структуру, взаимосвязи элементов модели между собой и их влияние на результаты испытаний и показатели эффективности (рис. 1).

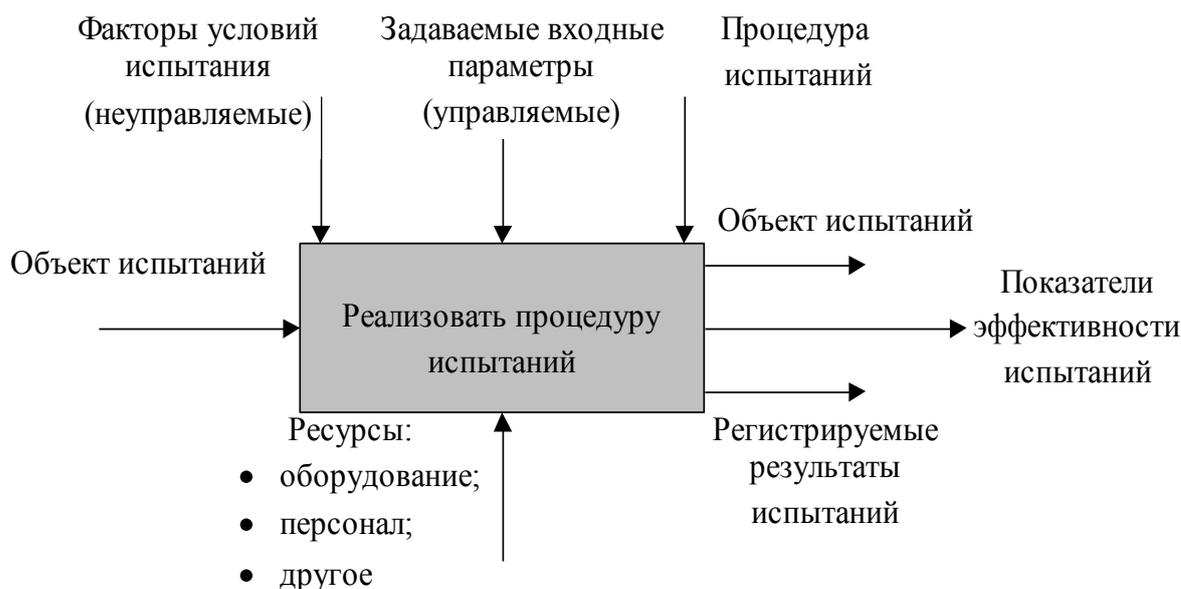


Рис. 1. Функциональная модель испытаний (контекстная диаграмма верхнего уровня)

Предлагаемый подход был впервые применен в рамках научно-технического сотрудничества между научно-производственным объединением «Фенокс» (НПО «Фенокс») и Белорусским национальным техническим университетом (БНТУ).

Характер деятельности НПО «Фенокс» – производство элементов для отечественных и зарубежных автотранспортных средств (узлы тормозных систем, системы сцепления и т.п.). Деятельность включает проектирование, изготовление комплектующих и сборку изделий. Предприятие сертифицировало свою систему менеджмента качества в соответствии с требованиями QS 9000.

Производимые НПО элементы автотранспортных средств соответствуют требованиям стандартов разных категорий:

- межгосударственных (ГОСТ 22895; ГОСТ 23181, ГОСТ 29015, ГОСТ 30731-2001);
- отраслевых (ОСТ 3805208; РД 37.01.603);
- международных (правила ЕЭК ООН №13; ISO 6118 и др.).

НПО «Фенокс» имеет испытательный центр «КАЧЕСТВО», аккредитованный Госстандартом Беларуси на право проведения сертификационных испытаний элементов тормозных систем и систем сцепления транспортных средств.

Значимость цилиндров гидропривода тормозов с точки зрения обеспечения безопасности дорожного движения заставляет разработчиков и производителей изделий подтверждать, что выпускаемые изделия обеспечивают требуемый уровень всех критических (влияющих на безопасность) свойств. Приемочными испытаниям по критическим свойствам должно подвергаться каждое изделие. Действующая мето-

дика испытаний цилиндров гидропривода тормозов предполагает моделирование реальных условий эксплуатации – проведение гидравлических испытаний с использованием тормозной жидкости давлением  $P = 20$  МПа в течение 2 мин. Критериями годности при гидравлических испытаниях являются отсутствие утечек и падение давления в процессе испытаний не более чем на 1 МПа.

Такие испытания с непосредственным моделированием реальных условий эксплуатации достаточно длительные, дорогостоящие. После процедуры испытаний с использованием тормозной жидкости теряются потребительские свойства продукции по внешнему виду, срокам хранения и т.п. Для их восстановления требуется дополнительная предпродажная подготовка, а значит, дополнительные ресурсы. Поэтому перед предприятием остро встала задача разработки эквивалентного метода испытаний, позволяющего быстро, с минимальными затратами, без потери потребительских свойств изделия подтвердить соответствие параметров, определяющих безопасность. При этом вероятность того, что эквивалентный метод не выявит наличия имеющегося дефекта, должна быть сведена к минимуму.

Из практики испытаний подобного рода изделий известно, что наиболее приемлемой заменой гидравлических испытаний являются пневматические испытания, то есть гидроцилиндры испытываются не с помощью тормозной жидкости под давлением, а с помощью сжатого воздуха, по степени утечки которого можно судить об их герметичности.

Предложенная нами новая формулировка задачи следующая:

«Разработать альтернативную методику пневматических испытаний, эквивалентных аттестованной методике гидравлических испытаний гидроци-

линдров. Риск потребителя должен составить не более  $\beta = 0,00005$ ».

Очевидно, что основная сложность данной задачи определяется жестким уровнем риска потребителя  $\beta=0.00005$ , который был задан заказчиком.

Различия свойств рабочего тела, не предназначенность цилиндров к работе в пневмосистеме приводят к тому, что традиционный подход, когда объект испытаний рассматривается как «черный ящик», на вход которого подаются предписанные значения входных параметров, а на выходе регистрируются значения результирующих параметров, неприемлем. Задачу надо рассматривать шире в отношении количества и качества влияющих факторов, определяющих методику оценки параметров герметичности гидроцилиндров.

Для решения поставленной задачи с помощью методологии IDEF0 [3] была составлена функциональная модель испытаний гидроцилиндров на герметичность пневматическим методом. Рис. 1 можно считать контекстной диаграммой функциональной модели. Была разработана функциональная модель испытаний с декомпозицией подпроцессов до четвертого уровня иерархии. Полная модель, которая в данной статье не приводится, слишком громоздка и имеет частный характер, интересный только узкому кругу специалистов.

Анализ модели позволил четко определить всю «систему испытаний», включающую операции, ресурсы, управляющие факторы (условия испытаний), а также их взаимосвязи и взаимозависимости. Реализация процессного подхода на начальном этапе позволила исследовать сущность испытаний, что соответствует принципам робастного проектирования параметров процессов Г. Тагучи [5]. Анализ модели проводился методами экспертной оценки.

Системный подход к решению данной задачи дал возможность с га-

рантией определить и зарегистрировать весь комплекс влияющих факторов. Было установлено, что наиболее влияющими на результаты испытаний герметичности пневматическим методом являются следующие факторы: давление воздуха ( $P$ ), время выдержки под давлением ( $T$ ), падение давления воздуха за время выдержки ( $\Delta P$ ). Остальные факторы (свойства воздуха, утечки во всей системе, различие в динамике истечения воздуха и жидкости и т.д.), влияние которых на качество пневматических испытаний были признаны экспертами малозначимым, на первом этапе не учитывались. Тем не менее все выявленные факторы были зарегистрированы и в случае необходимости (по результатам последующего дисперсионного анализа) могли быть использованы для разработки методики испытаний как управляющие факторы.

Задача разработки эквивалентной методики пневматических испытаний по нашему мнению, может быть решена в 4 этапа:

- формировать исследуемую выборку гидроцилиндров с известными параметрами безопасности;
- установить условия испытаний пневматическим давлением (значения факторов), провести измерения, зафиксировать и обработать результаты оценить риски поставщика  $\alpha$  и потребителя  $\beta$ .
- провести оптимизацию методики альтернативных испытаний с применением методов планирования эксперимента по критерию достижения значений  $\alpha$  и  $\beta$ , удовлетворяющих все стороны;
- аттестовать альтернативную методику испытаний.

**1 этап.** Необходимо сформировать партию (50...100) гидроцилиндров, идентифицированных по результатам гидравлических испытаний. В этой партии должно быть примерно 50% годных и 50% бракованных индивидуально идентифицированных цилин-

дров. Для исключения методической составляющей, отличающей альтернативные пневматические испытания от гидравлических, необходимо отбирать гарантированно годные и бракованные гидроцилиндры, используя как статистические подходы (критерии годности), так и детерминированные подходы, например, основанные на коэффициентах запаса. С учетом достаточно жесткого риска потребителя рекомендовано использовать второй подход. Практически это можно реализовать, например, таким образом: «годные» гидроцилиндры (первая часть партии) отбираются и идентифицируются по существующей методике, но при повышенном на 10% давлении жидкости ( $P=22$  МПа), «негодные» (вторая часть партии) – при пониженном на 10% давлении жидкости ( $P=18$  МПа). Допускается вторую часть партии формировать при предписанном существующей методикой давлении ( $P=20$  МПа), чтобы не создавать «разрыва» между параметрами обеих частей партии.

Минимальное количество образцов в партии (50) на этапе разработки аль-

тернативной методики пневматических испытаний было принято потому, что в рамках такого объема выборки уже можно оценивать сходимость эмпирического и теоретического распределений по критерию  $\chi^2$  Пирсона ( $n > 50$ ).

«Негодные» (от 1 до  $n$ ) и «годные» (от  $n+1$  до  $N$ ) гидроцилиндры сводят в одну партию общим объемом  $N = 50 \dots 100$  штук. Каждый образец снабжен идентификационным знаком.

**2 этап.** Он заключается в проведении испытаний на герметичность пневматическим методом и анализе результатов испытаний уже отобранной на первом этапе партии цилиндров по

методике, используемой на предприятии в настоящий момент: давление воздуха  $P = 3$  МПа, время выдержки под давлением  $T = 3$  с. Условия испытаний приняты на основании практических соображений и не являются оптимальными в количественном и качественном отношении. Регистрируемые значения падения пневматического давления  $\Delta P^0$  сводим в табл. 1.

Таблица 1.

| Идентификационный номер цилиндра | Результаты гидравлических испытаний на 1-м этапе (элемент прослеживаемости) | 1-е измерение     | 2-е измерение     | 3-е измерение     | 4-е измерение     | 5-е измерение     | Диапазон рассеяния при фиксированной доверительной вероятности |
|----------------------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| 1                                | негоден   | $\Delta P^0_{11}$ | $\Delta P^0_{12}$ | $\Delta P^0_{13}$ | $\Delta P^0_{14}$ | $\Delta P^0_{15}$ | $\Delta P^0_{1 \text{ ср.}} \pm \Delta^0_1$                    |
| 2                                | негоден   | $\Delta P^0_{21}$ | $\Delta P^0_{22}$ | $\Delta P^0_{23}$ | $\Delta P^0_{24}$ | $\Delta P^0_{25}$ | $\Delta P^0_{2 \text{ ср.}} \pm \Delta^0_2$                    |
| .....                            | .....   | .....             | .....             | .....             | .....             | .....             | .....  |
| $n+1$                            |   | .....             | .....             | .....             | .....             | .....             | .....  |
| .....                            |   | .....             | .....             | .....             | .....             | .....             | .....  |
| $N=50 \dots 100$                 | годен   | $\Delta P^0_{n1}$ | $\Delta P^0_{n2}$ | $\Delta P^0_{n3}$ | $\Delta P^0_{n4}$ | $\Delta P^0_{n5}$ | $\Delta P^0_{n \text{ ср.}} \pm \Delta^0_n$                    |

*Примечание:* Количество измерений по каждому цилиндру может быть скорректировано в большую или меньшую сторону (но не менее 3) в зависимости от значений неопределенности  $\Delta^0_i$ .

Статистический анализ полученных данных рекомендуется проводить с помощью универсального пакета STATISTICA (StatSoft, Inc.), обеспечивающего решение практически всех возможных задач в разных отраслях бизнеса в части всестороннего анализа и прогноза процессов.

Для получения общей картины построим величин. гистограмму результатов испытаний. Разобь-

ем диапазон значений  $[\Delta P^0_{1 \text{ ср. min}} ; \Delta P^0_{1 \text{ ср. max}}]$  на поддиапазоны (7...15), подсчитаем соответствующие частоты и построим гистограмму для всей исследуемой партии цилиндров объемом  $N$ . Ожидаемая форма гистограммы приведена на рис. 2. Такая «вытянутая» форма гистограммы с «утяжеленными» концами определяется методикой формирования выборки с гарантированными «негодными» и «годными» образцами. Форма гистограммы может соответствовать трапециевидному или равновероятному законам и даже антимодальному закону распределения случайных

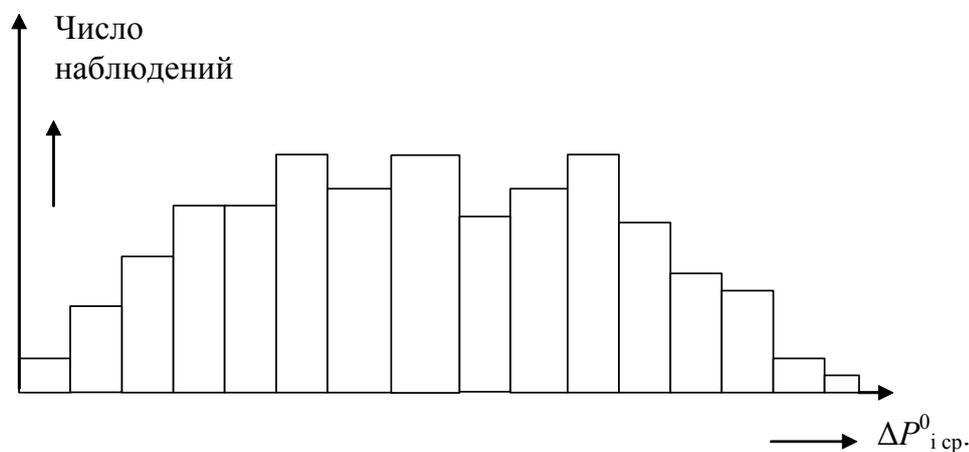


Рис. 2 Ожидаемая гистограмма результатов пневматических испытаний отобранной (аттестованной) партии гидроцилиндров при условиях  $P = 3 \text{ МПа}$ ,  $T = 3 \text{ с}$

Разделим гистограмму результатов испытаний всей исследуемой аттестованной зоны А – зона риска. Напомним, партии на две в соответствии с принадлежно-что эта зона была искусственно ликвидирована при формировании партии образцов методом. На рис. 3 они показаны разным цветом гидравлических испытаний путем введения коэффициентов запаса. Зона А – область

Для обеих гистограмм законы распределения таких  $\Delta P^0_{i \text{ ср.}}$ , по значениям которых должны быть близкими к нормальным, гидроцилиндр при испытаниях пневматическо что определяется стабильностью (отработанным давлением может быть отнесен как к категории «годных», так и к категории «негодных») (рис. 3, 4).

