

НАУЧНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ И ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Б.П. Чемисов,

кандидат
технических наук,
профессор,
заведующий
кафедрой
«Технология
машиностроения»,

М.Л. Хейфец,

доктор
технических наук,
профессор
кафедры
«Технология
машиностроения»,

А.А. Лысов,

кандидат
технических наук
доцент кафедры
«Технология
машиностроения»,
декан машино-
строительного
факультета.

*Полоцкий
государственный
университет*

Изложен опыт подготовки кадров и научно-исследовательской работы на кафедре «Технология машиностроения» ПГУ.

Повышению эффективности машиностроения служит создание комплексов технологических, энергетических, информационных и других машин, выполняющих ту логически завершенную часть производственных действий, которой является технологический процесс (рис. 1). Такая совокупность производящих машин получила название технологических комплексов [1, 2].

Соединение технологических, контрольных и транспортных составляющих комплекса в пространстве и совмещение их воздействий во времени обеспечивает производству компактность [1, 3]. Использование концентрированных источников энергии в составляющих комплекса радикально интенсифицирует технологические процессы [2, 4]. Объединение материальных потоков энергии и вещества с информационными потоками обеспечивает производству интеллектуальность [3, 5].

В результате наиболее актуальным комплексом проблем современного машиностроения являются всемерное сокращение сроков и средств на проектирование, изготовление и внедрение новых технологических комплексов на основе высокоинтенсивных методов обработки в компьютерно-управляемом производстве [3, 6]. Решение этих проблем, в первую очередь, требует подготовки научных и инженерных кадров, соответствующих новым складывающимся условиям машиностроительного производства.

Подготовка специалистов в высшей школе базируется прежде всего на научных и методических разработках коллективов выпускающих кафедр, а также на обмене опытом и освоении передовых результатов, полученных коллективами других высших учебных заведений, отраслевых научно-исследовательских и академических институтов как у нас в стране, так и за рубежом.

Кафедра технологии машиностроения Полоцкого государственного университета в научных исследованиях и при подго-

товке специалистов тесно взаимодействует с Белорусским государственным университетом, Белорусским национальным техническим университетом, Белорусским аграрным техническим университетом, Могилевским государственным техническим университетом, Витебским государственным технологическим университетом, Белорусским государственным институтом стандартизации и сертификации ГОССТАНДАРТА РБ, Физико-техническим институтом, Институтом надежности машин, Институтом тепломассообмена НАН РБ и другими. Плодотворное научно-методическое сотрудничество кафедры с зарубежными вузами: Московским государственным техническим университетом им. Н.Э.Баумана, Московским государственным технологическим университетом «СТАНКИН», Санкт-Петербургским государственным политехническим университетом, Брянским государственным техническим университетом, Национальным техническим университетом Украины «КПИ», Житомирским инженерно-технологическим институтом и другими — обеспечивает оперативное создание новых учебных курсов для машиностроительных специальностей, учебной и справочной литературы для них [7–15].

Обучение технологии машиностроения после знакомства с терминологией, нормативной базой и основами производственных процессов начинается с освоения традиционных методов формообразования поверхностей деталей: резания лезвийным и абразивным инструментом, а также поверхностного пластического деформирования (табл. 1).

Исследование процессов сверления, ротационного резания, алмазного шлифования привело к созданию на кафедре технологии машиностроения новых инструментов, средств оснащения и технологических процессов (табл. 2).

Производственный опыт и анализ потребностей предприятий дали возможность

Таблица 1

Методы формообразования поверхностей детали

Традиционные		Современные		Перспективные	
Удаление материала заготовки инструментом (резание, шлифование)	Формоизменение поверхности заготовки инструментом (пластическое деформирование)	Нанесение материала (покрытий) на заготовку потоками энергии	Формирование заготовки в технологической оснастке (штамповка, точное литье) с использованием потоков энергии (порошковая металлургия)	Формирование модели заготовки без технологической оснастки (оперативное макетирование и производство)	Формирование заготовки, изделия без технологической оснастки с использованием потоков энергии (последний синтез)

Таблица 2

Методы удаления и формоизменения материала заготовки

Методы	Резание	Шлифование	Деформирование
Операции (инструменты, средства оснащения)	Сверление (специальные патроны), растачивание (ротационные инструменты и оправки), точение (ротационные инструменты и резцедержатели)	Внутренних поверхностей (специальные алмазные инструменты), плоских поверхностей (планетарные алмазные инструменты), сверление пластин (полые абразивные сверла)	Раскатывание отверстий (роликовые накатники), упрочнение плоских поверхностей (шариковые накатники), упрочнение наружных поверхностей (шариковые и роликовые накатники)

разработать облегченные конструкции сверлильных патронов, обеспечивающих высокие усилия закрепления инструментов. В результате на базе кафедры создан завод сверлильных патронов [3].

