

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования «ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (УО «ВГТУ»)

УДК 621.01

№ госрегистрации 2001524

Инв. № \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Проректор УО «ВГТУ»

по научной работе



С. М. Литовский

2005 г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

«Разработать универсальную систему математических моделей, алгоритмов, программ и макропроектов технологических машин для технологических процессов изготовления фасонных деталей и инструментов»

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МАКРОПРОЕКТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
МАШИН ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ФАСОННЫХ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТОВ

(заключительный)

часть I

2001-Г/Б-290

Начальник НИС

\_\_\_\_\_

С. А. Беликов

Руководитель темы

\_\_\_\_\_

В. С. Мисевич

\_\_\_\_\_

Д. Н. Свирский

Витебск 2005

Библиотека ВГТУ



## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы,  
канд. техн. наук

\_\_\_\_\_

**В. С. Мисевич**

(раздел 1, 2, 3, 4)

\_\_\_\_\_

**Д. Н. Свирский**

(введение, заключение,  
приложение)

01.12.2005

Исполнители темы

\_\_\_\_\_

**А. Л. Климентьев**

(введение, раздел 1, 3, 4,  
заключение, приложение)

01.12.2005

\_\_\_\_\_

**А. Н. Гришаев**

(приложение)

01.12.2005

\_\_\_\_\_

**В. В. Сяборов**

(приложение)

01.12.2005

\_\_\_\_\_

**А. С. Фирсов**

(раздел 2, 5)

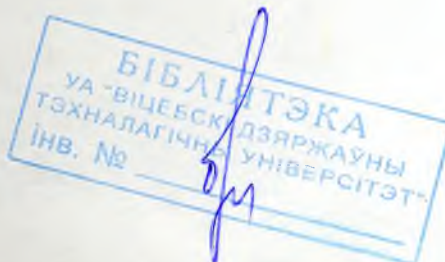
01.12.2005

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_

**А. Л. Климентьев**

01.12.2005



## РЕФЕРАТ

Отчет 357 с., 2 ч., 98 рис., 40 табл., 77 источников, 3 прил.

### МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, АЛГОРИТМЫ, МАКРОПРОЕКТЫ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ, ФАСОННЫЕ ДЕТАЛИ, ИНСТРУМЕНТЫ

Объектом исследования являются математические модели, алгоритмы и программы, а также макропроекты технологических машин для технологических процессов изготовления фасонных деталей и инструментов.

Цель работы — является конкретизация методик составления математических моделей формообразования для различных видов фасонных поверхностей с учетом вида применяемых инструментов, а также разработка комплекса таких моделей. Кроме того, целью работы является разработка комплекса типовых проектных решений и выработка рекомендаций для рационального выбора схем обработки фасонных поверхностей, инструментов для их обработки, а также компоновок и кинематической структуры станков, типовых алгоритмов управления ими и типовых управляющих программ, составленных по модульному принципу. К целям работы относится и разработка разделов соответствующих учебных курсов для подготовки специалистов необходимой квалификации.

В процессе работы разработан ряд математических моделей формообразования различных фасонных деталей и инструментов, разработаны элементы макропроектов технологических машин, алгоритмы управления и комплекс типовых проектных решений по оборудованию и инструменту для типовых фасонных деталей и инструментов машиностроения.

Основные результаты работы внедрены в преподаваемые курсы математического моделирования, проектирования инструмента, разработки систем управления и дипломное проектирование. Конкретные разработки, выполненные в ходе проведения исследования, предполагается внедрить на предприятиях станкостроения. Кроме того, некоторые результаты могут представлять интерес для предприятий легкой, текстильной промышленности



## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТОВ .....	8
1.1 Аналитический обзор информационных источников.....	8
1.2 Профилирование простых фасонных поверхностей с помощью элементарных аналитических методов .....	39
1.3 Принципы обобщения метода четырехмерных матриц на инструменты с производящей поверхностью.....	42
1.4 Заключение.....	46
2 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТОВ .....	50
2.1 Математические модели формообразования кулачков.....	50
2.2 Математические модели формообразования спиральных канавок.....	62
3 РАЗРАБОТАТЬ ТИПОВЫЕ КОМПОНОВКИ И КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ РАЗРАБОТАННЫХ СХЕМ ОБРАБОТКИ.....	98
3.1 Обзор информационных источников.....	98
3.2 Варианты кинематических структур и компоновок зубофрезерных станков .....	99
3.3 Варианты кинематических структур и компоновок универсально- заточных станков .....	146
3.4 Элементы реализации типовых частей кинематических структур и компоновок станков .....	157
3.5 Алгоритм синтеза и критерии отбора кинематических структур и компоновок.....	159
3.6 Кинематические структуры и компоновки станков для обработки фасонных поверхностей.....	162
3.7 Заключение.....	172