Наибольший интерес на рис. 3 представляет

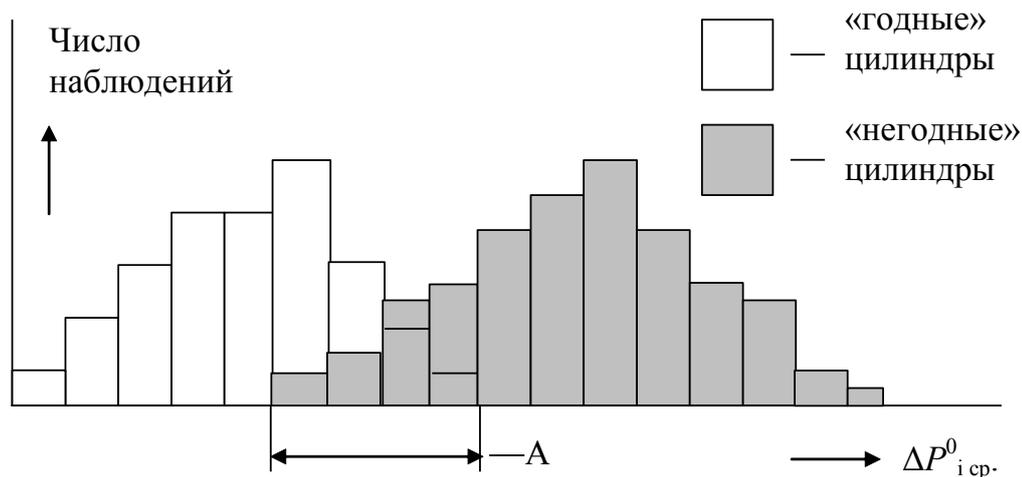


Рис. 3. Ожидаемые гистограммы пневматических испытаний отобранной (аттестованной) отдельно «годных» и «негодных» цилиндров при условиях  $P = 3 \text{ МПа}$ ,  $T = 3 \text{ с}$

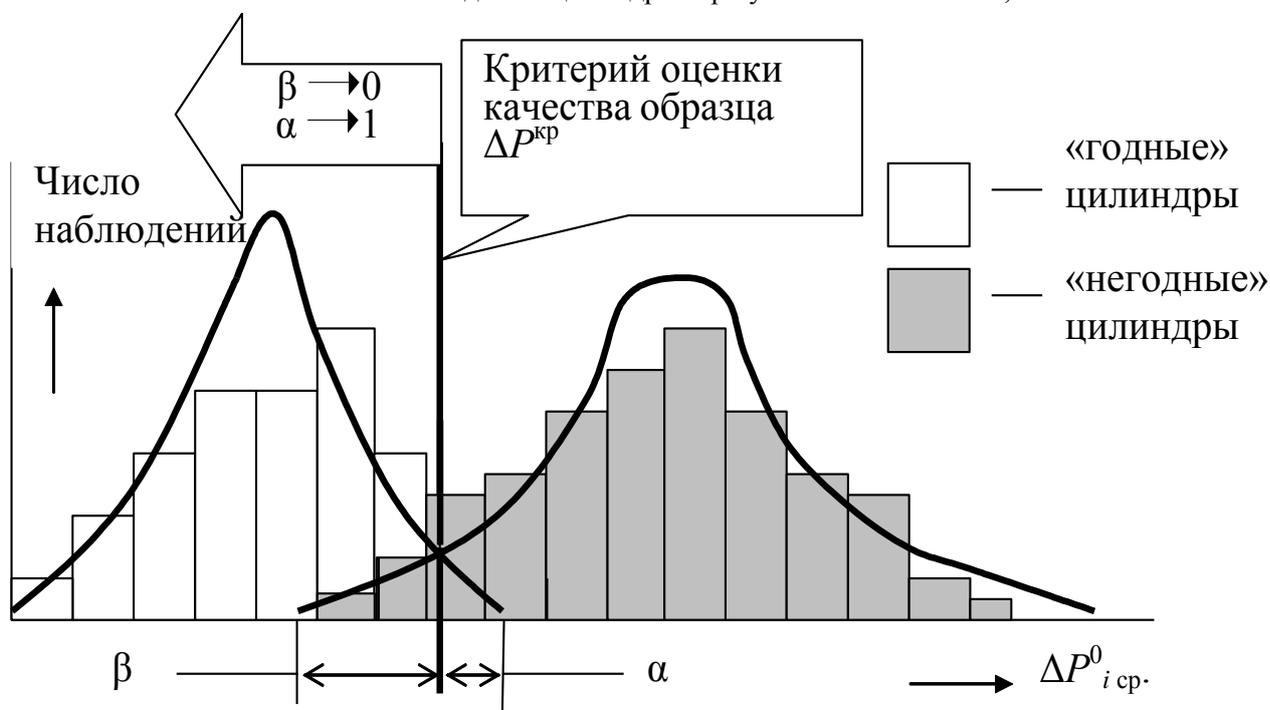


Рис. 4. Подбор теоретических законов распределения пневматических испытаний отдельно для «годных» и «негодных» цилиндров и оценка рисков поставщика  $\alpha$  и потребителя  $\beta$

В результате задача разработки методики и потребителя  $\beta$ , рассчитываемые через кван- альтернативных испытаний пневматическим или законов распределения  $U_\alpha$  и  $U_\beta$ . давлением сводится к нахождению критерия В данном случае исходным (прио- оценки качества (безопасности) цилиндров – ритетным) является риск потребителя  $\beta$  такого падения давления  $\Delta P^{kp}$  (при  $P = 3 \text{ МПа} = 0,005\%$ , так как он установлен заказ- и  $T = 3 \text{ с}$ ), по значению которого мы относим чиком. По значению  $\beta$  легко найти цилиндры к одной из двух категорий: «годен» квантиль  $U_\beta$  и, следовательно, коорди- или «негоден». Как следует из рис. 4, критерий нату (значение)  $\Delta P^{kp}$ . Если необходимо  $\Delta P^{kp}$  очевиден. Этому значению падения дав- еще больше ужесточить риск потреби- ления соответствуют уровни риска поставщика, достаточно  $\Delta P^{kp}$  передвинуть со-

ответственно влево вплоть до значения  $\beta = 0$ . После этого через  $\Delta P^{кр}$  легко найти квантиль  $U_\alpha$ , и, следовательно,  $\alpha$  – риск поставщика. Может оказаться, что риск поставщика будет неприемлемо велик, т. е. большой процент годных цилиндров будет при этом забракован.

**3 этап.** Если установленное соотношение  $\alpha$  и  $\beta$  не удовлетворяет какую-либо сторону, предприятию-поставщику необходимо продолжить моделирование данного процесса испытаний пневматическим давлением, используя методику робастного проектирования параметров процессов Г. Тагучи. Даль-

нейшие исследования должны быть направлены на поиск таких параметров процесса испытаний (для начала – тех же управляющих условий  $P$  и  $T$ ), которые при фиксированном  $\beta = 0,005\%$  позволят уменьшить  $\alpha$  – риск поставщика – до удовлетворительных значений. Здесь рационально использовать методы планирования эксперимента – DOE. Цель – найти такие условия проведения испытаний гидроцилиндров, при которых будет иметь место приблизительно следующая картина распределения «годных» и «негодных» цилиндров (рис. 5).

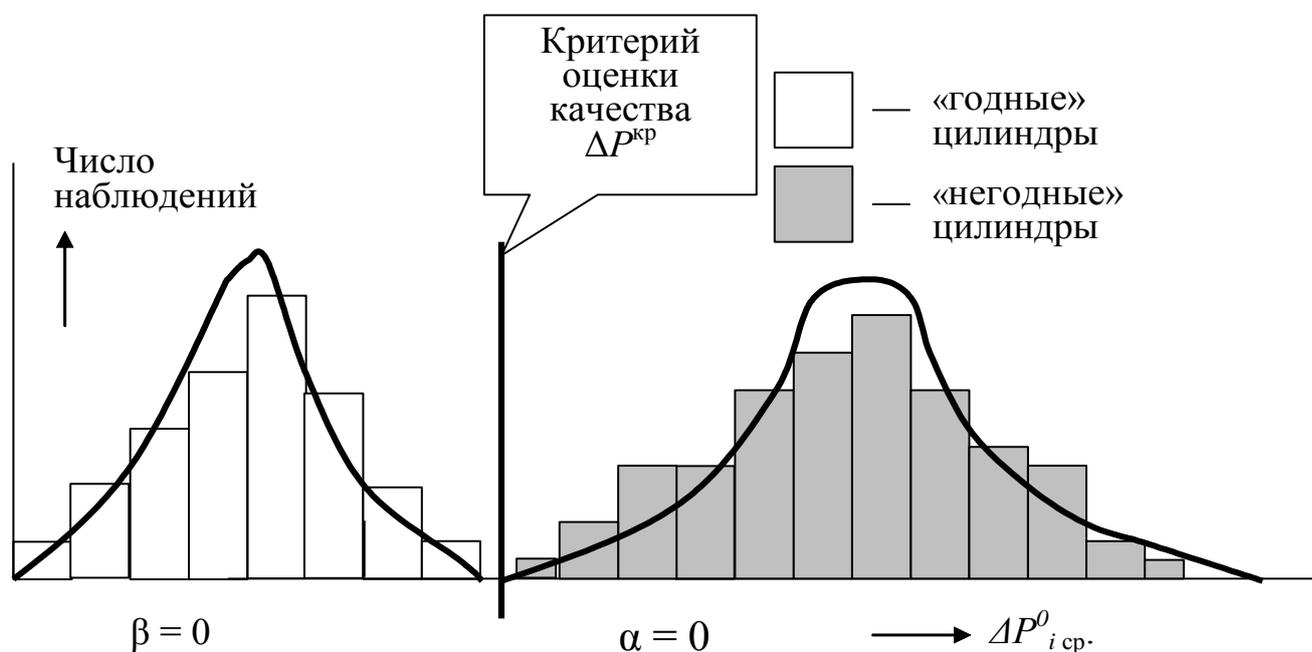


Рис. 5. Идеальный случай сочетания параметров испытаний  $P$  и  $T$ , при которых риски поставщика и потребителя практически отсутствуют

Конкретная методика планирования экспериментов и последующей обработки результатов, в наибольшей степени подходящая для данного случая, может быть определена по результатам этапов 1 и 2. Можно предложить три основных техники ее реализации:

- симплексное планирование (метод «крутого восхождения») как наиболее быстрый метод, хотя наименее информативный;

- ортогональное планирование по методике Г. Тагучи с использованием анализа понятия «сигнал – шум» [5];
- полнофакторное планирование с последующим регрессионным анализом (наиболее информативный метод).

Последние две техники предпочтительны, так как их реализация позволяет на основании дисперсионного анализа ответить на очень важный вопрос: все ли влияющие факторы (условия испытаний) учтены. В зависимости от результатов дисперсионного анализа мо-

жет быть принято решение о включении в со-ванной отобранной партии цилиндров (этап став оптимизируемых факторов дополни-1), необходимо опробовать методику альтер-тельных управляющих факторов (условий ис-нативных пнев-матических испытаний ( $P_{\text{опт.}}$ ,  $\Delta P^{\text{кп}}$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ ) в реальных условиях, т.е. про-по результатам анализа функциональной мо-вести пневматические испытания на несколь-дели испытаний. ких партиях собираемых цилиндров в сравне-

Возможна ситуация, когда в результате с проводимыми параллельно гидравличе-планирования эксперимента и обработки егоскими испытаниями по стандартизованной результатов не удастся найти сочетание опти-методике. При этом оцениваются действи-мальных значений управляющих условий ис-тельные значения риска поставщика и потре-пытаний, обес-печивающих заданный риск по-бителя. В случае удовлетворительной согла-трепитателя  $\beta = 0,005\%$ . Это означает, что рас-сованности альтернативных методик прове-сма-триваемая «система испытаний» с высокойдения испытаний (относительно  $\beta$  и  $\alpha$ ) мето-вероятностью не в состоянии обеспечить за-дика пневматических испытаний принимается данные требования и следует искать другиеи проходит процедуру придания ей законной подходы, методы, средства. силы.

**4 этап.** После того как оптимизированы условия проведения испытаний на аттесто-

## Резюме

В данной статье рассмотрены проблемы и возможности их разрешения при разработке эффективных альтернативных методик испытаний на базе НПО «Фенокс». Они касаются обеспечения достоверности испытаний, их объективности, воспроизводимости результатов. Данная статья носит концептуальный характер и не претендует на завершенность.

Основной проблемой при традиционной разработке альтернативных методик испыта-ний является отсутствие строгого системного подхода, который может быть реализован с помощью определенной последовательности действий. Авторы выделяют два этапа: функ-циональное моделирование процесса альтернативных испытаний и робастное проектирова-ние условий испытаний (в количественном и качественном отношении). Первый позволяет гарантированно выявить всю совокупность влияющих на результат испытаний факторов (условий), обеспечивая собственно системный подход. Второй позволяет оптимизировать «систему испытаний» для конкретных условий их проведения, обеспечивая заданную эф-фективность.

## Литература

1. Крылова Г. Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов. – М.: Аудит, ЮНИТИ, 1998. – 479 с.
2. Серенков П.С., Соломахо В.Л. К вопросу о методах и инструментах эффектив-ного менеджмента качества // Новости. Стандартизация и сертификация. – 2002. – № 2. – С. 57 - 60.
3. ТК РБ 4.2-Р-05-2001. Методика и порядок работ по определению, классифика-ции и идентификации процессов и построению карт процессов: Методические реко-мендации // Управление качеством: НТК по стандартизации. – Мн.: Госстандарт Рес-публики Беларусь. 2001.

4. Давид Марка, Клемент МакГоуэн. Методология структурного анализа и проектирования. Пер. с англ. – М., 1993, – 240 с.

5. Taguchi Methods. Case Studies from the US and Europe. – ASI Press, 1989.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИКИ РОБАСТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ Г.ТАГУЧИ ДЛЯ АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ**

**Е.Э.Фельдштейн**, кандидат технических наук, Зеленогурский университет

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) детали играет значительную роль в обеспечении благоприятных условий ее эксплуатации. В формировании свойств поверхностного слоя детали при ее ППД принимают участие две группы факторов. Первая группа – непосредственно режимы ППД, такие, как скорость и подача накатного ролика, усилие и количество проходов при накатывании, условия смазывания ролика и т.п. Другую группу факторов необходимо учитывать в связи с существованием технологической наследственности между чистовыми и черновыми операциями механической обработки. Известно, что основные свойства поверхностного слоя детали – его геометрические характеристики, микротвердость, напряженное состояние, поверхностная энергия и цельность поверхности, химический состав, структура и другие формируются на протяжении всего периода обработки детали. Отдельные свойства и характеристики поверхности в процессе обработки в значительной степени "наследуются" от предыдущих операций [1]. Взаимодействие пооперационных наклепов, напряжений, структурных превращений

обуславливает получение определенного физико-химического состояния поверхностного слоя.

Учитывая значительное количество факторов, влияющих на процесс ППД, поиск его оптимальных условий целесообразно производить с использованием отсеивающих экспериментов [2]. С этой точки зрения интерес представляет методика робастного проектирования процессов Г. Тагучи, широко используемая для целей менеджмента качества и включающая специальную технику планирования экспериментов [4]. Идея данной методики заключается в том, в качестве функции отклика рассматривается не сам параметр анализируемого процесса, а его дисперсия. Для этого Г. Тагучи предлагает в качестве отклика специальный параметр, названный им «сигнал–шум». Цель реализации методики заключается в том, чтобы минимизировать изменчивость выходной величины, вызванную действием факторов шума, максимизируя значение отклика «сигнал/шум».

В данном исследовании ставились задачи оценки возможности использования методики Г. Тагучи для оптимизации условий обработки

ППД и анализа влияния этих условий на шероховатость обкатанной поверхности.

В методе Г. Тагучи в ходе реализации исследований и обработки результатов рассматриваются сигнал, шум и управляющие факторы. Факторы шума – факторы, которые находятся вне контроля оператора, управляющие факторы устанавливаются или управляются оператором машины в ходе обработки. В идеальных условиях выходной сигнал (в нашем случае шероховатость поверхности после ППД) будет реагировать только на сигналы оператора и не будет реагировать на случайные изменения в ходе процесса. Следовательно, цель планов Г. Тагучи может рассматриваться как попытка максимизировать отношение „сигнал – шум”:

$$\text{Eta} = -10 \cdot \lg_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \rightarrow \max .$$

Возможность использования метода Г. Тагучи рассматривалась применительно к процессу накатывания роликом наружных цилиндрических поверхностей. Тороидальный ролик диаметром 60 мм с радиусом закругления 20 мм выполнялся из закаленной стали, образцы – ролики диаметром 35 мм – из стали 45 в состоянии поставки. Накатывание осуществлялось на токарном станке с установкой комплекта из 5 роликов на общей оправке. Первоначально выполнялось точение комплекта «на проход», непосредственно после этого – ППД первых трех роликов. Усилие накатывания обеспечивалось гидравлически (изменение давления масла в гидроцилиндре), т.е. в условиях упругого контакта накатного ролика с обрабатываемыми образца-

ми. В качестве технологических сред использовалось минеральное масло SN-150 (аналог И-30) в состоянии поставки, а также масло, модифицированное присадками MotorLIFE и ACOROX 880. Первая из них содержит соединения хлора и серы, вторая – цинка, фосфора и серы.

Использовался план типа L18, в качестве оптимизируемого фактора принималось значение  $Ra$  после обкатывания. Измерения выполнялись на профилометре РМ – 02С, по пять измерений на 2-м и 3-м роликах комплекта.

Условия изменения независимых переменных и уровни функции „сигнал – шум” приведены в табл. 1. Функция „сигнал – шум” варьируется в диапазоне (-3,66...12,15). Это достаточно широкий диапазон, что свидетельствует о том, что изменение шероховатости зависит от изменения факторов в установленных планом пределах. Лучший из 18 – случай 5 (отношение „сигнал – шум” наибольшее), худший – случай 6.

Дисперсионный анализ результатов робастного проектирования по Г. Тагучи (табл. 2) позволяет оценить, вызвано ли изменение функции „сигнал – шум” изменением управляющих факторов или же это изменение определено другими, неучтенными факторами (остаточная ошибка). Чем меньше значения  $p$  в табл. 2 и выше критерий Фишера  $F$ , тем выше вероятность влияния данного фактора. Легко заметить, что однозначно влияют на шероховатость поверхности после обработки сила ППД и подача резца. Далее в порядке убывания влияния следуют подача ППД, вид смазки и другие факторы, изменением которых нельзя объяснить изменение функции „сигнал – шум”.

