

#6 (771) 2024

ISSN 0536-1044 (print)

ISSN 2411-7196 (online)

6

Известия высших учебных заведений

Машиностроение

BMSTU Journal of Mechanical Engineering

Входит в перечень ВАК, включен в систему РИНЦ, итоговая категория К1,
Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science, EBSCO

Mechanical Engineering and Machine Science
Power, Metallurgic
and Chemical Engineering
Aviation, Rocket and Technology

Машиностроение и машиноведение
Энергетическое, металлургическое
и химическое машиностроение
Авиационная и ракетно-космическая техника

izvuzmash.ru



ИЗДАТЕЛЬСТВО
ИГТУ — ИЗ БАТРАНА



95 лет научной школе резания металлов и режущих инструментов МГТУ им. Н.Э. Баумана

95 years of the scientific school of cutting of metals and cutting tools at BMSTU

Кафедра «Инструментальная техника и технологии» (МТ-2) является одной из старейших в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Она подготавливает инженеров, магистров и специалистов высшей квалификации в области резания материалов, режущих инструментов, физико-технических методов обработки.

За 95 лет существования кафедра прошла большой путь, разные этапы которого отражались в смене ее названий: «Теория резания металлов», «Теория резания металлов и инструментальное дело», «Теория резания металлов и инструментальное производство», «Теория механической обработки и инструмент», «Процессы и инструментальные системы механической и физико-технической обработки».

Несмотря на эти многочисленные перемены, кафедра постоянно находилась в пределах одной предметной области, начало которой заложили в 80-х годах XIX века русские ученые И.А. Тиме, К.А. Зворыкин, А.А. Брикс, Я.Г. Усачев, А.Н. Челюсткин и др. [1].

Для исследования процесса резания металлов в Императорском московском техническом училище (ИМТУ) в 1909 г. на базе ранее существовавших мастерских была создана Лаборатория резания металлов. В 1929 г. была проведена реконструкция Лаборатории и появилась кафедра «Резание металлов». В этом же году при кафедре организована Лаборатория рациональной обработки металлов (РОМ), которая сыграла большую роль в становлении учебной и научной школы в этой области.

Первый коллектив кафедры формировался из наиболее способных молодых специалистов, недавно окончивших аспирантуру на механическом факультете МММИ. К их числу принадлежали Г.И. Грановский, П.П. Грудов, И.И. Ененко,

М.Н. Ларин, К.И. Жембровский, Д.С. Маслин, Е.К. Зверев и др.

В разные годы кафедрой руководили: профессор И.М. Беспрозванный (1929–1950), профессор Г.И. Грановский (1950–1982), профессор В.Н. Подураев (1982–1991), профессор А.Е. Древаль (1991–2018). С 2018 г. по настоящее время заведующим кафедрой является профессор С.В. Грубый.

Исторические этапы развития учебного процесса и научной деятельности на кафедре отражены во многих литературных источниках, среди которых: сборник статей под редакцией профессора Г.И. Грановского к 25-летию кафедры [2]; сборник статей под редакцией профессора А.Е. Древаля к 70-летию кафедры [3]; статья профессора А.Е. Древаля в сборнике к 150-летию факультета «Машиностроительные технологии» [4].

В 30-е годы XX столетия были начаты, а в последующие годы продолжены и расширены фундаментальные исследования, создавшие научную основу школы резания металлов и режущих инструментов в МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Заведующий кафедрой профессор И.М. Беспрозванный создал фундаментальный цикл «Резание металлов», включавший в себя лекции, лабораторный практикум, семинары и другие виды учебных занятий [5–8]. Была сформирована основная предметная часть цикла: геометрические параметры режущей части инструментов; параметры сечения срезаемого слоя; физические основы учения о резании металлов (деформация материала, нарост, микрогеометрические параметры обработанной поверхности, теплота и влияние факторов на температуру резания; усилия при резании;

скорость резания и стойкость инструмента; обрабатываемость материалов; рациональные режимы обработки).

Отмеченные предметные составляющие углубленно изучались на протяжении всех последующих лет и не потеряли своей актуальности до настоящего времени.

В связи с интенсивным развитием машиностроения в период индустриализации на государственном уровне было принято решение о создании Комиссии по резанию металлов, которая существовала в 1935–1941 гг. В работе Комиссии (ее председателем была профессор Е.П. Надеинская) участвовало большинство ведущих специалистов в области металлообработки. Лаборатория РОМ стала базовой в работе комиссии. Исследования отдельных видов обработки возглавили преподаватели кафедры: Г.И. Грановский рассматривал процессы резьбонарезания, М.Н. Ларин — фрезерования, П.П. Грудов и Е.К. Зверев — точения; ответственными исполнителями был Л.А. Рождественский и другие.

С первых дней Великой Отечественной войны лаборатория РОМ превратилась в цех военного завода МВТУ. Все руководители групп Комиссии по резанию и работавшие с ними помощники (Л.А. Рождественский, Д.Л. Юдин, Е.К. Зверев, С.Л. Каменкович и др.) были командированы на оружейные заводы Ижевска, Перми, Подольска и Загорска для внедрения в технологические процессы руководящих материалов по режимам резания и заточке режущих инструментов.

За внедрение передовых методов обработки, обеспечивших высокую производительность и качество при изготовлении боеприпасов, в 1943 г. И.М. Беспрозванный, М.Н. Ларин, С.Л. Каменкович и Л.А. Рождественский стали лауреатами Сталинской премии.