<b>4 РАЗРАБОТАТЬ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ И УПРАВЛЯЮЩИЕ ПРОГРАММЫ НА ОСНОВЕ ЯЗЫКОВ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ SIEMENS, HTASNI и др.</b> .....	176
<b>4.1 Обзор информационных источников</b> .....	176
<b>4.2 Макропроектирование станков</b> .....	178
<b>4.3 Систематика кинематических структур и компоновок несущей системы станка</b> .....	182
<b>4.4 Разработка алгоритма проектирования формообразующей системы станка для обработки фасонных деталей</b> .....	191
<b>4.5 Разработка типовой управляющей программы</b> .....	232
<b>4.6 Модели формообразования пресс-форм</b> .....	246
<b>5 РАЗРАБОТАТЬ КОМПЛЕКС ТИПОВЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ОБОРУДОВАНИЮ И ИНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТИПОВЫХ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАИБОЛЕЕ ХАРАКТЕРНЫХ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ</b> .....	257
<b>5.1 Формализация разработки технического задания на групповое проектирование гаммы универсальных металлорежущих станков</b> .....	257
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	274
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	275

## ВВЕДЕНИЕ

Методы описания и формообразования фасонных поверхностей за последние 10–15 лет претерпели существенные изменения. Прежде всего, это связано с широким применением компьютеризированных станков с ЧПУ, которые не только изменили процесс формообразования фасонных поверхностей, но и обусловили появление новых методов задания (описания) этих поверхностей, например, растрового метода. Что касается сложных фасонных поверхностей, то часто труднее составить математическую модель такой поверхности, т. е. ее уравнения и уравнения эквидистанты, а также найти необходимый профиль инструмента, чем осуществить необходимые движения с заданной точностью на 3-х, 4-х и 5-ти координатных станках с системой ЧПУ типа CNC. Для расчета типовых фасонных поверхностей написаны программы, с помощью которых расчеты выполняются очень быстро и безошибочно. Однако в большинстве случаев содержание управляющих программ в станках с управляющими системами типа CNC и содержание расчетных программ для РС пользователю не доступно. Вместе с ним не доступно знакомство с новыми моделями и методами описания фасонных поверхностей, использованными в этих программах. Не существует и литературы, в которой были бы отражены новейшие достижения в этой области. Все это сдерживает развитие теории фасонных поверхностей и освоение соответствующего сложного оборудования для их обработки. Но особенно отрицательно это сказывается на подготовке специалистов соответствующего профиля. Поэтому создание общего подхода к описанию и расчету фасонных поверхностей, к выбору схем обработки, инструментов и станочных систем, к написанию управляющих программ — является на современном этапе развития техники весьма актуальной задачей.

В настоящее время, как следует из литературных источников, продолжают разрабатываться отдельные вопросы формообразования. Работ обобщающего характера практически не ведется.

Целью настоящей работы является конкретизация методик составления математических моделей формообразования для различных видов фасонных

поверхностей с учетом вида применяемых инструментов, а также разработка комплекса таких моделей. Кроме того, целью работы является разработка комплекса типовых проектных решений и выработка рекомендаций для рационального выбора схем обработки фасонных поверхностей, инструментов для их обработки, а также компоновок и кинематической структуры станков, типовых алгоритмов управления ими и типовых управляющих программ, составленных по модульному принципу. К целям работы относится и разработка разделов соответствующих учебных курсов для подготовки специалистов необходимой квалификации.

Настоящая работа тесно связана с читаемыми в УО «ВГТУ» курсами по математическому моделированию, по расчету и проектированию режущих инструментов и проектированию управляющих систем для металлорежущих станков. Она также тесно связана с проектными работами Витебского завода заточных станков ОАО АП «ВИЗАС» и с исследовательскими работами, проводимыми ранее и проводящимися в настоящее время.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