Выступы микронеровностей находятся в различных условиях деформирования. Давление деформирующего

элемента передается материалу через контактные поверхности, имеющие разную длину, которая обусловлена различной степенью деформации. Поперечному расширению поверхностного слоя, непосредственно прилежащего к поверхности контакта, препятствует трение, возникающее в контактной зоне и распространяющееся от поверхности в глубь металла. Оно охватывает зону, имеющую клинообразную форму. Пластически деформированные гребешки в этой зоне упрочняются и имеют повышенную твердость. Металл, смежный со сторонами клина, течет в направлении наименьшего сопротивления, т.е. к свободным поверхностям микровыступов и их основаниям. Кроме того, осадка микровыступов вызывает течение металла из глубины и с поверхности, в результате чего микровыступы утолщаются, а впадины заполняются вытесненным металлом. Когда сжатый микровыступ и поднятое основание окажутся на одном уровне, образование новой поверхности заканчивается [3].

## Результаты расчетов функции „сигнал – шум”

| № опыта | Факторы                  |                |                          |                     |               |                      |                       |                         | Функция Eta „сигнал – шум” |
|---------|--------------------------|----------------|--------------------------|---------------------|---------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------|
|         | Скорость точения*, м/мин | Смазка при ППД | Радиус вершины резца, мм | Подача резца, мм/об | Усилие ППД, Н | Скорость ППД, м/мин* | Подача при ППД, мм/об | Количество проходов ППД |                            |
|         | I                        | II             | III                      | IV                  | V             | VI                   | VII                   | VIII                    |                            |
| 1       | 110.0                    | Sn – 150       | 0.8                      | 0.1                 | 500.0         | 61.0                 | 0.083                 | 1                       | 5,45                       |
| 2       | 110.0                    | Sn – 150       | 1.2                      | 0.3                 | 1250.0        | 61.0                 | 0.333                 | 2                       | 7,34                       |
| 3       | 110.0                    | Sn – 150       | 1.6                      | 0.5                 | 2000.0        | 61.0                 | 0.428                 | 3                       | 7,71                       |
| 4       | 110.0                    | MotorLIFE      | 0.8                      | 0.1                 | 1250.0        | 61.0                 | 0.428                 | 3                       | 8,49                       |
| 5       | 110.0                    | MotorLIFE      | 1.2                      | 0.3                 | 2000.0        | 61.0                 | 0.083                 | 1                       | 12,15                      |
| 6       | 110.0                    | MotorLIFE      | 1.6                      | 0.5                 | 500.0         | 61.0                 | 0.333                 | 2                       | -3,66                      |
| 7       | 110.0                    | ACOROX 880     | 0.8                      | 0.3                 | 500.0         | 61.0                 | 0.333                 | 3                       | 1,40                       |
| 8       | 110.0                    | ACOROX 880     | 1.2                      | 0.5                 | 1250.0        | 61.0                 | 0.428                 | 1                       | 1,07                       |
| 9       | 110.0                    | ACOROX 880     | 1.6                      | 0.1                 | 2000.0        | 61.0                 | 0.083                 | 2                       | 7,06                       |
| 10      | 110.0                    | Sn – 150       | 0.8                      | 0.5                 | 2000.0        | 61.0                 | 0.333                 | 1                       | 7,36                       |
| 11      | 110.0                    | Sn – 150       | 1.2                      | 0.1                 | 500.0         | 61.0                 | 0.428                 | 2                       | 6,50                       |
| 12      | 110.0                    | Sn – 150       | 1.6                      | 0.3                 | 1250.0        | 61.0                 | 0.083                 | 3                       | 11,81                      |
| 13      | 110.0                    | MotorLIFE      | 0.8                      | 0.3                 | 2000.0        | 61.0                 | 0.428                 | 2                       | 5,46                       |
| 14      | 110.0                    | MotorLIFE      | 1.2                      | 0.5                 | 500.0         | 61.0                 | 0.083                 | 3                       | 5,56                       |
| 15      | 110.0                    | MotorLIFE      | 1.6                      | 0.1                 | 1250.0        | 61.0                 | 0.333                 | 1                       | 9,87                       |
| 16      | 110.0                    | ACOROX 880     | 0.8                      | 0.5                 | 1250.0        | 61.0                 | 0.083                 | 2                       | 7,04                       |
| 17      | 110.0                    | ACOROX 880     | 1.2                      | 0.1                 | 2000.0        | 61.0                 | 0.333                 | 3                       | 9,36                       |
| 18      | 110.0                    | ACOROX 880     | 1.6                      | 0.3                 | 500.0         | 61.0                 | 0.428                 | 1                       | 2,11                       |

\* При расчетах изменения скоростей точения и ППД для уровней 1, 2 и 3 принимались соответственно – 0,1 и +0,1 м/мин от номинального значения

## Дисперсионный анализ результатов

| Факторы                  | Сумма квадратов SS | Критерий Фишера F | Значение p |
|--------------------------|--------------------|-------------------|------------|
| Скорость точения, м/мин  | 18,12              | 15,62             | 0,058      |
| Смазка при ППД           | 27,45              | 11,83             | 0,077      |
| Радиус вершины резца, мм | 5,33               | 2,30              | 0,302      |
| Подача резца, мм/об      | 41,25              | 17,78             | 0,053      |
| Усилие ППД, Н            | 101,04             | 43,55             | 0,022      |
| Скорость ППД, м/мин      | 19,30              | 8,32              | 0,107      |
| Подача ППД, мм/об        | 34,33              | 14,80             | 0,063      |
| Количество проходов ППД  | 17,85              | 7,698             | 0,114      |

Такой характер формирования стереометрии поверхности можно считать идеальным. Он типичен для сглаживающего режима обработки, когда необходимо получить обработанную поверхность с очень малой шероховатостью. Если высота микронеровностей будет больше, чем осадка микровыступов в процессе их пластического деформирования, на поверхности детали останутся следы предшествующей обработки. Если же высота микронеровностей невелика, деформированию подвергаются не только они непосредственно, но и более глубоко расположенные слои материала и имеет место их упрочнение. Поверхностный же наклеп в ходе ППД выравнивает физико-механические свойства различных участков поверхности, устраняя структурные концентраторы напряжений, выравнивая микротвердость и заменяя растягивающие остаточные напряжения на сжимающие.

На шероховатость поверхности, обрабатываемой ППД, значительное влияние оказывают также форма и однородность микрогребешков, образующихся на предшествующей операции. Наиболее приемлема исходная шероховатость поверхности с равномерно чередующимися выступами, имеющими угол профиля  $90^\circ \dots 120^\circ$ . Значительно

ухудшают накатанную поверхность вырывы, задиры, следы вибраций и т.д., полученные на предшествующей операции. Отсюда ясно, что следует тщательно выбирать условия предварительной обработки поверхности перед ее ППД.

Условия ППД также оказывают влияние на шероховатость обработанной поверхности. Роль усилия накатывания связана с самим характером обработки методом ППД. Путем его изменения можно в широком диапазоне изменять шероховатость поверхности. Недостаточное усилие накатывания не обеспечивает требуемую деформацию поверхностного слоя, так как сминаются лишь вершины гребешков. С увеличением усилия деформация гребешков увеличивается и шероховатость поверхности уменьшается. Однако чрезмерное увеличение усилия приводит к увеличению шероховатости и даже к разрушению поверхностного слоя (явление перенаклепа). При отделочной обработке оптимальное усилие накатывания должно обеспечить полное сглаживание микронеровностей исходной поверхности, при этом достигается наименьшая шероховатость.

Подача является одним из главных элементов режима обработки, оказывающим значительное влияние на ше-

роховатость накатанной поверхности. Шероховатость обкатанной роликом поверхности уменьшается с уменьшением подачи до определенного ее значения. Дальнейшее уменьшение подачи приводит к некоторому увеличению микрогребешков. Увеличение шероховатости поверхности при чрезмерно малой подаче объясняется весьма большой кратностью приложения нагрузки на единицу площади пятна контакта деформирующего элемента с обрабатываемой поверхностью, что приводит к усталостным явлениям в поверхностном слое металла (перенаклепу) и, как следствие этого, к шелушению. Особенно чувствительны к перенаклепу чугуны и алюминиевые сплавы. Для каждого конкретного случая обработки ППД существует оптимальная подача, необходимая для обеспечения требуемой шероховатости поверхности и зависящая от усилия накатывания, размеров, формы и количества деформирующих элементов в инструменте.

Скорость накатывания при ППД поверхностей не оказывает существен-

ного влияния на их шероховатость. Поэтому при ее выборе необходимо исходить из производительности, принимая максимальное ее значение с учетом жесткости технологической системы и износа деформирующего инструмента.

Влияние количества проходов на шероховатость накатанной поверхности аналогично влиянию усилия и подачи. При увеличении числа проходов до 3-4 отмечается некоторое уменьшение шероховатости обработанной поверхности. Дальнейшее увеличение числа проходов вызывает увеличение шероховатости по причине перенаклепа обработанной поверхности

Поскольку погрешности, выявленные дисперсионным анализом, невелики, с помощью статистического анализа Г. Тагучи можно спрогнозировать оптимальное сочетание условий обработки и ожидаемое значение функции „сигнал – шум” для этих условий (табл. 3). Предлагаемая комбинация условий обработки обеспечивает значение функции 17,32 вместо максимального для начального плана значения 12,15.

Таблица 3

Оптимальное сочетание условий обработки

| Факторы                                   | Уровень  |
|---|----------|
| Скорость точения, м/мин                   | 110      |
| Смазка при ППД                            | Sn - 150 |
| Радиус вершина резца, мм                  | 1,2      |
| Подача резца, мм/об                       | 0,1      |
| Усилие ППД, Н                             | 2000,0   |
| Скорость ППД, м/мин                       | 61       |
| Подача ППД, мм/об                         | 0,083    |
| Количество проходов ППД                   | 3        |
| Ожидаемое значение функции „сигнал – шум” | 17,32898 |

Эксперименты, выполненные при данном сочетании условий ППД, зафиксировали среднее значение параметра шероховатости обработанной поверхности  $Ra = 0,235$  мкм против

$Ra = 0,245$  мкм в наилучшем сочетании первой серии опытов.

Нами была также предпринята попытка, используя этот массив данных и результаты методики робастного пере-

проектирования процесса по Г. Тагучи, решить эту же задачу с помощью техники регрессионного анализа. Для регрессионного анализа результатов ППД использовалась линейная модель типа

$$B_0 + B_1x_1 + \dots + B_8x_8 - Eta = 0.$$

Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты регрессионного анализа

| Факторы                  | Коэффициент $\beta$ | Стандартная ошибка $\beta$ | Коэффициент $B$ | Стандартная ошибка $B$ | Критерий Стьюдента $t(9)$ | Значение $p$ |
|--------------------------|---------------------|----------------------------|-----------------|------------------------|---------------------------|--------------|
| Свободный член           | -                   | -                          | 0,77            | 0,38                   | 2,03                      | 0,072        |
| Скорость точения, м/мин  | -0,27               | 0,16                       | -0,17           | 0,10                   | -1,65                     | 0,131        |
| Смазка при ППД           | 0,26                | 0,16                       | 0,10            | 0,06                   | 1,58                      | 0,148        |
| Радиус вершина резца, мм | 0,06                | 0,16                       | 0,02            | 0,06                   | 0,37                      | 0,717        |
| Подача резца, мм/об      | 0,42                | 0,16                       | 0,16            | 0,06                   | 2,57                      | 0,030        |
| Усилие ППД, Н            | -0,45               | 0,16                       | -0,17           | 0,06                   | -2,75                     | 0,022        |
| Скорость ППД, м/мин      | -0,34               | 0,16                       | -0,13           | 0,06                   | -2,09                     | 0,065        |
| Подача ППД, мм/об        | 0,262               | 0,16                       | 0,10            | 0,06                   | 1,58                      | 0,148        |
| Количество проходов ППД  | -0,13               | 0,16                       | -0,05           | 0,06                   | -0,83                     | 0,426        |

Из анализа табл. 4 следует, что реальное влияние на шероховатость поверхности детали после ППД оказывают только подача резца и усилие деформирования, поскольку только для этих факторов критерий Стьюдента выше допустимого ( $t_{таб} = 2,26$ ), значение  $p$  для данных факторов очень невелико, а уровни относительных вкладов  $\beta$ , наоборот, значительны. Коэффициент множественной корреляции  $R = 0,86$ , критерий Фишера  $F = 3,39$ .

(пусть даже не совсем адекватно отражающей поведение функции отклика) достаточно точно отражают степень влияния каждого фактора.

Из дальнейших расчетов (табл. 5) следует, что полученная модель адекватна, поскольку непосредственными регрессионными связями нельзя объяснить только 0,04 общего значения шероховатости. Очевидно, что коэффициенты регрессии линейной модели

## Результаты дисперсионного анализа

| Эффект            | Сумма квадратов | Число степеней свободы | Среднее значение | Критерий Фишера | Значение $p$ |
|-------------------|-----------------|------------------------|------------------|-----------------|--------------|
| Регрессия         | 1,36            | 8                      | 0,17             | 3,39            | 0,043        |
| Остаточная ошибка | 0,45            | 9                      | 0,05             |                 |              |
| Итого             | 1,81            |                        |                  |                 |              |

**Выводы**

Использование робастного проектирования Г. Тагучи позволяет оценить характер и степень влияния значительного количества качественных и количественных переменных факторов на шероховатость обработанной поверхности после ее обкатки роликом. Наиболее существенное воздействие на шероховатость поверхности в этом случае оказывают сила деформирования и подача резца. Обработка результатов позволила также определить оптимальное сочетание факторов, минимизирующее шероховатость обработанной поверхности и ее рассеяние.

**Литература**

1. Ящерицын П.И. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей. – Мн.: Наука и техника, 1971.
2. Ящерицын П.И., Махаринский Е.И. Планирование эксперимента в машиностроении. – Мн.: Вышэйшая школа, 1985.
3. Технология размерно-чистовой и упрочняющей обработки / П.С.Чистосердов, Б.П.Чемисов, Л.М.Кожуро, Л.М. Акулович. – Мн.: Университетское, 1993.
4. Taguchi Methods. Case Studies from the U.S. and Europe. – ASI Press, 1989.

## **Часть 3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ И УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

### **ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ СМК В МАСШТАБАХ ОРГАНИЗАЦИИ**

**И.И.Толкачев**, ОАО «Горизонт»;

**Ю.Ф.Ляшук**, доктор технических наук, зам. генерального директора ОАО «Горизонт»;

**П.Н.Новиков**, ОАО «Горизонт»

#### **1 Постановка задачи**

В 2002 г. в рамках разработки системы менеджмента качества (СМК) на основе международных стандартов серии ISO 9000 версии 2000 года на ОАО «Горизонт» были определены, классифицированы и идентифицированы 19 процессов СМК, объединённых в общую сеть. В соответствии с методологией IDEF0 была разработана функциональная модель сети процессов. На каждый процесс был разработан идентифицирующий его нормативный документ – паспорт процесса, содержащий кроме прочего критерии оценки качества функционирования процесса.

Управление процессами СМК предполагает мониторинг, измерение, анализ и оценку их результативности. В настоящее время в Республике Беларусь отсутствует общепринятая методика оценки результативности процессов, поэтому были поставлены следующие задачи:

- разработать единую методику количественной оценки результативности функционирования всех процессов СМК и СМК в целом;

- обеспечить возможность сравнительного анализа результативности каждого процесса СМК и СМК в целом за различные оцениваемые периоды;

- создать основу для обеспечения функционирования и улучшения процессов СМК и всей СМК в целом;

- создать основу для оценки результативности корректирующих и предупреждающих мероприятий;

- создать основу для оценки адекватности разработанной сети процессов СМК.

Эти задачи взаимосвязаны между собой. Так, сравнительный анализ результативности функционирования процессов СМК и СМК в целом возможен только при наличии единой системы оценки. Основа для обеспечения правильного функционирования и улучшения процессов СМК – разработка корректирующих и предупреждающих мероприятий по результатам оценки результативности функционирования процессов СМК. Результативность корректирующих и предупреждающих мероприятий можно оценить, сравнив результативность функционирования процесса СМК за различные оцениваемые периоды времени. Адекватность (соответствие особенностям и структуре ОАО «Горизонт» и требованиям стандартов ISO 9000) сети процессов СМК можно оценить по тенденциям изменения результативности различных процессов СМК за различные оцениваемые периоды.

#### **Исходными данными являлись:**

- перечень определённых, классифицированных, идентифицированных процессов СМК ОАО «Горизонт» (19 процессов СМК);

- критерии оценки качества для каждого из 19 процессов СМК (измеримые показатели различного рода), приведённые в паспортах процессов.

## 2. Достигнутые результаты

### 2.1. Определение базовых принципов оценки результативности функционирования процессов СМК ОАО «Горизонт».

Согласно СТБ ИСО 9000-2001 результативность – это степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов.