Изучение особенностей ротационного растачивания привело к созданию жестких инструментов и оправок [16, 17], а ротационного точения труднообрабатываемых материалов и покрытий — к созданию виброустойчивых шпиндельных узлов с резцами и резцедержателями [6, 9].

Анализ процессов поверхностного пластического деформирования конструкционных материалов позволил предложить конструкции шариковых и роликовых раскатников и накатников для размерно-числовой и упрочняющей обработки [7].

Исследование алмазно-абразивной обработки дало возможность разработать новые конструкции инструментов для свер-

ления пластин, планетарные шлифовальные диски для предварительной и окончательной обработки плоских труднодоступных поверхностей [3, 18].

Изучение технологии машиностроения включает освоение современных процессов, обеспечивающих формирование требуемых структуры и свойств материала путем использования источников энергии (табл. 3), методов порошковой металлургии и способов нанесения защитных покрытий (табл. 1).

На кафедре технологии машиностроения исследовались методы формирования износостойких покрытий, использующие индукционный нагрев, газопорошковую наплавку, плазменную, электродуговую наплавку, разрабатывался метод электроферромагнитного упрочнения и рассматривалось использование изделий после комбинированного ионно-вакуумного упрочнения (табл. 4).

Изучение индукционной и газопорошковой наплавки защитных покрытий позволило разработать способы нанесения покрытий на внутренние поверхности цилиндрических деталей и крупногабаритных изделий [19].

Предложить пути интенсификации процессов нанесения износостойких покрытий дал возможность анализ плазменного напыления, оплавления и наплавки порошков, а также электродуговой наплавки проволокой [8, 9].

Исследование поведения ферромагнитного порошка в магнитном поле при электроискровых и электродуговых разрядах [18, 20] позволило разработать метод электроферромагнитного упрочнения [21, 22].

Системный анализ совместного термического влияния источников энергии и механических воздействий инструментами представил возможность разработать комбинированные методы формирования поверхностных слоев деталей машин и их размерно-упрочняющей обработки (табл. 5).

Совмещение процессов индукционного, гальванического нанесения покрытий с механической заделкой алмазных зерен прикаткой, виброцентробежным путем позволило создать способы получения алмазосодержащего слоя для абразивных инструментов [3, 19].

Всестороннее изучение технологических процессов плазменного оплавления порошка при нанесении покрытия и раз-

Таблица 3

Технологии модифицирования поверхностных слоев материала заготовки: нашедшие эффективное применение в производстве (х) и использование которых малоэффективно (–)

Зоны тепловыделения	Типовые источники энергии и их мощность q, Вт/см ²	Нанесение		Термообработка	Резание		Деформирование	
		Наплавкой	Летирова-нием		Лезвийное	Абразивное	Роликом	Шариком
Объемная	1. Индукционный нагрев (ИН) $(10^2) \dots 10^3 \dots 10^4$	х	–	–	х	–	х	х
	2. Газовое пламя (ГП) $10^2 \dots 10^3 \dots (3 \cdot 10^3)$	х	–	–	х	–	х	х
	3. Плазменная дуга (ПД) $5 \cdot 10^2 \dots 3 \cdot 10^4$	х	х	–	х	–	х	х
Множество локальных	4. Электро-контактный подогрев (ЭК) $10^3 \dots 5 \cdot 10^4$	х	–	–	х	х	х	х
	5. Сварочная дуга (СД) $10^3 \dots 10^5 \dots (10^6)$	х	–	–	х	х	х	х
	6. Электро-искровой разряд (ЭИ) $5 \cdot 10^6 \dots 8 \cdot 10^8$	х	х	–	–	–	х	х
Сфокусированная	7. Ионный поток (ИП) $(10^3) \dots 10^6 \dots 8 \cdot 10^8$	х	х	–	х	–	–	–
	8. Лазеры и электронный луч (ЭЛ) $(5 \cdot 10^3) \dots 10^6 \dots 10^9$	х	х	х	х	–	х	х

Анализ поведения режущих и штамповых инструментов после комбинированного ионно-вакуумного модифицирования поверхности имплантацией с последующим осаждением покрытия позволил предложить рациональные условия эксплуатации инструментов и изменения в их конструкции [4, 8, 26, 27].