### К разделам 1 и 2

1. *Грановский Г. И.* Кинематика резания. — М.: Машгиз, 1948.
2. *Дибнер Л. Г., Шкурин Ю. П.* Заточка спиральных сверл. — М.: Машиностроение, 1967.
3. *Дружинский И. А.* Сложные поверхности: Математическое описание и технологическое обеспечение. Справочник. — Л.: Машиностроение, 1985. — 263 с.
4. *Ермаков Ю. М., Фролов Б. А.* Металлорежущие станки: Учеб. пособие для техникумов по специальности «Инструментальное производство». — М.: Машиностроение, 1985. — 320 с.
5. *Жигалко Н. И., Киселев В. В.* Проектирование и производство режущих инструментов / Под ред. Н. И. Ящерицына. — Мн.: Высшая школа, 1975. — 400 с.
6. *Иноземцев Г. Г.* Проектирование металлорежущих инструментов. Учебное пособие для студ. вузов, обуч. по спец. «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». — М.: Машиностроение, 1984. — 292 с.
7. *Коновалов Е. Г.* Основы новых способов металлообработки. — Мн.: академия наук БССР, 1961.
8. *Лашнев С. И.* Формообразование зубчатых деталей реечными и червячными инструментами. — М.: Машиностроение, 1971. — 216 с.
9. *Лашнев С. И., Юликов М. И.* Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. — М.: Машиностроение, 1975. — 392 с.
10. *Люкшин В. С.* Теория винтовых поверхностей в проектировании режущего инструмента. — М.: Машиностроение, 1967.
11. *Махаринский Е. И., Горохов В. А.* Основы технологии машиностроения: Учеб. — Мн.: Выш. шк., 1997. — 423 с.
12. *Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов по специальностям «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты» /*



Г. Н. Сахаров, О. Б. Арбузов, Ю. Л. Боровой и др. — М.: Машиностроение, 1989. — 328 с.

13. *Металлорежущие* станки: Учебник / Под ред. В. Э. Пуша. — М.: Машиностроение, 1985. — 256 с.

14. *Металлорежущие* станки: Учеб. пособие / Н. С. Колев, Л. В. Красниченко, Н. С. Никулин и др. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1980. — 500 с.

15. *Олехнович Н. И., Каплан Ю. А. Олехнович В. А., Рабинович В. А.* Расчет параметров установки шлифовального круга при заточке концевых фрез по задней поверхности // Станки и инструмент. — 1990. — №2. — С. 31-32.

16. *Олехнович Н. И., Олехнович В. А., Каплан Ю. А.* Расчет установки шлифовального круга при заточке концевых фрез по передней поверхности // Станки и инструмент. — 1986. — №2. — С. 22-23.

17. *Олехнович Н. И., Олехнович П. В.* Обработка канавок конических борфрез с винтовым зубом // СТИН. — 1997. — №12. — С. 32-34.

18. *Основы* проектирования режущих инструментов с применением ЭВМ: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / П.И. Ящерицын, Б. И. Сеницын, Н. И. Жигалко, И. А. Басс. — Мн.: Высшая школа, 1979. — 304 с.

19. *Палей М. М., Дибнер Л. Г., Флид М. Д.* Технология шлифования и заточки режущего инструмента. — М.: Машиностроение, 1988.

20. *Проектирование* и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ: Учебное пособие для втузов / О. В. Таратынов, Г. Г. Земсков, Ю. П. Тарамыкин и др.; Под ред. О. В. Таратынова, Ю. П. Тарамыкина. — М. Высшая школа, 1991. — 423 с.

21. *Проектирование* металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник: В 3-х т. Т. 1: Проектирование станков / А. С. Проников, О. И. Аверьянов, Ю. С. Аполлонов и др.; Под ред. А. С. Проникова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1994. — 444 с.

22. *Родин П. Р.* Проектирование и производство режущего инструмента. Учебник по спец. «Технология машиностроения». — М.: Машгиз, 1962. — 254 с.

23. *Романов В. Ф.* Расчеты зуборезных инструментов. — М.: Машиностроение, 1969. — 254 с.
24. *Семенченко В. М., Матюшин В. М., Сахаров Г. Н.* Проектирование металлорежущих инструментов / Под ред. И.И. Семенченко. — М.: Машгиз, 1962. — 952 с.
25. *Справочник инструментальщика* / И. А. Ординарцев, Г. В. Филиппов, А. Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И. А. Ординарцева. — Л.: Машиностроение, 1989. — 846 с.
26. *Справочник конструктора-инструментальщика* / В. И. Баранчиков, Г. В. Боровский, В. А. Гречишников и др.; Под общ. ред. В. И. Баранчикова. — М.: Машиностроение, 1994. — 500 с.
27. *Справочник обувщика (Проектирование обуви, материалы)* / Л. П. Морозова, В. Д. Полуэктова, Е. Я. Михеева и др. — М.: Легпромбытиздат, 1988. — 432 с.
28. *Справочник обувщика Т. 1* / Ю. П. Зыбин, Т. С. Кочеткова, К. И. Ченцова и др.; Под общ. ред. Д. С. Мурванидзе. — М.: Легкая индустрия, 1967. — 446 с.
29. *Цветков В. Д.* Система автоматизации проектирования технологических процессов. — М.: Машиностроение, 1972. — 240 с.
30. *Цветков В. Д.* Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирование технологических процессов. — Мн., Наука и техника, 1979. — 264 с.
31. *Ящерицын П. И., Еременко М. Л., Жигалко Н. И.* Основы резания металлов и режущий инструмент: Учеб. — 2-е изд., доп. и перераб. — Мн.: Выш. шк., 1981. — 560 с.