Исходя из этого для оценки результативности процесса СМК нужно сравнить плановые и фактически достигнутые значения критериев оценки качества процесса. Если все плановые значения критериев оценки качества процесса выполнены (достигнуты), то процесс СМК функционирует результативно. Если ни один из критериев оценки качества процесса не выполнен (не достигнут) – процесс СМК функционирует нерезультативно. Во всех прочих случаях процесс СМК функционирует частично результативно.

Для обеспечения целостности СМК подобная оценка результативности должна быть применима ко всем процессам СМК, причём оцениваемый период должен быть одинаковым для всех процессов и оптимальным с точки зрения их специфики.

На ОАО «Горизонт» в настоящее время установлены следующие базовые принципы оценки результативности функционирования процессов СМК:

- по всем критериям оценки качества процессов СМК на оцениваемый период доводятся плановые значения;
- по всем критериям оценки качества процессов СМК определяются

(вычисляются) фактические их значения за оцениваемый период;

- за оцениваемый период для всех процессов СМК принят 1 квартал;

- по каждому процессу СМК ежеквартально производится сопоставление плановых и фактических значений и делается вывод о результативности/нерезультативности или частичной результативности его функционирования.

### 2.2. Корректирующие и предупреждающие мероприятия. Улучшение функционирования процессов СМК.

Основная цель любого мониторинга и измерения (в том числе оценки результативности функционирования процессов СМК) – достижение запланированных результатов и последующее улучшение объекта мониторинга и измерения. Поэтому следующим шагом после оценки результативности процессов СМК ОАО «Горизонт» является обеспечение выполнения плановых показателей функционирования процессов, а также улучшение функционирования процессов.

Корректирующие и предупреждающие мероприятия разрабатываются по каждому невыполненному (недостигнутому) критерию оценки качества процессов СМК.

### 2.3. Принципы количественной оценки результативности процессов СМК.

Оценка результативности функционирования процессов СМК – это достаточно сложная задача, что обусловлено следующими моментами:

- число критериев различно для различных процессов СМК и варьируется, например, для СМК ОАО «Горизонт» в диапазоне от 1 до 13;

- критерии оценки качества процессов различны по характеру, содер-

жанию и в большинстве своём определены в различных системах измерения;

- степень выполнения (достижения) каждого критерия оценки качества процесса зависит от фактически достигнутых результатов (полностью не выполнен/выполнен, частично/выполнен/перевыполнен);
- для каждого процесса возможно невыполнение отдельных или ряда критериев.

Единственным однозначным выводом при оценке результативности может быть вывод «Процесс функционирует результативно» в случае, если все критерии оценки качества процесса СМК выполнены (достигнуты).

Вывод «Процесс функционирует нерезультативно» в случае невыполнения (недостижения) всех критериев оценки качества процесса СМК неоднозначен в силу того, что степень невыполнения (недостижения) критериев оценки качества варьируется.

Вывод «процесс СМК функционирует частично результативно» неоднозначен в силу неравнозначности критериев как для оценки качества одного процесса СМК, так и для СМК в целом, то есть для обеспечения объективности и однозначности требуется достаточно сложная оценка результативности функционирования процессов СМК и СМК в целом.

Нами предлагается методика количественной оценки результативности функционирования процессов СМК и СМК в целом, основанная на осуществлении следующей деятельности:

- количественная оценка выполнения каждого критерия качества для отдельного процесса (с учётом соотношения план/факт);
- определение и утверждение экспертным советом весовых коэффициентов для каждого из критериев, отража-

ющих значимость критериев для отдельного процесса СМК;

- количественная оценка результативности функционирования каждого процесса СМК на основании количественных оценок выполнения критериев с учётом весовых коэффициентов по отдельным критериям;
- определение и утверждение экспертным советом весовых коэффициентов, отражающих значимость процесса СМК для СМК в целом;
- количественная оценка результативности функционирования СМК в целом на основании количественных оценок отдельных процессов СМК с учётом их весовых коэффициентов.

#### **2.4. Методика количественной оценки результативности отдельных процессов СМК и СМК в целом.**

На основании вышеизложенных принципов на ОАО «Горизонт» разработана методика количественной оценки результативности функционирования процессов СМК и СМК в целом. В настоящее время проводится опробование методики в условиях реально функционирующей СМК. В ближайшей перспективе методика будет документально оформлена в виде стандарта предприятия.

#### **Описание методики**

Примем следующие обозначения:

- $S$  – количественная оценка результативности функционирования СМК в целом;
- $m$  – количество процессов в сети процессов СМК;
- $j$  – порядковый номер процесса в сети процессов СМК ( $j = 1, \dots, m$ );
- $R_j$  – количественная оценка результативности функционирования процесса СМК с номером  $j$ ;
- $v^j$  – весовой коэффициент для процесса с порядковым номером  $j$ , ко-

торый отражает значимость данного процесса для СМК в целом;

- $n_j$  – количество критериев оценки качества процесса с порядковым номером  $j$ ;

- $i$  – порядковый номер критерия оценки качества процесса ( $i = 1, \dots, n_j$ );

- $c_{ij}$  – количественная оценка выполнения критерия качества с порядковым номером  $i$  для процесса с порядковым номером  $j$ ;

- $p_{ij}$  – плановое значение критерия;

- $f_{ij}$  – фактическое значение критерия;

- $a_{ij}$  – среднее фактическое значение критерия за три предыдущих оценочных периода;

- $w_{ij}$  – весовой коэффициент для критерия – отражает значимость данного критерия для процесса в целом.

1. Определим диапазон оценки  $c_{ij}$  :

$$c_{ij} = 0 \dots 5,$$

то есть расчёт числового значения оценки результативности выполнения критерия качества процесса СМК будем строить таким образом, чтобы результат вычисления находился в пределах от 0 до 5. Значение  $c_{ij}$  рассчитывается по формулам, соответствующим типу критерия. Можно выделить 4 типа критериев оценки качества процессов СМК:

2). Критерии, которые выполняются результативно в полном объёме в случаях, когда фактическое значение больше либо равно плановому.

Числовое значение оценки результативности для данного типа критериев определяется по формуле

$$c_{ij} = 5 \frac{f_{ij}}{p_{ij}}, \quad f_{ij} < p_{ij};$$

$$c_{ij} = 5, \quad f_{ij} \geq p_{ij}.$$

К критериям этого типа относятся обеспечение выполнения программ, планов, мероприятий (планируется количество пунктов, которые необходимо выполнить); обеспечение надёжности (планируется наработка на отказ, час); обеспечение объёма выпуска продукции (шт.) и т.п.

2). Критерии, которые выполняются результативно в полном объёме в случаях, когда фактическое значение строго равно плановому.

Числовое значение оценки результативности для данного типа критериев определяется по формуле

$$c_{ij} = 5 \frac{f_{ij}}{p_{ij}}, \quad f_{ij} \leq p_{ij};$$

$$c_{ij} = 5 - 2,5 \frac{f_{ij} - p_{ij}}{p_{ij}}, \quad f_{ij} > p_{ij}.$$

В случае если  $p_{ij} = 0$  (равнозначно тому, что плановое значение по критерию не доводится), то  $c_{ij} = 5$ .

К критериям этого типа относится, например, обеспечение персоналом согласно заявкам подразделений (планируется количество персонала, чел.).

Коэффициент 2,5 в случае  $f_{ij} > p_{ij}$  взят исходя из принятого правила «превышение планового значения критерия оценки качества процесса в 2 раза менее критично, чем невыполнение».

3). Критерии, для которых всегда  $p_{ij} = 0$ .

Числовое значение оценки результативности для данного типа критериев определяется по формуле

$$\begin{aligned}
c_{ij} &= 5 - 2,5 \frac{f_{ij}}{a_{ij}}, & f_{ij} &\leq 2a_{ij}; \\
c_{ij} &= 0, & f_{ij} &> 2a_{ij}; \\
c_{ij} &= 0, & a_{ij} &= 0, f_{ij} > 0.
\end{aligned}$$

К критериям этого типа относятся, например, количество рабочих мест с превышением концентрации вредных веществ, количество нарушений требований технологической дисциплины и т.п.

Коэффициент 2,5 в случае  $f_{ij} \leq 2a_{ij}$  взят исходя из принимаемого правила, что  $c_{ij} = 0$  при  $f_{ij} > 2a_{ij}$ .

4). Критерии, которые выполняются результативно в полном объеме в случаях, когда фактическое значение меньше либо равно плановому.

Числовое значение оценки результативности для данного типа критериев определяется по формуле

$$\begin{aligned}
c_{ij} &= 5 \frac{p_{ij}}{f_{ij}}, & f_{ij} &\geq p_{ij}; \\
c_{ij} &= 5, & f_{ij} &< p_{ij}.
\end{aligned}$$

К критериям этого типа относятся, например, значение уровня дефектности, которое нельзя превышать, и т.п.

2. Определим диапазон оценки  $R_j$ :

$$R_j = 0 \dots 100.$$

$R_j$  может принимать значения в диапазоне от 0 до 100 и вычисляется по формуле, приведенной ниже.

Установим ограничение для значений весовых коэффициентов  $w_{ij}$ :

$$\sum_{i=1}^{n_j} w_{ij} = 1 \quad (1)$$

Количественную оценку результативности функционирования процесса СМК с порядковым номером  $j$  ( $R_j$ ) будем рассчитывать по формуле

$$R_j = 0,2 \sum_{i=1}^{n_j} c_{ij} w_{ij} \cdot 100.$$

Весовые коэффициенты  $w_{ij}$  определяются и утверждаются экспертной комиссией для каждого критерия оценки качества каждого процесса СМК исходя из принятого ограничения (1) и значимости критериев для результативности функционирования процесса СМК. Коэффициент 0,2 введен для перехода от пятибалльной шкалы оценок для отдельного критерия качества процесса к 100-балльной шкале оценок для  $R_j$ .

При выполнении всех плановых показателей критериев качества процесса ( $c_{ij} = c_{ij \max} = 5$ )

$$R_j = R_{j \max} = 0,2 \sum_{i=1}^{n_j} 5 \cdot w_{ij} \cdot 100 = 100.$$

В остальных случаях  $R_j$  принимает значения от 0 (все  $c_{ij} = 0$  – процесс функционирует нерезультативно) до 100. Промежуточные значения указывают на частичную результативность функционирования процесса.

3/ Определим диапазон оценки

$$S = 0 \dots 100.$$

$S$  может принимать значения в диапазоне от 0 до 100 и вычисляется по формуле, приведенной ниже.

Установим ограничение для значений весовых коэффициентов  $v_j$ :

$$\sum_{j=1}^m v_j = 1. \quad (2)$$

Количественную оценку результативности функционирования СМК в целом ( $S$ ) будем рассчитывать по формуле

$$S = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m R_j \cdot v_j.$$

При успешном функционировании всех процессов СМК

$$R_j = R_{j_{\max}} = 100.$$

В этом случае

$$S = S_{\max} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 100 \cdot v_j = \frac{m \cdot 100}{m} = 100.$$

В остальных случаях СМК функционирует нерезультативно, причём значение оценки результативности лежит в пределах от 0 до 100.

### **2.5. Правила внесения изменений в методику количественной оценки результативности СМК.**

В рамках работ по улучшению СМК возможны изменения, влияющие на расчёты по результативности функционирования процессов СМК и СМК в целом (изменение перечня процессов СМК, изменение перечней критериев оценки качества процессов СМК, изменение весовых коэффициентов для критериев качества процессов СМК либо для самих процессов СМК).

Вне зависимости от этих изменений оценка результативности СМК должна проводиться по одной шкале и методика должна сохранять свою целостность.

1. В случае изменения перечня критериев оценки качества процесса СМК коэффициенты весомости  $w_{ij}$  переопределяются таким образом, чтобы соблюдалось равенство (1).

2. В случае изменения перечня процессов СМК  $v_j$  переопределяются таким образом, чтобы соблюдалось равенство (2).

3. В случае изменения весового коэффициента  $w_{ij}$  для хотя бы одного критерия оценки качества процесса весовые коэффициенты  $w_{ij}$  для остальных критериев оценки качества процесса корректируются таким образом, чтобы соблюдалось равенство (1).

4. В случае изменения весового коэффициента  $v_j$  хотя бы для одного процесса СМК весовые коэффициенты  $v_j$  остальных процессов СМК корректируются таким образом, чтобы соблюдалось равенство (2).

## **3. Перспектива**

### **Анализ динамики изменения результативности процессов СМК и всей СМК в целом.**

Данные о результативности однозначны и единообразны для всех процессов СМК. Это позволяет проводить анализ динамики изменения результативности процессов СМК и всей СМК в целом, в том числе с использованием статистических методов высокого уровня. Сравнительному анализу подлежат:

- оценка результативности функционирования СМК  $S$  – для анализа динамика изменения результативности функционирования всей СМК в целом;
- оценка результативности функционирования процесса СМК  $R_j$  – для анализа динамики изменения результативности функционирования каждого процесса СМК;
- значения оценок результативности выполнения критериев качества процессов СМК  $c_{ij}$  – для оценки результативности корректирующих и предупреждающих мероприятий и мероприятий по улучшению процессов СМК.

В качестве целей анализа можно принять:

- оценку результативности корректирующих и предупреждающих мероприятий и действий по улучшению процессов СМК;
- оценку соответствия выбранных критериев качества процессов СМК задачам оценки результативности их функционирования;
- поиск дополнительных путей улучшения процессов СМК.

#### 4. Выводы

Предложена методика количественной оценки результативности отдельных процессов СМК и СМК в целом. Методика позволяет проводить мониторинг и измерение процессов СМК, а также оценивать результативность корректирующих и предупреждающих мероприятий, направленных на обеспечение и улучшение функционирования процессов.

## СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ

В.Л.Бриль, зам. директора по качеству УП «МЗКТ»

Сегодня множество предприятий имеет систему менеджмента на основе критериев, сертифицированную по ИСО 9001 систему управления качеством, а с удачно складывающейся менеджмента качества, в том числе и по конъюнктуре рынка. Но рынок изменчив, с 2000 года. Однако далеко не все из них требования постоянно меняются. Эти требования выглядят преуспевающими. Более того, хорошо иллюстрирует модель Кано, счастливое благополучие отдельных из них приведенная на рис. 1. правильное связывать не с успешным разви-

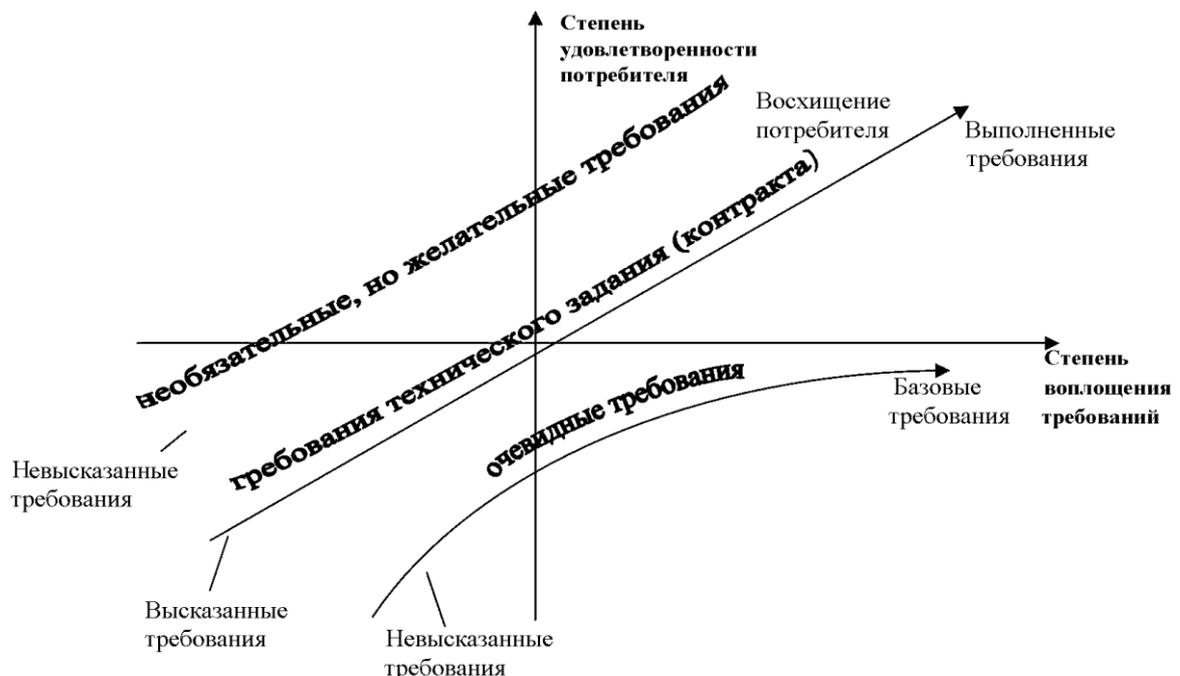


Рис. 1. Модель Кано

Как видно из рисунка, все требования потребителей разбиты на три категории.

I категория – очевидные требования.

Например, автомобиль должен иметь возможность менять направление движения или останавливаться в нужном месте.