Завершается обучение технологии машиностроения знакомством с перспективными методами оперативного макетирования и создания изделий из композиционных материалов без формообразующей оснастки (табл. 1).

На кафедре технологии машиностроения исследуются методы термоформовки сложнопровольных изделий из полимерных листовых материалов путем их разогрева и отверждения в форме с использованием пневмопродувки [28, 29].

Структурный анализ методов производства деталей без формообразующей оснастки позволил предложить модели и алгоритмы, исследовать технологические процессы формообразования на подложке и каркасе покрытий для послойного синтеза с управляемым формированием свойств композиционного материала изделия [30, 31].

Таблица 4

Методы нанесения покрытий и изменения свойств материала заготовки

Методы	Индукционная наплавка	Газопламенная наплавка	Плазменное насыщение и оплавление	Электродуговая наплавка проволоки	Электроферромагнитное упрочнение
Операции (установки)	Наружных и внутренних поверхностей	Наружных и внутренних поверхностей	Наружных и внутренних поверхностей	Наружных поверхностей	Наружных поверхностей

мерно-чистовой обработке ротационными резцами привело к разработке комбинированного метода — ротационного резания с плазменным нагревом [6, 9, 23].

Совмещение операций электродуговой наплавки проволоки с удалением дефектного слоя и накаткой упрочняемой поверхности ротационным резцом обеспечило создание размерно-упрочняющего ротационного резания в процессе наплавки проволоки [6, 24].

Использование технологического тепла в процессе электроферромагнитного упрочнения при поверхностном пластическом деформировании и выглаживании нанесенных вкраплений дало возможность разработать метод электромагнитной наплавки с поверхностным деформированием накатным инструментом [4, 18, 25].

Параллельно с освоением технологий должно идти изучение оборудования, средств оснащения и других объектов технологического комплекса.

Множество технологических объектов, взаимодействующих в процессах обработки деталей и сборки машин, образует технологические системы. Совокупность технологических объектов, взаимодействующих с выделенным (деталью или машиной) на отдельном этапе изготовления изделия, представляет собой технологическую среду [3, 32, 33].

В комплексах, использующих для технологических воздействий концентрированные источники энергии, а также формообразующие инструменты и средства оснащения, оборудование входит в состав технологической среды на уровне опера-

Таблица 5

Методы комбинированной обработки

Методы	Индукционная виброцентробежная наплавка алмазосодержащего слоя	Плазменное оплавление напыленного покрытия со-вмещенное с ротационным резанием	Электродуговая наплавка проволоки с упрочняющееразмерным резанием	Электроферромагнитное упрочнение с поверхностным пластическим деформированием	Обработка инструментом с комбинированным ионно-вакуумным покрытием
Оперции (технологические процессы изготовления)	Алмазные инструменты для предварительной и окончательной обработки плоских поверхностей	Детали двигателей внутреннего сгорания	Детали двигателей внутреннего сгорания	Посадочные места под подшипники, режущие кромки инструментов	Режущие и штамповые инструменты и средства оснащения

ции обработки, сборки, контроля и транспортирования [32, 34]. Поэтому к оборудованию для высокоинтенсивных технологий предъявляются особые требования.

На кафедре технологии машиностроения помимо выпуска технологической оснастки и исполнительных механизмов [35] было налажено производство электродвигателей для приводов машин и создано предприятие по производству двигателей СП «Нодвиг».

Технологические среды и на уровне операции, и на уровне технологического процесса многосвязаны как по совокупному влиянию воздействий на показатели качества изделия, так и по характеру взаимодействий в процессе формирования свойств машины [3, 34, 36]. Многосвязность предполагает рассмотрение процесса формирования любого из совокупности свойств изделия как результата одновременных и предшествующих его взаимодействий со средой различных уровней, влияющих на выделенное свойство [3, 37, 38].