#### К разделу 2.1.1

1. *Лашнев С. И., Юликов М. И.* Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. — М.: Машиностроение, 1975. — 393 с.

2. *Проектирование* и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ: Учебное пособие для вузов / О. В. Таратынов, Г. Г. Земсков, Ю. П. Тарамыкин, и др.; Под ред. О. В. Таратынова, Ю. П. Тарамыкина. — М.: Высш. шк., 1991. — 423 с.

3. *Климова Л. М.* PASCAL 7.0. Практическое программирование. Решение типовых задач. — М.: Кудиц-образ, 2000. — 496 с.

4. *Мисевич В. С., Ольшанский В. И.* Алгоритмический метод поиска коэффициентов регрессии многопараметрических моделей / Витебский гос. технолог. ун-т. — Витебск, 2000. — 6 с. — Деп. в БелИСА 11.12.2000. — Д200078 // Реферативный сборник непубликуемых работ, отчетов о НИР, ОКР, ОТР, депонированных научных работ. — 2001. — № 4 (19). — С. 114.

#### К разделу 2.2

1. *Жигалко П. И., Киселев В. В.* Проектирование и производство режущих инструментов / Под. ред. П. И. Ящерицына. — Мн.: Высшая школа, 1975. — 400 с.

2. *Палей М. М.* Технология производства металлорежущих инструментов. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1982. — 256 с.

3. *Семенченко И. И., Матюшин В. М., Сахаров Г. Н.* Проектирование металлорежущих инструментов / Под. ред. И. И. Семенченко. — М.: Машгиз, 1963. — 952 с.

4. *Лашнев С. И., Юликов М. И.* Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. — М.: Машиностроение, 1975. — 392 с.

5. *Ящерицын П. И., Еременко М. Л., Жигалго П. И.* Основы резания материалов и режущий инструмент / Под. ред. П. И. Ящерицына. — 2-е изд., доп. и перераб. — Мн.: Высшая школа, 1981. — 560 с.

#### К разделу 4

1. *Металлорежущие* станки. Учеб. пособие для вузов / Н. С. Колев, Л. В. Красниченко, Н. С. Никулин и др. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1980. — 500 с.

2. *Пуш В. Э.* Конструирование металлорежущих станков. — М.: Машиностроение, 1977. — 390 с.
3. *Проектирование* металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. / А. С. Проников, О. И. Аверьянов, Ю. С. Аполлонов и др.; Под общ. ред. А. С. Проникова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана: Машиностроение, 1994-1995.
4. *Клюйко Э. В.* Основы кинематики формообразования на металлорежущих станках // СТИН. — 1997. — № 12. — С. 16–21.
5. *Ивахненко А. Г., Пуш А. В.* Методология концептуального проектирования металлорежущих систем // СТИН. — 1998. — № 4. — С. 3–6.
6. *Пуш А. В.* Основные принципы проектирования прецизионных и сверхпрецизионных станков // СТИН. — 1999. — № 3. — С. 12–14.
7. *Богуславский И. В.* Принципы создания подсистем концептуального проектирования, входящих в интегрированные САПР // СТИН. — 1999. — № 7. — С. 3–5.
8. *Итин А. М., Пуш А. В.* Автоматизация конструкторских работ на ранних стадиях проектирования станков // СТИН. — 1991. — № 11. — С. 4–7.
9. *Пуш А. В.* Моделирование и мониторинг станков и станочных систем // СТИН. — 2000. — № 9. — С. 12–20.
10. *Олехнович Н. И., Олехнович П. В.* Обработка канавок конических борфрез с винтовым зубом // СТИН. — 1997. — № 12. — С. 32–34.
11. *Малевский Н. П., Булошников В. С., Гаевой А. П.* Создание САПР режущего инструмента с винтовыми поверхностями с использованием модели линейчатой винтовой поверхности // Вестник машиностроения. — 1998. — № 11. — С. 30–33.
12. *Щегольков Н. Н.* Проверка интерференции при обработке винтовых поверхностей дисковых инструментами // Вестник машиностроения. — 2001. — № 6. — С. 47–51.