Такого рода требования обычно не высказываются ввиду их очевидности.

II категория – высказанные требования.

Эти требования, как правило, записываются в техническом задании, контракте, а также присутствуют в нормативных документах. Например, требования к радиусу поворота автомобиля, тормозному пути, наличию антиблокировочной системы и т.д.

III категория – невысказанные требования.

Эти требования не обязательны, но желательны для потребителя. Потребитель может даже не подозревать о возможности выполнения тех или иных дополнительных функций, не являющихся обязательными, но призванных его приятно удивить, вызвать его «восхищение».

Например, наличие у туристического автобуса задних управляемых колес, позволяющих почти в два раза сократить радиус поворота, двигаться «крабом» и, как следствие, резко увеличивающих маневренность автобуса в условиях ограниченного пространства при парковках.

В новой версии стандартов ИСО 9000 появились такие понятия, как класс и градация. «Восхищение» потребителя могут вызвать определенные свойства продукции, которые присутствуют в ней, но характерны для продукции более высокого класса.

Требования потребителя динамичны и меняются со временем. Поэтому требования из третьей категории могут перейти во вторую и даже в первую. Значит, организация, ориентирующаяся на кратковременный успех и не развивающая систему менеджмента, в скором времени может разделить судьбу неудачников.

Однако, как это ни парадоксально, качество продукции – не самоцель организации.

Приведем известную «Цепную реакцию Деминга».

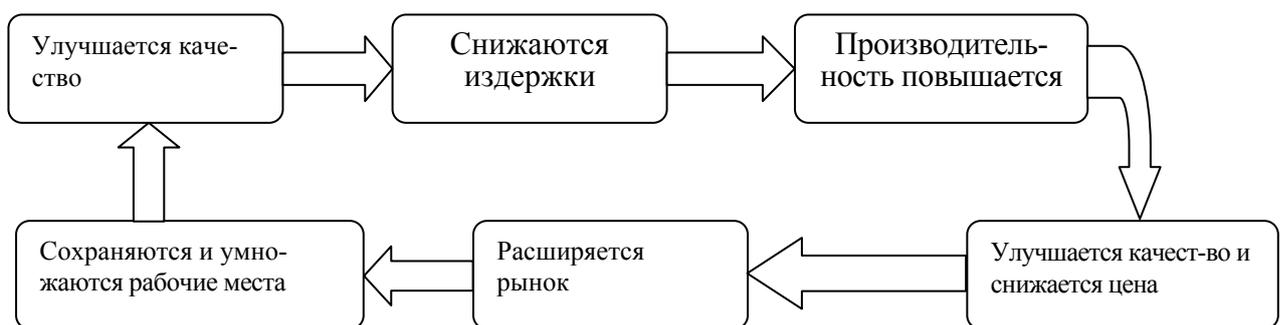


Рис. 2. Цепная реакция Деминга

Здесь не учитывается, как представляется, один очень важный фактор, а именно то, что высокое качество, в современном понимании этого слова, требует значительных затрат и оптимальный уровень качества продукции

определяется в конечном итоге экономической целесообразностью. Цепная реакция влияния качества продукции на эффективность предприятия представлена на рис. 3.



Рис. 3. Цепная реакция влияния качества продукции на эффективность предприятия.

Конкурентоспособность продукции может зависеть от многих факторов, но основным является соотношение цены и качества. Зависимость кон-

курентоспособности продукции от соотношения цены и качества приведена в виде графика на рис. 4.

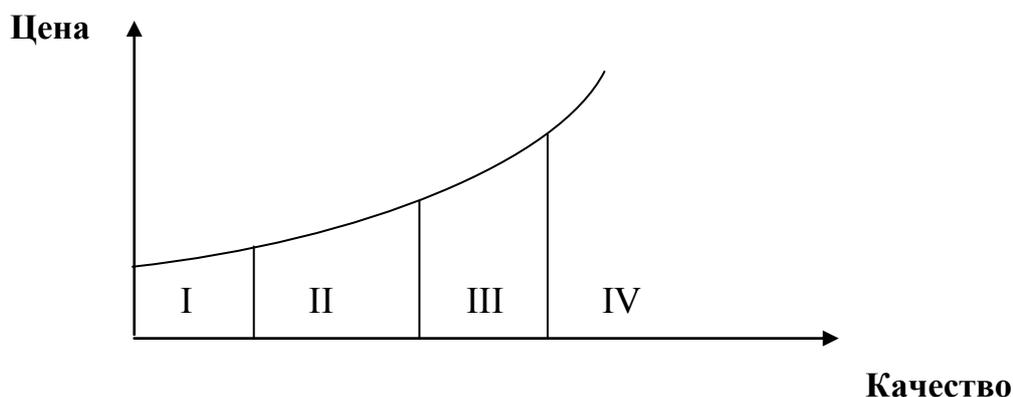


Рис. 4. Зависимость конкурентоспособности продукции от соотношения цены и качества

I – зона неконкурентоспособной продукции (низкая цена – низкое качество. Продукция не отвечает требованиям потребителей).

II – зона конкурентоспособной продукции (умеренная цена – качество, отвечающее минимальным требованиям рынка).

III – зона конкурентоспособной продукции (высокая цена – высокое качество, вызывающее «восхищение» потребителя).

IV – зона неконкурентоспособной продукции (чрезмерно высокая цена – высокое качество. Потребитель не готов платить такую цену).

Казалось бы, что интересы организации и потребителя прямо противоположны. Потребитель заинтересован купить продукцию более высокого качества по возможно низкой цене, а организация – продать ему продукцию как можно дороже. На самом деле в плане долгосрочного сотрудничества интересы организации-поставщика и потребителя совпадают. Организация стремится сохранить и увеличить число своих потребителей, предлагая им конкурентоспособную продукцию, потребитель, покупая эту продукцию, обеспечивает основу устойчивости организации, в чем он также заинтересован.

Потребитель, заключая с организацией договор (контракт), хочет быть уверенным в том, что он в установленные сроки получит продукцию, характеристики которой не ниже оговоренных в документах на поставку. Такую уверенность можно получить, сотрудничая с устойчивой организацией, т.е. организацией, получающей прибыль от своей деятельности. При этом размер прибыли должен быть достаточным для осуществления четырех основных функций: мотивации персонала, технического перевооружения, научно-исследовательских и поисковых работ и создания резервного фонда. Схематично связь "прибыль – долгосрочное сотрудничество" показана на рис. 5.

Система мотивации персонала необходима в первую очередь для закрепления и привлечения квалифицированных кадров. Известен лозунг "Кадры решают все". В недооценке данного принципа кроются причины неудач многих отечественных предприятий. Слабое предприятие, обладающее квалифицированным персоналом, выйдет из кризиса, и, наоборот, предприятие, обладающее хорошим оборудованием, непременно зачахнет, если ему не удастся сохранить квалифицированные кадры. В первую очередь это касается руководителя организации, т.к. он стоит в основании "кадровой пирамиды" и одна из основных его функций – правильная расстановка кадров. Желание многих руководителей «дешево решить кадровую проблему» обходится предприятию слишком дорого в прямом и в переносном смысле этого слова. Вспомним Деминга: «Цена ничего не значит, если не ясно, какое за ней сто-

ит качество». Этот принцип полностью применим ко всем закупаемым ресурсам.

Техническое перевооружение необходимо осуществлять постоянно. Часто приходится наблюдать картину, когда предприятия, испытывающие финансовые трудности, не вкладывают средства в оборудование и инфраструктуру. Такие предприятия ждут смерть, так как физический и моральный износ оборудования, зданий, технологий в скором времени непременно даст о себе знать.

Создание задела перспективных проектов связано непосредственно с удовлетворенностью потребителя. Поскольку конкурентоспособность продукции не есть величина постоянная, то, не имея таких заделов, организация рискует "неожиданно" остаться без потребителей.

Поскольку каждая организация находится внутри макроэкономической среды, она не может не зависеть от нее. Резервный фонд служит своеобразным амортизатором в кризисных ситуациях. Причем резервный фонд может находиться в различных видах и состояниях.

Итак, устойчивость предприятия в первую очередь зависит от потребителя, ибо только он может принести прибыль, покупая продукцию. Но потребитель, находящийся в рыночном пространстве, имеет выбор, и организация должна бороться за потребителя, то есть делать все, чтобы потребитель был удовлетворен качеством приобретаемой продукции.

Для того, чтобы добиться устойчивости, организация должна развивать систему менеджмента.



Система менеджмента организации может состоять из нескольких или множества подсистем, одной из которых (очень важной) является система менеджмента качества (СМК). Стандарт МС ИСО 9001 и его национальные аналоги, на соответствие требованиям которых осуществляется сертификация СМК, определяют лишь минимальные требования к системе. Формальное выполнение этих требований часто позволяет организации получить сертификат, не повышая эффективности организации. Да и сам стандарт, если посмотреть на область его применения, предназначен для целей демонстрации соответствия требованиям, а также повышения удовлетворенности потребителей, что лишь в некоторой степени соответствует одному из ключевых принципов TQM – «фокус на заказчика».

Поэтому организация, которая хочет быть эффективной и устойчивой при построении СМК должна ориентироваться на требования и рекомендации семейства стандартов ИСО серии 9000. Фундаментом этих стандартов являются 8 принципов менеджмента качества. Несмотря на то, что в стандартах эти принципы приведены в определенной последовательности, они равнозначны, и игнорирование любого из них может иметь для предприятия самые негативные последствия. Принципы менеджмента качества взаимосвязаны и влияют друг на друга и в этом смысле являются элементами системы, которая схематично представлена на рис. 6.

Известно, что недоразвитие или отсутствие элементов системы ведет к ее изменению или разрушению.

Рамки данной статьи не позволяют углубляться в подробный анализ недостатков в развитии каждого из 8 принципов в СМК предприятий на постсоветском пространстве, а также в причи-

ны такого положения. Кратко остановимся лишь на некоторых взаимосвязях. Например, как связаны между собой лидерство и процессный подход.

Часто лидера отождествляют с руководителем. В принципе это правильно, и в большинстве случаев лидер является руководителем, однако это руководитель несколько иной формации по сравнению с той, к которой мы все так привыкли.

Авторитет лидера формируется не за счет страха, который вселяется в персонал, а за счет высокой компетентности, ума, умения разъяснить свою точку зрения, умения убеждать. Естественно, что и «владелец процесса» должен быть лидером. Ведь «владелец процесса» – это человек, обладающий знаниями о процессе, получающий информацию о процессе и имеющий ресурсы и полномочия для влияния на ход процесса и его результаты.

На практике «владельцем процесса» нередко назначают одного из высших руководителей, которому административно подчинены функциональные подразделения, участвующие в процессе. При этом зачастую он обладает поверхностными знаниями о процессе, владельцем которого является, и не обладает необходимыми ресурсами для воздействия на ход и результаты процесса. Конечно, такой человек не может быть лидером, т.к. сам не знает, а часто и не понимает, как правильно организовать процесс.

Он не может быть тренером для участников процесса, не может дать рекомендации по улучшению, но требует выполнения тех или иных показателей, часто вообще не зависящих от участников данного процесса. В таком случае он вместо лидера превращается в обыкновенного начальника, использующего административный ресурс.

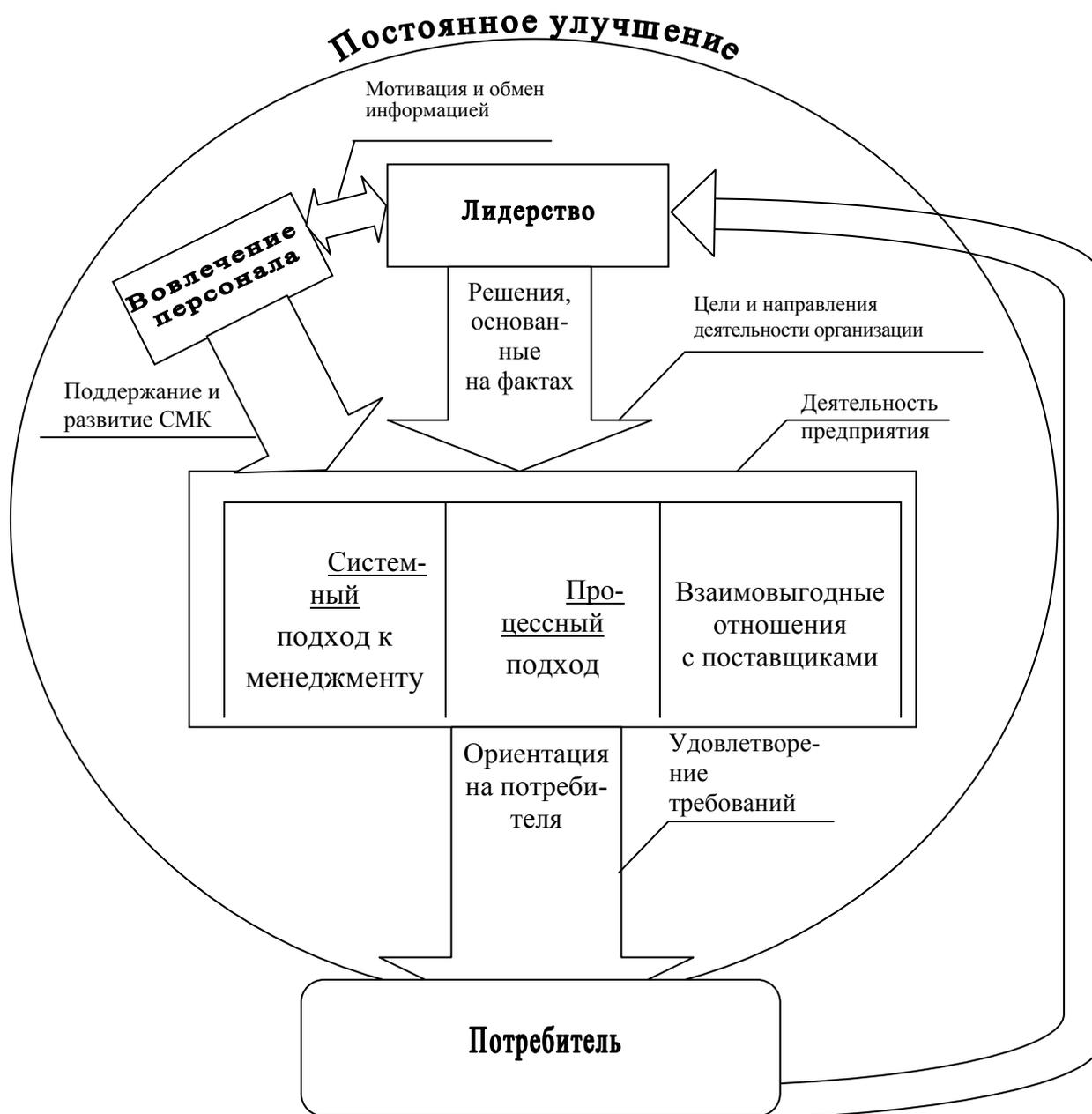


Рис. 6. Система принципов менеджмента качества

При этом он также не взаимодействует с владельцами процессов-поставщиков и процессов-потребителей. В этом случае процессный подход существует в лучшем случае только в виде описания, но реально отсутствует на практике.

Существует взаимосвязь между лидерством и вовлечением персонала, а также другими принципами МК.

Любая деятельность в организации, основанная на тех или иных принципах, осуществляется персона-

лом. Без вовлечения персонала эта деятельность имеет тенденцию к затуханию вследствие сопротивления развитию и изменениям подобно автомобилю, теряющему скорость при нажатой педали тормоза. Для вовлечения персонала очень важны такие факторы, как мотивация и обмен информацией между исполнителями и лидерами. Решения руководителя должны исполняться, но на стадии принятия решения они должны обсуждаться. Для того, чтобы квалифицированно об-

суждать то или иное решение, персонал должен обладать необходимой информацией. Задача руководителя-лидера – довести необходимую информацию до персонала и организовать обсуждение поступающих предложений. Необходимо в корне изменить сложившуюся систему проведения совещаний. К ним должны готовиться не только непосредственные докладчики, но и все присутствующие на совещании. Причем проходить совещания должны в атмосфере крайней доброжелательности, заставлять людей творчески подойти к проблеме. При этом возможно применение различных техник качества, например, метода мозгового штурма. Но все это под силу руководителю-лидеру и совершенно невозможно для руководителя – начальника старой формации.

Необходимо также отметить, что для успешной деятельности организации необходимо развивать не только СМК, но также и другие системы менеджмента, помня о том, что все они также образуют систему общего менеджмента организации (применение системного подхода в рамках организации). Существует еще один путь – распространить СМК на все виды дея-

тельности организации, но тогда можно будет говорить о том, что организация осуществляет переход к TQM, что для большинства организаций постсоветского пространства в настоящее время представляется нереальным.