В результате технологический процесс необходимо рассматривать с позиций тех-

нологического наследования эксплуатационных свойств и учитывать совместное действие технологических факторов, рассматривая самоорганизацию физико-химических явлений в рабочей зоне технологической системы [4, 6, 8, 15].

Анализ, учет и контроль свойств изделия на конструкторско-технологических и производственных стадиях жизненного цикла продукции при современном уровне развития производства [13, 15] обеспечивает использование компьютерных технологий создания, поддержки и применения единого информационного пространства на всех этапах жизненного цикла продукции (CALS-технологии).

Поэтому в настоящее время особенно актуальна подготовка машиностроителей со знанием информационных технологий и навыками работы в компьютерно-управляемом производстве (табл. 6).

На кафедре технологии машиностроения для создания экспертных систем разрабатываются модели и алгоритмы принятия конструкторско-технологических решений [3, 39]. Разрабатываются методы клас-

Таблица 6

Автоматизация конструкторско-технологических и производственных процессов

Вид обеспечения	Стадии жизненного цикла продукции			CALS-технологии
	проектирование	производство	контроль	
Математическое	Модели и алгоритмы принятия конструкторско-технологических решений			
Информационное	Классификация и кодирование конструктивно-технологических элементов	Ограничительные перечни и регламенты использования инструментов и приспособлений	Ограничительные перечни и регламенты использования контрольно-измерительных средств	
	Унификация объектов и процессов производства Модели распределенных баз данных и знаний			
Программное	CAD/CAE-системы	CAE/CAM/CAPP-системы		

сификации и кодирования, статистического анализа объектов и процессов производства [10, 14] для формирования баз данных и знаний по ограничительным перечням конструктивно-технологических элементов и поверхностей деталей, инструментов для их обработки и контроля, по технологическим регламентам их использования [10, 40].

Новые технологические процессы и средства их оснащения на кафедре разрабатываются на основе математического и компьютерного моделирования [12], что находит отражение и в учебном процессе [8, 11].

Интеграция электромеханики и микроэлектроники при компоновке машин на современном этапе привела к появлению комплексных интегрированных мехатронных модулей движения рабочих органов и узлов машин, а также создаваемого на их основе оборудования [3, 33, 34]. Такая интеграция требует использования систем компьютерного управления деталями, инструментами, источниками энергии, транспортными и другими механизмами. В результате составляющие технологических мехатронных комплексов не просто дополняют друг друга, но и объединяются таким образом, чтобы образованная производственная система обладала качественно новыми свойствами [32, 34].

Мехатронные системы включают механическую, электромеханическую, электронную и управляющую (построенную на основе использования компьютеров или микропроцессоров) части. Современный технологический комплекс состоит из датчиков состояния внешней среды и самой системы, источников энергии, исполнительных механизмов, усилителей, вычислительных элементов (компьютеров и микропроцессоров) и представляет собой единую систему электромеханических, электронных элементов и средств вычислительной техники, между которыми осуществляется непрерывный обмен энергией и информацией. Поэтому при проектировании комплексов следует учитывать динамику протекающих процессов, обеспечивая их устойчивость и требуемое качество, что достигается методами теории автоматического управления [3, 34].

Таким образом, методологической основой разработки технологических комплексов служат методы параллельного проектирования, заключающиеся в одновременном и взаимосвязанном синтезе

всех компонентов производственной системы. Поэтому в современных производственных системах для обеспечения высокого качества реализации сложных наукоемких технологий применяются методы интеллектуального управления. Методы эти опираются на новые идеи в теории управления, современные аппаратные и программные средства вычислительной техники и концепцию непрерывной компьютерной поддержки жизненного цикла выпускаемой продукции.