13. *Щегольков Н. Н.* Алгоритм определения погрешности профилирования винтовых поверхностей инструментом с аппроксимированным профилем // Вестник машиностроения. — 2001. — № 7. — С. 49–51.

14. *Щегольков Н. Н.* Итерационное профилирование винтовой поверхности изделия по заданному профилю инструмента // СТИН. — 2001. — № 3. — С. 21–24.

15. *Щегольков Н. Н.* Алгоритм формирования рабочего профиля инструмента // Вестник машиностроения. — 2002. — № 1. — С. 42–44.

16. *Борисов В. Д., Журавлев В. В.* Выбор радиуса и расчет координат центра инструмента для обработки кулачков на станках с ЧПУ // СТИН. — 1997. — № 6. — С. 16–20.

17. *Гречишников В. А., Сморкалов Н. В.* Численная модель формирования поверхности детали при механической обработке // СТИН. — 2001. — № 11. — С. 12–13.

18. *Браилов И. Г.* Моделирование процесса формообразования на станках с ЧПУ // СТИН. — 1998. — № 2. — С. 12–16.

19. *Кутин А. А.* Повышение конкурентоспособности технологического оборудования методами CALS-технологий // СТИН — 2000. — № 9. — С. 5–9.

20. *Хомяков В. С., Халдей М. Б.* Информационная система синтеза компоновок станков // СТИН. — 1998. — № 8. — С. 3–8.

21. *Данилов В. А., Терентьев В. А.* Модульная компоновочно-кинематическая схема станка как средство его проектирования // Машиностроение. Вып. 18. — Мн., 2002. — С. 294–300.

22. *Данилов В. А.* Синтез и оптимизация кинематической структуры станков с использованием типовых модулей // СТИН. — 1999. — № 7. — С. 9–15.

23. *Решетов Д. Н., Портман В. Т.* Точность металлорежущих станков. — М: Машиностроение, 1986. — 336 с.

24. *Филонов И. П., Климович Ф. Ф., Козерук А. С.* Управление формообразованием прецизионных поверхностей машин и приборов. — Мн.: ДизайнПРО, 1995. — 208 с.

25. *Мисевич В. С.* Имитационная математическая модель для профилирования плоского кулачка // *Машиностроение*. Вып. 18. — Мн., 2002. — С. 56–60.

26. *Фирсов Ф. С., Мисевич В. С.* Численный метод определения точки касания и перемещения шлифовального круга при профилировании фасонных инструментов и деталей // *Машиностроение*. Вып. 18. — Мн., 2002. — С. 79–83.

27. *Основы проектирования режущих инструментов с применением ЭВМ: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / П. И. Ящерицын, Б. И. Сеницын, Н. И. Жигалко, И. А. Басс.* — Мн.: Выш. школа, 1979. — 304 с.

28. *Справочник инструментальщика / И. А. Ординарцев, Г. В. Филиппов, А. Н. Шевченко, А. Б. Онишко, А. К. Сергеев; Под общ. ред. И. А. Ординарцева.* — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. — 846 с.

29. *Лашнев С. И., Юликов М. И.* Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. — М.: Машиностроение, 1975.

#### К разделу 5

1. *Горанский Г. К., Левин Г. М., Цвасман Г. И.* Алгоритмизация проектирования типовых компоновок агрегатных станков // *Вычислительная техника в машиностроении / Июль.* — Мн.: ИТК АН БССР, 1967. — С. 109-121.

2. *Третьяков В. М.* Групповая технология создания семейства изделий // *Вестник машиностроения.* — 2000. — № 4. — С. 45-48.

3. *Свирский Д. Н., Фирсов А. С.* Функциональный подход к формализации структурного синтеза металлорежущего оборудования // *Машиностроение*. Вып. 19. — Мн.: УП «Технопринт», 2003. — С. 214-219.

4. *Моисеева Н. К., Карпунин М. Г.* Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа. — М.: Высш. шк., 1988. — 192 с.

5. *Адлер Ю. П.* Качество и рынок или как организация настраивается на обеспечение требований потребителей // *Стандарты и качество.* — 1995. — № 8. — С. 3-15.

6. *Попов М. Е., Попов А. М.* Разработка и постановка продукции на производство на основе структурирования функции качества // Вестник машиностроения. — 2000. — № 7. — С. 52-58.

7. *Фирсов А. С.* QFD-метод макропроектирования металлорежущих станков // Вестник УО «ВГТУ». — Вып. 5. — 2003. — С. 72-77.

8. *Кофман А., Хил Алуха Х.* Модели для исследования скрытых воздействий. — Мн.: Высш. шк., 1993. — 160 с.