Однако, несмотря на очевидные трудности, движение вперед возможно. Недаром Э.Деминг назвал основной труд своей жизни «Выход из кризиса». Мнение о том, что СМК нужно развивать после преодоления кризиса, глубоко ошибочно. Это все равно, что пытаться занять достойное место на соревнованиях пловцов-профессионалов, не умея плавать.

Сейчас много спорят о том, какая тактика лучше: мелких или крупных шагов. Наверное, для наших предприятий предпочтительной является тактика мелких шагов, так как она менее революционна и предполагает плавный эволюционный путь развития. Главное, чтобы эти шаги были сделаны в правильном направлении и вели предприятие к цели, которую необходимо четко перед собой поставить на основе развития стратегического маркетинга и тесно связанного с ним стратегического планирования.

## Л и т е р а т у р а

1. Деминг Э. Выход из кризиса. – Тверь: Альба, 1994.
2. Лapidус В.А. Всеобщее качество (TQM) в российских компаниях. – М.: ОАО "Типография «Новость»", 2000.
3. Лapidус В.А., Рекшинский А.Н. Диалог консультанта с руководителем компании. – 2-е изд. – Н. Новгород: СМЦ «Приоритет», 2001.
4. Корольков В.Ф., Брагин В.В. Процессы управления организацией. – Ярославль, 2001.
5. Гровер Р., Уолкер Ф. Готовность к переменам. Человеческий фактор // Европейское качество. – 2004. – № 1.

## ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ТЕХНИК КАЧЕСТВА НА МИНСКОМ ТРАКТОРНОМ ЗАВОДЕ

**Л.Н.Крупец**, Минский тракторный завод;  
**А.А.Баркун**, Минский тракторный завод;  
**Г.А.Лисицкий**, Минский тракторный завод

На Минском тракторном заводе к применению статистических методов (далее – СМ) всегда относились с пониманием их важности. Работы проводились всегда, но в начальном периоде они заключались в эпизодическом применении отдельных методов энтузиастами для решения каких-то локальных задач.

В 2000 году работы активизировались в связи с внедрением стандарта ИСО 9001, который устанавливал требования к применению СМ. За период более трех лет накоплен определенный опыт. Завод прошел этапы осознания и начала промышленного применения СМ.

В работе сделана попытка обобщить опыт МТЗ по следующим основным блокам:

А – тактика внедрения.

Б – повышение квалификации персонала;

В – освоение методов и техник качества;

Г – расширение применения методов и техник качества;

Д – организация мониторинга;

Е – выпуск методических документов.

### ***А – ТАКТИКА ВНЕДРЕНИЯ***

#### **2000 - 2001 годы**

До 2000 года работы возглавляет служба качества. Разработан стандарт предприятия, но он не работает в серийном применении, проводится единичное опробование контрольных карт, индексов  $S_m$ ,  $S_{mk}$  и диаграмм Парето в ОТК, ОГТ и двух цехах. С 2000 года работы возглавила служба

технического директора. Основной центр переместился в отдел главного технолога.

Принимается решение о применении СМ поэтапно, с опробованием и последующим расширением применения. Создан консультационный центр в ОГТ по практическому применению СМ. Запуск работ осуществляется распоряжениями технического директора и главного технолога.

Внедрена оценка поставщиков, при которой применяются СМ.

Активизировались отдельные инженеры, однако начальники бюро, руководители практически не участвуют в работах.

#### **2002 год**

Принимается решение о составлении перечней объектов, подлежащих статистическому управлению, в качестве основы планирования. В перечни объектов, подлежащих статистическому управлению, включаются параметры, значимые и влияющие на безопасность, вводится требование по идентификации стабильных процессов.

Индексы возможностей оборудования  $S_m$ ,  $S_{mk}$  начинают планироваться на уровне завода по норме не менее 1,33. Разработаны показатели, характеризующие применение СМ (коэффициент стабильности технологических процессов  $K_c$ , коэффициент точности технологического оборудования  $K_{об}$ ).

Активизированы многие инженеры, отдельные начальники бюро, руководители начинают участвовать в работах.

### **2003 год**

Показатели, связанные с применением СМ, включаются в состав показателей процесса «Технологическая подготовка производства» и участвуют как составная часть уровня технологического процесса. Принимается решение об ориентации СМ на выполнение требований потребителей, вводится норма на показатели  $C_p$ ,  $C_{pk}$  не менее 1,33. В перечни объектов, подлежащих статистическому управлению, включаются параметры, значимые для потребителей как внутренних, так и внешних по отношению к заводу.

Ставятся вопросы о полезности применения СМ:

- обосновываются проблемы при выборе параметров для постановки на статистическое управление;
- начинается подсчет эффекта от применения СМ.

Активизирован основной инженерный состав, начальники основных бюро, руководители технологических отделов.

### **Б – ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА**

#### **2000 - 2001 годы**

Проведено обучение 44 менеджеров по 80-часовой программе применения статистических методов и техник качества. Проведено обучение группы руководителей отделов и их заместителей (25 чел.) основам статистики и семи простым методам по 20-часовой программе. Проведено обучение группы начальников бюро службы качества (27 чел.) основам статистики и семи простым методам по 32-часовой программе.

Проведено обучение группы начальников конструкторских и испытательных бюро (30 чел.) основам статистики и семи простым методами по 40-часовой программе с освоением

конкретных задач (расчет оптимальных конструкторских допусков и оценка результатов испытаний).

#### **2002 год**

Проведено обучение группы начальников технологических бюро (35 чел.) основам статистики и семи простым методам по 32-часовой программе с освоением конкретных задач (определение стабильности и воспроизводимости технологических процессов).

#### **2003 год**

Проведено обучение двух групп инженеров-технологов (55 чел.) основам статистики и семи простым методами по 20-часовой программе (определение стабильности и воспроизводимости технологических процессов, анализ технологических процессов). Проведено обучение группы начальников цехов и их заместителей (18 чел.) основам статистики и семи простым методами по 12-часовой программе.

### **В – ОСВОЕНИЕ МЕТОДОВ И ТЕХНИК КАЧЕСТВА**

#### **2000 - 2001 годы**

Внедрены контрольные карты для количественного признака. Внедрена проверка возможностей технологического оборудования с применением индексов  $C_m$ ,  $C_{mk}$ . Внедрены диаграмма Парето и причинно-следственная диаграмма для анализа процессов. Проведен анализ измерительных систем в четырех цехах завода. Внедрен анализ FMEA-конструкции.

Внедрены индексы  $C_p$ ,  $C_{pk}$  для оценки поставщиков.

#### **2002 год**

Внедрены контрольные карты для альтернативного признака и экспертные методы оценки. Выработаны подходы к внедрению СПК на базе СТБ ГОСТ Р 50779.

### **2003 год**

Внедрен анализ временных рядов. Опробовано применение дисперсионного анализа для определения наиболее значимых составляющих конструкции, влияющих на проблему. Внедрен анализ FMEA-процесса. Внедрены индексы  $C_p$ ,  $C_{pk}$  для оценки соответствия требованиям внутренних потребителей. Опробованы методы командной работы при решении конкретных технических проблем предприятия.

## **Г – РАСШИРЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ И ТЕХНИК КАЧЕСТВА**

### **2000 - 2001 годы**

Внедрение контрольных карт для оценки стабильности техпроцессов начато в четырех механических цехах. В конце года применение контрольных карт для оценки стабильности техпроцессов расширено на 8 цехов. Внедрение индексов возможностей оборудования  $C_m$ ,  $C_{mk}$  для поверки на технологическую точность начато в двух механических цехах.

Анализ FMEA-конструкции проведен под наблюдением внешнего консультанта. Анализ измерительных систем проведен в четырех цехах без принятия мер по улучшению измерительной системы. Диаграммы Парето и причинно-следственные диаграммы применяются эпизодически в двух цехах.

### **2002 год**

Применение контрольных карт для оценки стабильности техпроцессов практикуется в десяти цехах, охватывающих процессы механосборки и холодной штамповки (всего 44 процесса). Применение индексов возможностей оборудования  $C_m$ ,  $C_{mk}$  для поверки на технологическую точность практикуется в шести механических цехах (проверено 34 единицы).

Анализ измерительных систем в одном из цехов завершился доводкой системы (R&R снижен с 70 до 20%). Внедрены экспертные методы для определения коэффициентов весомости при выборе объектов FMEA. Диаграммы Парето и причинно-следственные диаграммы применяются самостоятельно в шести цехах.

### **2003 год**

Применение контрольных карт для оценки стабильности техпроцессов практикуется в десяти цехах, охватывающих процессы механосборки, холодной штамповки и нанесения гальванических покрытий (всего 248 процессов). Применение индексов возможностей оборудования  $C_m$ ,  $C_{mk}$  для поверки на технологическую точность практикуется в семи механических цехах (проверено 123 единицы).

Анализ FMEA-конструкции проводится конструкторами самостоятельно (определены пути решения нескольких наиболее значимых проблем конструкции). Проведен анализ FMEA-процесса по проблеме изготовления крышки переднего ведущего моста. Внедрены экспертные методы для определения коэффициентов весомости показателей процессов в СМК. Внедрен анализ показателей процесса «Проектирование, разработка и подготовка производства» (анализ Парето, причинно-следственная диаграмма, временные ряды). Проведен дисперсионный анализ параметров деталей гидроподъемника, определены среди множества деталей 4 наиболее значимые; принятие решения по ним практически исключило проблемы узла.

## **Д – ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА**

### **2000 - 2001 годы**

Эпизодический выпуск распоряжений и протоколов совещаний у

главных специалистов МТЗ и контроль их исполнения.

#### **2002 год**

Проведение совещаний у главного технолога 1 раз в квартал с выпуском протоколов и контроль их исполнения. Проведение совещаний у технического директора с выпуском протоколов и контроль их исполнения. Внедрение анкетирования персонала с целью получения обратной связи по применению СМ.

Принимаются задачи на год в области применения СМ.

#### **2003 год**

Проведение совещаний у главного технолога 1 раз в месяц с выпуском протоколов и контроль их исполнения (вопросы применения СМ рассматриваются в составе показателей процессов). В практику вводятся итоговые годовые совещания по применению СМ, вся текущая работа выполняется в технологических бюро и сопровождается руководителями отделов.

### ***Е – ВЫПУСК МЕТОДИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ (перечислены их названия)***

#### **2000 - 2001 годы**

Стандарт предприятия «Выбор и применение статистических методов».

Инструкция системы качества «Применение статистических методов».

Методика постоянного совершенствования технологических процессов. Общие положения.

Методика постоянного совершенствования технологических процессов. Применение контрольных карт.

Методика постоянного совершенствования технологических процессов. Применение индексов воспроизводимости процессов  $C_p$ ,  $C_{pk}$  и индексов возможностей оборудования  $C_m$ ,  $C_{mk}$ .

Методика проведения FMEA-анализа конструкции.

Методика оценки поставщиков.

#### **2002 год**

Инструкция системы качества «Статистическое управление процессами».

Рекомендации по применению статистических методов в технологических процессах механообработки.

Рекомендации по применению статистических методов в технологических процессах механосборки.

Рекомендации по применению статистических методов в технологических процессах холодной штамповки.

Рекомендации по применению статистических методов в технологических процессах гальваники и окраски.

Рекомендации по применению статистических методов в технологических процессах сварки.

#### **2003 год**

Инструкция системы качества «Управление процессами в термическом производстве».

Рабочая инструкция по проведению FMEA-анализа конструкции.

Рабочая инструкция по проведению FMEA-анализа процессов.

### ***УРОКИ ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ***

#### **Уроки 2001 года**

1. Без обучения руководителей (с особым упором на мотивацию) внедрение СМ не идет.

2. Переход активного центра по применению СМ из службы качества в технические службы оказался правильным, применение должно быть в первую очередь там, где решают проблемы.

3. Основной упор на техпроцессы и их стабильность при применении СМ оказался правильным.

4. Применение СМ должно начинаться с нескольких точек и постоянно расширяться, путем проведения анализа хода работ и постоянного информирования о результатах.

5. Уровень документа не играет роли при применении СМ; так, СТП и инструкции системы качества не работали, пока не вышли методики применения СМ на конкретных местах.

6. Сознание персонала трансформируется в сторону восприятия СМ постепенно, начиная снизу, с инженеров на местах.

7. Анализ измерительных систем показал наличие проблем с обеспечением соответствия параметра R&R.

8. Внедрение методов оценки поставщиков является затруднительным. Несмотря на наличие методик, работа продвигалась крайне медленно. Это связано с отношением к данному вопросу высших руководителей предприятий.

9. Для продвижения дела внедрения СМ на технологических процессах требуется постоянно занятый в этом специалист, желательно профессионал в области качества, а также содействие руководства технологической службы.

**Вывод: 2001 год ушел на то, чтобы привыкнуть, что СМ есть и ими надо заниматься.**

#### Уроки 2002 года

1. Подписи начальников цехов и главных специалистов на контрольных картах носят зачастую формальный характер, они пока еще не готовы к принятию мер по улучшению.

2. Механическая служба становится сторонником применения СМ в форме индексов  $C_m$ ,  $C_{mk}$ , что связано с увеличением возможностей для маневра при проведении обслуживания оборудования.

3. Наблюдается подключение к работам руководителей отделов.

4. Проводится анкетирование начальников технологических бюро, которое показало:

- пользу от СМ ощутили 67% начальников бюро;

- время, которое они уделяют этому, – от 5 % до 20 %

**Вывод: 2002 год – год начала осознанного применения СМ.**

#### Уроки 2003 года

1. После того, как основной персонал освоил понятие стабильности процессов, приходит понимание нацеленности на потребителей; введена оценка соответствия процессов требованиям потребителей с помощью индексов  $C_p$ ,  $C_{pk}$ .

2. СМ вписались гармонично в процессы менеджмента в свете ИСО 9001.

3. Руководители отделов отчитываются лично за выполнение показателей, связанных с применением СМ.

4. Начинает ощущаться польза от применения более глубоких исследований процессов с применением дисперсионного анализа.

5. Оценены результаты применения СМ в технологической службе:

- процент сдачи продукции при приемке повысился в цехах на величину от 1,7 до 26,38 % по отдельным деталям и узлам;

- отходы производства на отдельных деталях и узлах в ряде цехов снижены на величину от 3 до 30 %;

- повышена технологичность изготовления ряда деталей;

- снижены рекламации по отдельным направлениям.

**Вывод: 2003 год – год осознанного применения СМ с пользой для предприятия.**

## ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ НА МИНСКОМ АВТОМОБИЛЬНОМ ЗАВОДЕ

**В.Н.Русецкий**, главный метролог РУП «МАЗ»

В настоящее время Минский автомобильный завод (МАЗ) выпускает более 150 моделей и модификаций грузовых автомобилей тяжёлого класса (полной массой свыше 16 тонн), прицепы и полуприцепы, автобусы и является одним из крупнейших производителей грузовой автомобильной техники в СНГ. Вся выпускаемая продукция имеет сертификаты на соответствие международным стандартам по экологии, безопасности и шуму. Производство автомобилей и автобусов имеет международный сертификат соответствия системы управления качеством ISO-9001. С декабря 2002 года МАЗ перешел на выпуск автомобилей, соответствующих требованиям Евро-1 и Евро-2, в этом году осваивается в серийном производстве уже шестое поколение грузовых автомобилей, соответствующих требованиям Евро-3.

Для обеспечения производства автомобильной техники МАЗ располагает необходимым количеством и номенклатурой средств контроля, измерений и испытательного оборудования. Традиционно в технологиях производства деталей и узлов передней подвески, заднего моста, коробки перемены передач автомобилей семейства МАЗ широко применяются специальные средства контроля – калибры для валов и отверстий (калибры гладкие, резьбовые, шлицевые). Применение калибров оправдано в крупносерийном и серийном производстве при операционном и приёмочном контроле. В текущем году на заводе применяется более 200 тысяч калибров и количество их ежегодно растёт, так как постоянно растёт количество вы-

пускаемых моделей и модификаций автомобильной техники. При таком количестве средств контроля важно рационально управлять ими на каждом этапе жизненного цикла – от проектирования, изготовления до списания и утилизации. Для обеспечения в процессе эксплуатации идентификации и прослеживаемости средств контроля (СК) каждому из них при выпуске из производства присваивается оригинальный идентификационный номер, по которому метрологическая служба предприятия осуществляет постановку их на учёт, поверку и дальнейшее управление. Процедура регламентирована стандартом предприятия СМК 02-2004 «Управление устройствами для мониторинга и измерений». Результаты поверки заносятся в технический паспорт на СК, на основании этих же данных формируется график поверки и дальнейшего движения СК.