Литература

1. Артоболевский И.И., Ильинский Д.Я. Основы синтеза машин автоматического действия. — Москва: Наука, 1983. — 280 с.
2. Подураев В.Н. Технология физико-химических методов обработки: Библиотека технолога. — Москва: Машиностроение, 1985. — 264 с.
3. Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития/М.Л.Хейфец, Б.П.Чемисов, Л.М.Акулович и др. — Новополоцк: ПГУ, 2002. — 268 с.
4. Синергетические аспекты физико-химических методов обработки/А.И.Гордиенко, М.Л.Хейфец, Б.П.Чемисов и др. — Минск: ФТИ, 2000. — 172 с.
5. Бусленко Н.П. Математическое моделирование производственных процессов. — Москва: Наука, 1964. — 314 с.
6. Хейфец М.Л. Самоорганизация процессов при высокоэффективных методах обработки деталей. — Новополоцк: ПГУ, 1997. — 268 с.
7. Технология размерно-чистовой и упрочняющей обработки: Учеб.пособие/П.С.Чистосердов, Б.П.Чемисов, Л.М.Кожуро, Л.М.Акулович. — Минск: Университетское, 1993. — 188 с.
8. Технологические основы высокоэффективных методов обработки деталей: Учеб.пособие/П.И.Ящерицын, М.Л.Хейфец, Б.П.Чемисов и др. — Новополоцк: ПГУ, 1996. — 136 с.
9. Обработка износостойких покрытий: Учеб.пособие/Л.М.Кожуро, Ж.А.Мрочек, М.Л.Хейфец и др. — Минск: Дизайн ПРО, 1997. — 208 с.
10. Программно-информационное обеспечение автоматизации подготовки производства: Учеб.пособие/В.И.Арбузов, Ж.А.Мрочек, Н.Н.Попок, М.Л.Хейфец. — Минск: БГПА, 1998. — 77 с.
11. Математическое моделирование производственных процессов в машино-

строении: Учеб. пособие/А.И.Гордиенко, Л.Г.Полонский, П.П.Мельничук, М.Л.Хейфец. — Житомир: ЖИТИ, 2001. — 190 с.

12. Хейфец М.Л. Математическое моделирование технологических процессов: Справ. пособие. — Новополоцк: ПГУ, 1999. — 104 с.

13. Корешков В.Н., Кусакин Н.А., Хейфец М.Л. Управление качеством и сертификация продукции: Справ. пособие. — Минск: БелГИСС, 2000. — 64 с.

14. Статистические методы управления качеством: Справ. пособие/Н.А.Кусакин, Н.М.Афанасьев, М.Л.Хейфец и др. — Минск: БелГИСС, 2000. — 56 с.

15. Технологические основы управления качеством машин: Справ. пособие/А.С.Васильев, А.М.Дальский, М.Л.Хейфец, Б.П.Чемисов и др. — Минск: ФТИ, 2001. — 216 с.

16. Найденышев Е.М. Установка ротационных резцов при растачивании отверстий//Доклады АН БССР, 1971, Т. 15, № 10. — С. 910–912.

17. Найденышев Е.М. Анализ кинематики ротационного растачивания//Изв. АН БССР, Сер. физ.-техн. наук, 1973, № 2. — С. 49–55.

18. Кожуро Л.М., Чемисов Б.П. Обработка деталей машин в магнитном поле. — Минск: Наука и техника, 1995. — 232 с.

19. Дорожкин Н.Н., Кашицын Л.П., Лысов А.А. Виброцентробежное припекание порошковых материалов. — Минск: ИНДМаш АН БССР, 1991. — 68 с.

20. Коновалов Е.Г., Чемисов Б.П. Исследование процесса генерации поверхностей в магнитном поле ферромагнитными порошками//Доклады АН БССР, 1970, Т. 14, № 4. — С. 34–5.

21. Абрамов В.И., Чемисов Б.П., Шулев Г.С. Электроферромагнитная обработка деталей машин: Обзор. — Москва: ЦНИИТЭИЛ, 1973. — 24 с.

22. Определение оптимальной схемы полярности процесса упрочнения деталей электрическими разрядами в магнитном поле/В.И.Абрамов, И.Т.Сычев, Б.П.Чемисов и др.//Изв. АН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. 1978, № 4. — С. 74–78.

23. Интенсификация процессов резания хромоникелевых сталей, сплавов и покрытий дополнительными тепловыми и механическими воздействиями/П.И.Ящерицын, А.В.Борисенко, В.С.Медко, М.Л.Хейфец//Изв. АН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. 1994, № 2. — С. 55–60.

24. Комбинированный метод обработки ротационным инструментом с нагре-

вом срезаемого слоя концентрированными потоками энергии/ воздействиями/ П.И. Ящерицын, А.В.Борисенко, Н.Н.Попок, М.Л.Хейфец//Доклады АН Беларуси. 1992, Т.36, № 5. — С. 429–432.