Такой порядок учёта и контроля СК подтвердил свою работоспособность на протяжении десятков лет, однако сейчас, во время бурного развития информационных технологий мы переходим на современную систему управления всем парком применяемых на заводе средств измерений (СИ). На МАЗе разработана система автоматизированного проектирования СК, позволяющая оптимизировать номенклатуру, исключить повторное проектирование калибров, что имело место при традиционном проектировании. После изготовления СК в инструментально-штамповом производстве осуществляется постановка их на компьютеризованный учёт, автоматически формируется график поверки,

что облегчает процесс управления СК в каждом отдельно взятом подразделении. Для обеспечения централизации управления СИ, СК по всему заводу необходимо включение всех контрольно-поверочных пунктов метрологической службы в общезаводскую компьютерную сеть. Сеть позволяет видеть, в каком подразделении конкретный инструмент длительное время не востребован, в то время как для другого подразделения открывается срочный заказ на изготовление СК этого же наименования. Станет возможным оперативно использовать невостребованный резерв СК, что позволит оптимизировать как номенклатуру, так и количество применяемых калибров, чем значительно снизить затраты на себестоимость продукции. Проблемы рационального управления большими массивами СИ, СК имеются и на других крупных предприятиях машиностроительного комплекса республики.

Ещё одним из важных рычагов оптимизации может стать применение калибров с поверхностным упрочнением. Известно, что проходной калибр работает на износ до достижения предела износа, после чего калибр бракуется. В наших условиях часть калибров отправляется на переделку для повторного использования, остальные утилизируются. Экспериментальное применение калибров с поверхностным упрочнением рабочей части показало увеличение их износостойкости и долговечности в 3 – 5 раз. При больших количествах применяемых калибров и относительно невысокой себестоимости поверхностного упрочнения экономический эффект может составить внушительную сумму.

МАЗ неуклонно следует принятой политике в области качества и ориентирован на потребителя. Для удовле-

творения потребностей рынка, требований заказчика, знакомого с потребительскими свойствами других известных производителей автомобильной техники, МАЗ постоянно обновляет модельный ряд грузовых автомобилей, автобусов, способных эффективно работать в разных климатических зонах – и в условиях жаркой пустыни, и на крайнем Севере. Производство новых моделей автомобилей не всегда обеспечено традиционной контрольной оснасткой, более жёсткие технические условия зачастую невозможно проконтролировать с заданной точностью широко распространёнными универсальными средствами измерений. Это потребовало от нас внедрения новых методов и средств контроля. Так, в рамках гибкой производственной системы в цехе корпусных деталей механосборочного производства введена в действие координатная измерительная машина «DEA-GHIBLI 26-12-10» для контроля деталей картера редуктора, главной пары, заднего и среднего мостов, раздаточной коробки и коробки перемены передач и т.д. В цехе передней подвески в составе автоматической линии для производства и контроля деталей передней подвески введена координатная измерительная машина «ZEISS-ECLIPSE 7-10-6», в инструментально-штамповом производстве внедрена координатная измерительная машина «Coord 3 – Horizon» для контроля штампов и прессформ, а также деталей новой кабины. Применение названных координатно-измерительных машин позволило оперативно производить подналадку станков с ЧПУ при постановке на производство новых изделий, при смене или переточке режущего инструмента, значительно сократилось время на проведение контрольных операций, повысилась достоверность результатов контроля. Кроме того, отпала необходи-

мость изготовления высокоточной дорогостоящей специальной контрольной оснастки.

Первоначальную наладку и юстировку с высокой точностью станков с ЧПУ и обрабатывающих центров при вводе их в эксплуатацию позволили производить такие приборы, как лазерный интерферометр и система оперативной диагностики и наладки станков с ЧПУ – так называемой “ball-bar system”.

Применение новых средств измерений позволило значительно повысить геометрическую точность и качество самих корпусных и картерных деталей. Но нам ещё много предстоит сделать для приведения в соответствие требованиям Евро-2 и Евро-3 уровня шума зубчатых передач (бортовой передачи, главной пары, нового гипоидного редуктора и т.д.). Известно, что отклонение зуба от заданного направления влияет на высокочастотную составляющую спектра уровня шума зубчатой пары, отклонения формы профиля зуба и межосевого расстояния – на низкочастотную составляющую. Для оценки и последующего уменьшения указанных погрешностей и минимизации шума

зубчатых передач был приобретён зубоизмерительный прибор DO-3PC для поэлементного контроля параметров цилиндрических зубчатых зацеплений – колес зубчатых и валов-шестерён. Прибор выдаёт результаты измерений в виде протоколов в цифровой и графической форме. Протоколы удобны для прочтения и применения при наладке зубообрабатывающего оборудования.

В результате проведенных работ значительно снижен шум, уменьшена кинематическая погрешность, улучшена плавность хода цилиндрических зубчатых передач внешнего зацепления. Остаются нерешенными вопросы измерения некоторых геометрических параметров коронной шестерни (внутреннего зацепления) бортовой передачи. Отечественные приборостроительные предприятия подобных средств измерений не производят, а импортные приборы необоснованно дороги. Следует проанализировать возможность производить аналоги этих приборов или оригинальные СИ аналогичного назначения, что вполне реально при наличии мощного научного потенциала в лице БНТУ и нашей производственной базы.

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА МТЗ

**Н.И.Филимоненко, главный метролог УЮТ РУП "МТЗ"**

Выпуск продукции, которая была бы конкурентоспособной на мировых рынках, является основной задачей любого предприятия. Для этого необходимо обеспечить выполнение следующих требований:

- высокий уровень качества производимой продукции;

- цена продукции должна быть доступна для покупателя;
- продукция должна предлагаться потребителю в любое время, когда на нее есть спрос.

Для обеспечения выпуска качественной продукции на предприятиях применяются различные системы управления качеством продукции. Для

гарантии потребителю, что продукция качественная, необходимо, чтобы была внедрена на предприятии одна из признанных и применяемых в мире систем менеджмента качества, которая бы соответствовала требованиям одному из семейств стандартов: ИСО 9000, QS 9000 или TQM.

Важную роль в достижении целей в области качества играет эффективная система управления средствами мониторинга и измерений, которая обеспечивает соответствие контрольного, измерительного и испытательного оборудования, а также процессов измерений их назначению в жизненном цикле продукции на стадиях проектирования, испытания, производства и контроля.

Для обеспечения функционирования системы управления средствами мониторинга и измерений имеется ряд вопросов, на которые необходимо обратить внимание.

1. В новом предварительном государственном стандарте [1], устанавливаемом в Республике Беларусь основные термины и определения понятий в области метрологии, даны отдельные термины (неопределенность измерений и погрешность измерений, калибровка средств измерений, метрологическая аттестация средств измерений и поверка средств измерений и др.), которые требуют особого анализа при их введении в действие. Нужно отметить, что при разработке этого документа *не использовался международный словарь основных и общих терминов в области метрологии* [2], что видно из содержания "Предисловия". *Это приведет к различному пониманию требований* при решении задач создания эффективной системы управления измерениями, согласно требованиям международного стандарта [3], и управления средствами мониторинга и измерений, соглас-

но требованиям *международного стандарта* [4].

2. На данное время, видимо, лучше рассмотреть возможность поэтапного введения нового термина "неопределенность измерений", т.е. параметра, связанного с результатом измерений и характеризующего рассеяние значений, которые достаточно обоснованно могли бы быть приписаны измеряемой величине. Его изучение и применение лучше начинать по программам обучения в школах, колледжах и высших учебных заведениях и только потом использовать определение термина "неопределенность измерений" взамен "погрешности измерений" в процессе технических измерений на машиностроительных предприятиях. Нужно отметить, что в настоящее время в Республике Беларусь отсутствуют учебники, где изложены материалы по оценке неопределенности измерений, которые бы позволяли провести переподготовку работников (рабочих и специалистов), занимающихся техническими измерениями. Применение материалов, изложенных в руководстве [5], реально возможно в научно-исследовательских институтах при проведении измерений в процессе научных испытаний и исследований, но сложны для внедрения на машиностроительном предприятии, где рабочими производятся миллионы измерений в течение месяца. Требуется разработка документа, который бы устанавливал общие правила оценивания и выражения неопределенности измерений при различных уровнях точности измерений параметров продукции и являлся упрощенной версией руководства [5] для конкретных случаев применения, что и рекомендуется в разделе 1 вышеуказанного документа.

3. Есть смысл разработать документ, который бы регламентировал общие процедуры по определению пригодности для постоянного применения программных средств, используемых при измерениях и вычислениях результатов измерений в комплекте с измерительным или испытательным оборудованием, а также их документированию, идентификации и порядку управления в процессе эксплуатации. Это позволит, используя процессный подход, установить единые процедуры по подтверждению пригодности программных средств для различных типов предприятий и организаций при выполнении требований международных стандартов [3] и [4].

4. Для метрологического подтверждения пригодности контрольного, измерительного и испытательного оборудования в настоящее время осуществляется поверка, аттестация и калибровка, которые должны выполняться с соблюдением требований нормативных документов. Для обеспечения выполнения требований этих документов на конкретном предприятии необходимо обеспечить:

- наличие отдельных аккредитованных лабораторий по поверке средств измерений, калибровке средств измерений и аттестации испытательного оборудования;
- разработку пакетов организационных и методических документов по поверке, калибровке и аттестации;
- подготовку и переподготовку через 5 лет специалистов и рабочих по поверке, аттестации и калибровке;
- наличие эталонной базы для поверки и калибровки измерительного оборудования, специальных помещений и т.д.

Целесообразно рассмотреть вопрос о применении на предприятиях субъектов хозяйствования международного термина "калибровка" для

всех работ по метрологическому подтверждению пригодности измерительного оборудования (поверка, калибровка, аттестация), что будет соответствовать требованиям документов [3] и [4] и значительно упростит выполнение работ по решению задач метрологического обеспечения производства. Это также снизит "материальный и бумажный пресс" на метрологические службы субъектов хозяйствования без снижения качества работ по обеспечению единства измерений при выпуске качественной и конкурентоспособной продукции.

Создать блок методических документов по калибровке измерительного оборудования можно на базе существующих методических документов по поверке (методических указаний, рекомендаций, инструкций и т.д.), которые требуют ревизии и переработки, т.к. морально устарели.

5. Назревает необходимость изменения подхода к статусу профессии и квалификации работников, которые выполняют работы по поверке, аттестации или калибровке контрольного, измерительного или испытательного оборудования. В связи с ростом требований к данным работам, а также по аналогии с подходами в БелГИМ и региональных ЦСМ на предприятиях наиболее сложную работу должны выполнять техники или инженеры-метрологи, а не рабочие. Уровень квалификации и степень материальной заинтересованности контролера измерительных приборов и специального инструмента не всегда на данное время соответствует сложности выполняемой работы и ответственности за результаты поверки или аттестации контрольного, измерительного и испытательного оборудования.

Нужно учитывать, что проводимые изменения в области метрологических документов, положений, пра-

вил и норм, технических средств, органов и служб, применение и деятельность которых направлены на достижение и поддержание единства и требуемой точности измерений на предприятиях и в стране, должны рассматриваться с учетом экономического эффекта, т.е. должна быть прибыль, а не только затраты. Новые теоретические и научные разработки в области метрологии должны быть такого уровня, чтобы они были добровольно востребованы в процессе производства.

Приведенные выше проблемные вопросы в области терминологии и организации метрологического обеспечения вынесены для обсуждения специалистами метрологических служб и выработки корректных предложений, которые бы позволили обеспечить соответствие системы управления измерениями и системы менеджмента качества на предприятиях и в организациях требованиям международных стандартов.

### Литература

1. СТБ П 8021-2003. Система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения.
2. VIM: 1993, Международный словарь основных и общих терминов в области метрологии. BIP / IEC / IFCC / ISO / OIML / IUPAC / IUPAP.
3. ИСО 10012-2003. Системы управления измерениями. Требования к процессу измерений и измерительному оборудованию.
4. ИСО 9001-2000. Система менеджмента качества. Требования.
5. Руководство по выражению неопределенности / Пер. с англ.; Под научной редакцией проф. В.А.Слаева. – СПб.: ГП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 1999.

## ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ НА ГАЗОТРАНСПОРТНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

**В.А.Анохин**, ОАО «Белтрансгаз»;  
**А.А.Лукашевич**, ОАО «Белтрансгаз»

Открытое акционерное общество «Белтрансгаз» является правопреемником созданного в 1960 году в рамках единой газотранспортной системы Советского Союза производственного объединения «Западтрансгаз». Общество осуществляет поставку газа потребителям Республики Беларусь и транспортировку природного газа в Литву, Украину, Калининградскую область, Польшу.

Рассматривая стандартизацию как одно из основных средств рационали-

зации и управления производством, повышения качества работы, обеспечения безопасности и охраны здоровья населения, охраны окружающей среды и ресурсосбережения, на предприятии проводят систематическую работу по совершенствованию нормативной базы. Организацией и проведением данных работ занимается служба стандартизации предприятия. Она состоит из отдела стандартизации и качества, входящего в состав аппарата управления; бюро стандартиза-

ции и качества ремонтно-наладочного управления «Белгазэнергоремонт» и ответственных по стандартизации и качеству в обособленных подразделениях.

Для обновления и расширения существующей нормативной базы, обеспечивающей безопасное и эффективное функционирование газотранспортной системы, на предприятии разработана Программа стандартизации на 2001-2005 годы. В ней содержится анализ действующих на предприятии нормативных документов, выявляются научно-технические проблемы, на решение которых направлена разработка нормативных документов, и определяются работы, являющиеся основой для формирования годовых планов стандартизации. В качестве основных задач программы определены:

- комплексный и взаимоувязанный охват всех аспектов производственной деятельности предприятия;
- существенное обновление фонда нормативных документов, связанное с введением в технологию транспортирования газа оборудования новых типов, обеспечивающего более высокую производительность;
- гармонизация требований, установленных в нормативных документах предприятия, со стандартами, нормами и правилами, действующими в Российской Федерации (в частности, ОАО «Газпром»), международными и европейскими стандартами и рекомендациями.

Программа предусматривает работы по нормативному обеспечению проектирования, строительства, монтажа, пусконаладки, эксплуатации и ремонта газотранспортной системы Республики Беларусь, в том числе её объектов и оборудования.

Следует отметить, что при разработке нормативных документов пред-

приятия широко используются результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Например, в результате совместных научно-исследовательских работ специалистов предприятия и Объединенного института энергетических и ядерных исследований «Сосны» НАН Беларуси разработана и внедрена «Методика нормирования расхода топливно-энергетических ресурсов на собственные нужды и технологические потери при транспортировке газа по газотранспортной системе и компримировании газа на АГНКС». Совместно с этим институтом разработана и «Методика расчета целевого показателя по энергосбережению». Для решения проблемы восстановления герметичности запорной арматуры путем применения смазки-герметизатора Институтом молекулярной и атомной физики НАН Б проведена научно-исследовательская работа, результаты которой были использованы при разработке «Рекомендации по восстановлению герметичности запорной арматуры». Совместно с Физико-техническим институтом НАН Б разработана «Методика технического освидетельствования подземных емкостей хранения одоранта на ГРС», которая в настоящее время проходит опытное внедрение. С целью определения фактического технического состояния аккумуляторов газа, установленных на АГНКС, Физико-техническим институтом НАН Б совместно с нашим предприятием проведены диагностические исследования. На основе накопленных экспериментальных данных и современных научно-технических подходов разработана методика технического диагностирования аккумуляторов газа ГСС-1-1-10,0-25У-001, отработавших назначенный изготовителем срок службы (20 лет). Результаты работы

легли в основу стандарта предприятия, регламентирующего проведение натуральных диагностических исследований и расчетно-аналитических мероприятий.

К настоящему времени на предприятии разработано и действует 165 нормативных документов предприятия.

Фонд нормативных документов содержит около 2000 документов. Для оперативного обеспечения специалистов предприятия нормативными документами на сайте предприятия имеется раздел «Документация». Также имеется ряд баз данных документов, таких как «Стройдокумент», «Консультинт плюс», ИПС «Стандарт», база данных «Кодекс». Общее количество НД в электронном виде порядка 1500 наименований.

При реализации Программы стандартизации выявлен ряд проблемных вопросов.

В ходе работ постоянно возникает необходимость определения статуса того или иного НД. На сегодняшний день существует множество перечней (реестров) НД, которые издают различные ведомства: МЧС, Минстройархитектуры, Минздрав, Минтруда, Минэнерго и т. д. Все они отличаются друг от друга как по структуре, так и по подходу в их формировании, актуализации и т. п. Отсутствие единого подхода в этом вопросе усложняет работу и увеличивает затрачиваемое время, но самое главное — велика вероятность использования некорректной информации. В то же время в отношении юридических документов (нормативных правовых актов) существует единый подход по их регистрации и учёту (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь). В данном реестре можно получить точную и достоверную информацию о правовом акте, ознако-

миться с его текстом. Также существует ряд компьютерных полнотекстовых баз данных нормативных правовых актов, что ещё более увеличивает удобство поиска информации.

На наш взгляд, Госстандарт должен взять на себя инициативу по ведению единого перечня (реестра) технических нормативных правовых актов, действующих в Республике Беларусь, по аналогии с Минюстом, который проводит такую работу по отношению к нормативным правовым актам. В этот единый перечень (реестр) все министерства и ведомства подавали бы информацию о выпущенных и отменённых НД, о внесении изменений в действующие НД и т. п. Разумеется, ведение такого реестра (перечня) в электронном виде и обеспечение доступа к нему всем нуждающимся значительно облегчило бы работу предприятий. Также важным является наличие в электронных версиях таких перечней (реестров) текстов НД. Работа эта, на наш взгляд, будет организована не на пустом месте. В Госстандарте уже существует ИПС «Стандарт», которая может стать хорошей основой для данной работы.