25. Комбинированный метод электромагнитной наплавки с поверхностным пластическим деформированием/ воздействиями/П.И.Ящерицын, Г.А.Деев, Л.М.Кожуро, М.Л.Хейфец//Доклады АН Беларуси. 1993, Т.37, № 4. — С. 114–117.

26. О самоорганизации в технологическо-эксплуатационных процессах при комбинированных методах обработки металлов/П.И.Ящерицын, Л.М.Кожуро, И.А.Сенчило, М.Л.Хейфец//Доклады АН Беларуси. 1995, Т.39, № 1. — С. 112–116.

27. Хейфец М.Л. О самоорганизации процессов формирования свойств поверхностного слоя при комбинированных методах обработки металлов//Доклады АН Беларуси. 1995, Т.39, № 2. — С. 109–113.

28. Хейфец М.Л. Анализ процессов самоорганизации при обработке металлов по диаграммам состояния физико-химических систем//Доклады АН Беларуси. 1995, Т.39, № 2. — С. 109–113.

29. Кухта С.В., Хейфец М.Л., Яскевич В.В. Моделирование процесса термоформовки полимерных изделий сложной конфигурации//Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления: Сб. научн. трудов. Вып. 1, В 3-х т., Т. 3. — Минск: Технопринт, 2002. — С. 62–66.

30. Хейфец М.Л. Анализ алгоритмов производства изделий по моделям самовоспроизведения фон Неймана//Доклады АН Беларуси. 2001, Т.45, № 5. — С. 119–122.

31. Прямое выращивание деталей машин послойным синтезом с управляемым деформированием свойств материала потоками энергии/П.И.Ящерицын, Н.Ф.Лугаков, М.Л.Хейфец, С.В.Кухта//Изв. НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. 2000, № 3. — С. 40–43.

32. Анализ высокоэффективных методов обработки при проектировании технологических комплексов/Л.М.Акулович, Л.М.Кожуро, М.Л.Хейфец, Е.З.Зевелева//Инженерно-физический журнал. 1999, Т. 72, № 5. — С. 971–979.

33. Проектирование технологических комплексов высокоэффективной электромагнитной и термомеханической обработки/Л.М.Акулович, Л.М.Кожуро, М.Л.Хейфец, Е.З.Зевелева//Инженерно-физический журнал. 2000. Т. 74, № 5. — С. 1080–1087.

34. Проектирование технологических комплексов высокоэффективной обработки изделий на основе многофакторной оптимизации/П.И.Ящерицын, Л.М.Кожуро, М.Л.Хейфец, Б.П.Чемисов//Доклады АН Беларуси. 1997. Т.41, № 3. — С. 112–118.
35. Берестнев О.В., Басинюк В.Л., Чемисов В.Б. Зубчатые колеса пониженной виброактивности. — Новополоцк: ПГУ, 1997. — 122 с.
36. Совершенствование производственных систем на основе создания условий для самоорганизации технологических процессов и объектов/П.И.Ящерицын, А.А.Шипко, М.Л.Хейфец, Н.Н.Попок//Доклады АН Беларуси. 1996. Т.40, № 1. — С. 118–121.
37. Хейфец М.Л. Цикличность состояний и свойств поверхностного слоя при комбинированных методах обработки металлов//Доклады АН Беларуси. 1996. Т.40, № 5. — С. 120–123.
38. Технологическо-эксплуатационные барьеры в поверхностном слое при высокоинтенсивной обработке/П.И.Ящерицын, А.А.Шипко, М.Л.Хейфец, Л.М.Кожуро//Доклады АН Беларуси. 1997. Т.41, № 5. — С. 110–113.
39. Анализ свойств отношений технологических решений при проектировании комбинированных методов обработки материалов/П.И.Ящерицын, В.И.Аверченков, М.Л.Хейфец, С.В.Кухта//Доклады АН Беларуси. 2001. Т.45, № 4. — С. 106–109.
40. Статистический анализ конструктивных элементов и технологических параметров деталей машин/М.Л.Хейфец, В.С.Точило, В.И.Семенов и др. — Новополоцк: ПГУ, 2001. — 112 с.