Ещё одной существенной проблемой является легализация ведомственных НД Российской Федерации (в частности, ОАО «Газпром» и Мингазпрома СССР). В соответствии с п. 9.10 СТБ 1.0-96 вначале необходимо получить разрешение у организации, утвердившей НД, на его использование. Далее — получить разрешение (согласование) в различных ведомствах Республики Беларусь. Однако такая простая на первый взгляд процедура затягивается на годы. В отношении НД, разработанных после 1991 года, такой подход ещё более-менее понятен. Но по отношению к НД, утверждённым ранее, — нет. К примеру, НД действовали на территории

СССР, в том числе и в Белоруссии. В настоящее время эти НД продолжают действовать в РФ, в них не вносились изменения, однако в Республике Беларусь они по непонятным причинам перестали действовать и вообще исчезли из всевозможных перечней НД, издаваемых ведомствами. Зачастую не удаётся даже найти то министерство или ведомство, которое курирует такие НД. Более того, никаких НД, заменяющих «пропавшие», нет. Возникает вопрос: а чем теперь руководствоваться? Какие требования и нормы использовать? По ряду вопросов образовался правовой вакуум. Существует и такая ситуация: проектная

или эксплуатационная документация, разработанная на основе таких «пропавших» НД (поскольку новых или аналогичных нет) не проходит ведомственную экспертизу по причине отсутствия таких НД в перечнях действующей в Республике Беларусь документации. Получается замкнутый круг. Выход, на наш взгляд, в проведении ревизии всей ведомственной технической документации, которая могла бы проходить в рамках создания единого реестра (перечня) технической НД, а также в упрощении процедуры легализации советских ведомственных НД.

## СИСТЕМНО-КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ СТАНДАРТИЗАЦИИ

**М.В.Станкевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры СМИС;

**Л.В.Купреева**, старший преподаватель кафедры СМИС

Для работников сферы образования очевидным является тот факт, что качественная подготовка специалистов невозможна без системно-комплексного подхода к ней, т.е. должна быть **адекватной системной природе** окружающего мира.

Системность и комплексность в подготовке любых специалистов применяется для обеспечения следующих аспектов:

- «понимания», а не заучивания, ведь именно непонимание ведет к утрате желания учиться; для повышения интереса студентов к науке и изучаемым дисциплинам;

- укрупнения и упорядочения знаний, сокращения нагрузки на память, ведь перегрузки в высшей школе возникают, как правило, за счет мобили-

зации памяти при «недогрузке мышления», развития мышления;

- получения научной картины мира как целостного, познания законов окружающего мира и формирования новых;

- освобождения студентов и преподавателей от дублирования работ, экономии ресурсов;

- работы с различными социально-экономическими и техническими объектами, подход к которым должен быть адекватным их природе, т. е. системным.

Тем не менее недостатком высшей школы является «попредметность», и выход из проблемной ситуации не может быть устранен частичными изменениями в содержании образова-

ния. Требуется серьезная перестройка структуры всей образовательной системы и ее процессов.

Значительный опыт реализации именно такого системно-комплексного подхода в учебном процессе при подготовке специалистов накоплен на кафедре «Стандартизация, метрология и информационные системы» БНТУ.

Смысл данного подхода не в приобретении студентами широкой номенклатуры специальных знаний (что тоже неплохо), а в уровне и принципах мышления, в частности, позволяющих инженеру диалектически представить объект исследования либо проектирования во всем многообразии свойств и вместе с тем – в цельности. Объект представляют **на протяжении всего жизненного цикла**, что дает возможность творчески, на научной основе заниматься его упорядочением или нормированием, т.е. стандартизацией.

Для реализации системно-комплексного подхода необходимо существенное совершенствование учебно-методических процессов.

На кафедре эта работа началась с корректировки учебных планов и программ по дисциплинам, читаемым студентам специальности «Стандартизация, метрология и сертификация».

Мы исходили из требований к инженеру, которые должны помочь ему выработать следующий набор качеств:

- умение формировать научно-техническую проблему и разработать техническое задание;
- умение правильно выбирать конечные цели;
- умение определять условия, в которых надо проверять предлагаемые варианты решений;
- умение объективно оценивать имеющиеся данные по ресурсам и затратам, эффектам, качеству и прочим характеристикам в условиях риска и неопределенности;

- способность предлагать и оценивать новые способы выполнения работ и решения задач;

- динамическое видение научной картины мира в целом, способность творчески мыслить и пр.

За концептуальную основу проектирования деятельности инженера в области стандартизации при разработке учебного плана специальности были приняты **современные подходы к менеджменту сложных систем**, среди которых ключевыми являются **системный** и «процессный» подход.

В основе реализации **процессного подхода** лежит описание процесса обучения специалиста. На кафедре разработана **модель (описание) деятельности инженера по стандартизации с использованием методологии функционального моделирования IDEF0 – Integrated Definition Function Modeling**. Построенная с помощью IDEF0 функциональная модель отражает функциональную структуру системы процессов, составляющих основу любой деятельности. На основании разработанной функциональной модели был получен **унифицированный учебный план**, отвечающий требованиям **потребителей образовательной услуги**.

Выделив основные виды деятельности процесса обучения специалиста (планирование, обеспечение, управление, улучшение), мы получили функциональную модель деятельности «Стандартизация» (рис. 1). При осуществлении своей деятельности инженер по стандартизации использует целый ряд «ресурсов». Например, такие «ресурсы», как «Инструменты», включают «знания», «умения» и «навыки», которыми **в соответствии с образовательным стандартом** обязан владеть инженер службы стандартизации как типового промышленного предприятия, так и государственных органов по стандартизации. Знания трансформированы в соответствующие дисциплины специаль-

ности: «Теория стандартизации», «Стандартизация норм точности», «Международная стандартизация», «Проектирование нормативной документации» и др. Изучение данных дисциплин позволяет студентам:



- разрабатывать нормативную документацию по стандартизации различных видов и категорий;
- осуществлять работы по гармонизации нормативных документов с международными стандартами;
- осуществлять нормоконтроль технической и нормативной документации;
- принимать участие в научных исследованиях, связанных с совершенствованием и развитием стандартизации;
- использовать информационные технологии в деятельности по стандартизации;
- создавать базы данных по стандартизации и пр.

В курс «Теория стандартизации» включен обучающий модуль, рассматривающий вопросы гармонизации белорусского законодательства с правилами ВТО. Проблемы гармонизации невозможно решить без изучения международного опыта в области стандартизации. Поэтому в рамках курса «Международная стандартизация» изучается деятельность международных и региональных организаций по стандартизации, порядок разработки и внедрения международных стандартов, методы их принятия в качестве национальных, опыт зарубежных стран. В частности, изучается концепция нового глобального подхода стран-членов ЕС, а также сотрудничество Республики Беларусь с международными, региональными и национальными организациями других стран в области стандартизации.

**Анализ требований потребителей** (требований, предъявляемых к будущему специалисту по стандартизации) выявил необходимость обеспечения будущих специалистов знаниями по применению **CALS-технологий** (Continuous Acquisition and Life-cycle Support — непрерывная информаци-

онная поддержка жизненного цикла продукции) – **идеологии создания единой информационной среды** для процессов проектирования, производства, испытаний, поставки и эксплуатации продукции.

Ситуация на мировом рынке наукоемкой продукции развивается в сторону полного перехода на безбумажную электронную технологию проектирования, изготовления и сбыта продукции. В настоящее время предприятия в рамках международного сотрудничества, в частности при продаже сложных наукоемких изделий, а также лицензий на их производство, уже сталкиваются с требованиями соблюдения стандартов CALS. Покупатели требуют поставки в электронной форме технической документации на изделие, а также средств компьютерной информационной поддержки процессов технического обслуживания, материально-технического обеспечения, заказа запасных частей, ремонта. Аналогичные проблемы, связанные с электронным взаимодействием и совместным использованием конструкторской, производственной и коммерческой информации в электронной форме, возникают в рамках совместных проектов по разработке и производству наукоемкой продукции, выполняемых с зарубежными партнерами.

Будущий стандартизатор должен быть подготовлен к внедрению нормативной базы и программно-технических решений для подготовки электронной документации на экспортную продукцию.

Концепция CALS и стандарты по CALS-технологиям пока не нашли широкого применения. Основными причинами этого являются:

- общее отставание в процессах компьютеризации производственной деятельности;

- зачаточное состояние отечественной нормативной базы в сфере электронного документооборота;

- недостаток подготовленных, квалифицированных и сертифицированных специалистов, а также системы их подготовки и аттестации.

Большое значение для развития и внедрения CALS-технологий имеет эффективное взаимодействие с заинтересованными организациями в плане совместной разработки нормативной документации и подготовки соответствующих кадров. В связи с этим

в учебную программу дисциплины «Проектирование нормативной документации» введен соответствующий учебный модуль. А для того, чтобы студенты были подготовлены к его восприятию, в учебный план специальности включен блок дисциплин, связанных с **обучением в области информационных технологий**, а именно:

- языки программирования;
- автоматизация информационного обеспечения;
- программное информационное обеспечение;
- Интернет-технологии;
- корпоративные компьютерные сети.

Кроме «ресурсов» инженер по стандартизации в своей деятельности руководствуется «управлением».

Например, «Экономические аспекты» и «Юридические аспекты» (см. рис. 1) включают соответственно экономический и юридический модули дисциплин. При изучении дисциплин данных модулей будущие специалисты знакомятся с вопросами экономического и государственно-правового регулирования деятельности по стандартизации.

**Мониторинг** процесса подготовки специалистов может осуществляться путем:

- анкетирования;
- интервьюирования;
- анализа деятельности.

Кафедра занимается мониторингом с использованием всех этих методов, и хотя результаты мониторинга официально не оформляются, они используются как один из элементов создания обратной связи для совершенствования учебного процесса. В частности, оперативно вносятся изменения в рабочие программы дисциплин, уточняются и перераспределяются определенные учебные материалы между взаимоувязанными дисциплинами, вводятся новые дисциплины за счет «часов совета факультета», подготавливаются предложения по радикальному изменению учебных планов.

Применение принципа системности и комплексности при подготовке специалистов по стандартизации позволяет упорядочить процесс познания, избежать ненужного дублирования и обеспечить гармонизацию учебного плана с родственными специальностями.

Предлагаемый подход к обучению инженеров по специальности «Стандартизация, метрология и сертификация» в высшей школе может быть полезен для всех технических дисциплин и специальностей, т.к. развивает творческие способности студентов, а также такие универсальные и важные свойства, как системность мышления, последовательность действий, способность к абстрагированию.

Авторы надеются, что такой подход позволит значительно повысить эффективность подготовки специалистов по стандартизации, а следовательно, и качество их будущей работы.

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| <b>К 20-летию кафедры «Стандартизация, метрология и информационные системы»</b> .....   | 5  |
| <b>Часть 1. МЕТРОЛОГИЯ</b> .....  | 10 |
| <i>Соломахо В.Л., Соколовский С.С., Цитович Б.В., Спесивцева Ю.Б., Ленкевич О.А., Дадьков К.И.</i> Повышение качества изделий на основе оптимизации нормирования и контроля геометрических параметров деталей. .... | 10 |
| <i>Цитович Б.В.</i> Выбор допустимой погрешности измерений. ....  | 18 |
| <i>Ленкевич О.А.</i> Повышение качества измерительного контроля путем аналитической компенсации методических погрешностей. ....   | 32 |
| <i>Сенюк О.В.</i> Использование нечетких отношений предпочтения для оптимизации методик выполнения измерений по показателям качества. ....  | 39 |
| <i>Соколовский С.С., Дадьков К.И.</i> Исследование методических погрешностей на основе имитационного моделирования объектов и процессов. ....   | 42 |
| <i>Соломахо В.Л., Кротова О.А.</i> Повышение качества координатного контроля сложных поверхностей. ....   | 46 |
| <i>Блюменталь Э.С., Юрчик В.Л.</i> Метрологическое обеспечение измерения моментов сил затяжки резьбовых соединений. ....  | 54 |
| <i>Кусяк А.В.</i> Особенности испытания закаленных металлов на контактную усталость. ....   | 58 |
| <i>Рудницкий В.А., Крень А.П., Дейкун И.Г.</i> Влияние активных сил на параметры ударного импульса при контроле вязкоупругих материалов. ....   | 61 |
| <i>Гусев О.К., Марцынкевич Ю.С.</i> Первичные преобразователи кондуктометрических концентратометров. ....   | 69 |
| <i>Петрусенко П.А.</i> Программное обеспечение вычислительного эксперимента по определению геометрических параметров номинального круглого сечения детали. ....   | 73 |
| <b>Часть 2. УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ</b> .....  | 75 |
| <i>Серенков П.С., Краснопрошин В.В., Максимович Е.П.</i> Анализ возможности формализации управляющих воздействий в системах менеджмента качества. ....  | 75 |
| <i>Курьян А.Г.</i> Концепция оценки результативности систем менеджмента качества на основе механизма «измерения» потерь качества. ....  | 83 |
| <i>Серенков П.С., Романчук В.М., Короневич Э.М.</i> Методы и алгоритмы построения математических моделей данных в задачах менеджмента качества. ....  | 91 |

|                 |  |     |
|-----------------|--|-----|
|                 | <i>Ленкевич О.А., Сиротина Е.М., Каритько Е.А., Курьян А.Г.</i> Применение метода функционально-стоимостного анализа для учета затрат на качество в рамках системы менеджмента качества. . . . . | 97  |
|                 | <i>Серенков П.С.</i> Анализ методов статистического моделирования процессов для целей менеджмента качества. . . . .  | 104 |
|                 | <i>Серенков П.С., Жазора Н.А., Толстик Л.И.</i> Модель системы сбора и анализа данных через призму процесса «измерение, анализ и улучшение» в рамках системы менеджмента качества. . . . .       | 109 |
|                 | <i>Купреева Л.В.</i> Системы экологического менеджмента через призму процессного подхода. . . . .  | 115 |
|                 | <i>Сенюта М.В., Ляшук Ю.Ф.</i> Анализ методов и подходов мотивации персонала для целей эффективного менеджмента качества. . . . .  | 119 |
|                 | <i>Лысенко В.Г., Циммерманн К.</i> Обеспечение качества изделий на начальных стадиях процесса их проектирования. . . . .   | 123 |
|                 | <i>Терешко В.К., Серенков П.С., Романчак В.М.</i> Использование информационных технологий менеджмента качества в повышении эффективности производственных испытаний. . . . .                     | 126 |
|                 | <i>Фельдштейн Е.Э.,</i> Использование методики робастного проектирования Г. Тагучи для анализа и оптимизации процесса поверхностного пластического деформирования. . . . .                       | 135 |
|                 |  |     |
| <b>Часть 3.</b> | <b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ И УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ.</b> . . . . .   | 142 |
|                 |  |     |
|                 | <i>Толкачев И.И., Ляшук Ю.Ф., Новиков П.Н.</i> Оценка результативности процессов СМК в масштабах организации. . . . .  | 142 |
|                 | <i>Бриль В.Л.</i> Система менеджмента качества и эффективность предприятия. . . . .  | 148 |
|                 | <i>Крупец Л.Н., Баркун А.А., Лисицкий Г.А.</i> Опыт внедрения статистических методов и техник качества на Минском тракторном заводе. . . . .   | 156 |
|                 | <i>Русецкий В.Н.</i> Практика применения средств измерений на Минском автомобильном заводе. . . . .  | 161 |
|                 | <i>Филимоненко Н.И.</i> Анализ состояния и пути решения задач метрологического обеспечения на МТЗ. . . . .   | 163 |
|                 | <i>Анохин В.А., Лукашевич А.А.</i> Проблемы, возникающие при проведении работ по стандартизации на газотранспортном предприятии. . . . .   | 166 |
|                 | <i>Станкевич М.В., Купреева Л.В.</i> Системно-комплексный подход к подготовке специалистов в области стандартизации. . . . .   | 169 |

Научное издание

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ  
И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Сборник научных трудов  
Республиканского научно-практического семинара  
«Метрология, стандартизация и управление качеством.  
Гармонизация деятельности в различных сферах  
интегрированной системы  
“Образование-наука-производство”»

Ответственный за выпуск К.И.Дадьков

Редактор Т.Н.Микулик  
Компьютерная верстка Н.А.Школьниковой

---

Подписано в печать 21.05.2004.  
Формат 60x84 1/8. Бумага типографская № 2.  
Печать офсетная. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 20,2. Уч.-изд. л. 7,9. Тираж 120. Заказ 432.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский национальный технический университет.  
Лицензия № 02330/0056957 от 01.04.2004. 220013, Минск, пр. Ф.Скорины, 65.