Инструментальная часть научной школы кафедры развивалась все годы ее существования. В 1932 г. был введен и прочитан курс лекций «Расчет и конструирование режущего инструмента». Особенно следует отметить фундаментальную работу профессора Г.И. Грановского «Кинематика резания», в которой рассмотрены ее основные вопросы, дан обзор принципиальных кинематических схем и соответствующих им траекторий относительного рабочего движения, исследованы кинематические схемы обработки тел вращения методом протягивания и другие вопросы [9].

Профессор М.Н. Ларин всесторонне исследовал процессы фрезерования: показал и обосновал понятие оптимальных геометрических параметров режущей части инструментов и их влияние на процесс стружкообразования, точность обработки, вибрации, шероховатость и наклеп, стойкость инструмента, направление отвода стружки [10–12].

Доцент Е.Д. Бакстунев руководил экспериментальными исследованиями по проточиванию, детально рассмотрел вопросы конструкции, технологии изготовления и эксплуатации протяжек [13].

В монографии по фасонным резцам обобщены многолетние исследовательские работы, проведенные на кафедре под руководством Г.И. Грановского и К.П. Панченко [14]. В ней приведены результаты теоретического анализа и экспериментальной проверки точности фасонных резцов разного типа; рассмотрены износ и стойкость этих инструментов, динамика резания, особенности процесса образования тонких стружек и нароста; изложена технология обработки фасонных поверхностей на профильно-шлифовальных станках, заточка и доводка резцов.

Изданный в 1954 г. учебник Г.И. Грановского и других преподавателей кафедры под редакцией В.А. Кривоухова «Резание металлов» отражает состояние этой научной сферы в середине XX века [15]. В нем к традиционным разделам по геометрическим параметрам режущей части лезвия и параметрам срезаемого слоя, физическим основам процесса, износу и стойкости инструментов добавлены разделы об инструментальных материалах и отдельных видах механической обработки резанием (точении, строгании, долблении, сверлении, зенкерования, развертывании, фрезерования, протягивании, зубонарезании и шлифовании).

В 1967 г. вышла книга «Развитие науки о резании металлов» — фундаментальный труд коллектива авторов, среди которых было четырнадцать докторов наук, в том числе представители кафедры. Многие главы этой монографии имеют самостоятельное научное значение: общее развитие теории и практики обработки металлов резанием (Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев); кинематика и колебания при резании металлов (Г.И. Грановский, В.Ф. Бобров); износ и стойкость режущего инструмента (Т.Н. Ломадзе, М.Н. Ларин) [16].

В 1950–1980-х годах основой научных работ становятся исследования режущих

свойств инструментальных материалов, проведенные по единой методике [17]. Результаты исследований отражены в ряде кафедральных сборников научных статей, в том числе в юбилейном сборнике к 150-летию МВТУ и 50-летию кафедры [18].

Отдельными исследованиями руководили преподаватели кафедры: Е.Д. Баклунов — протягивание тел вращения и наружное протягивание, влияние абразивного и алмазного затачивания и доводки на режущие свойства торцевых, пазовых, прорезных, концевых фрез; Е.К. Зверев, В.Ю. Малышко — износостойкость твердосплавных резцов, растачивание чугунных автомобильных гильз резцами из сверхтвердых материалов; Б.Д. Даниленко — режущие свойства спиральных быстрорежущих и твердосплавных сверл; Л.А. Рождественский — режущие свойства разверток; В.П. Покровский — влияние легирования на свойства быстрорежущих сталей; Е.В. Жихарев, А.Е. Древал — режущие свойства машинных метчиков. Результаты выполненных исследований стали основой новых нормативов режимов резания по видам механической обработки.

По результатам научных обобщений и исследований на кафедре с учетом существенного изменения научно-теоретического содержания учебного курса в 1985 г. был издан новый учебник по резанию, написанный отцом и сыном Грановскими [19].

В учебнике выделены положения, отражающие методические и научные интересы коллектива кафедры: зависимости геометрических параметров инструментов от условий его закрепления на станке; кинематика резания; моделирование процесса резания внешним трением индентора по заготовке; особенности пластического деформирования металла в зоне стружкообразования и закономерности наростообразования; экспериментальное и теоретическое определение сил резания; тепловые явления и температура резания; линейная и массовая меры износа лезвий, кривые износа, износостойкость и интенсивность изнашивания инструментальных материалов; подтверждение гипотезы адгезионного механизма износа лезвий; стойкость, ресурс инструмента и режимы резания; особенности различных видов обработки резанием.

При непосредственном участии заведующего кафедрой профессора Г.И. Грановского разработаны государственные стандарты, до сих пор

задающие терминологию и определения в этой предметной области: ГОСТ 25761 — Виды обработки резанием; ГОСТ 25762 — Обработка резанием; ГОСТ 25751 — Инструменты режущие.

Профессор Г.И. Грановский также обобщил разработанные расчетные методики по аппроксимации экспериментальных зависимостей резания металлов и стойкости инструментов, в том числе с использованием показательностепенных уравнений [20]. Под его руководством проводились исследования по использованию многофакторного планирования экспериментов и полиномиальных уравнений.

В 1950-х годах были начаты работы по применению электрофизических и электрохимических методов обработки в инструментальном производстве (доцентом Е.К. Зверевым).

В 1961 г. на кафедре создана отраслевая научно-исследовательская лаборатория при Минстанкопроме по исследованию режущих свойств алмазных кругов. Лабораторией руководили профессора Г.И. Грановский и С.А. Попов при активном участии доцентов Н.П. Малевского и В.С. Булошников, группы инженеров и аспирантов. За короткое время лаборатория превратилась в авторитетный научный испытательный центр, где были разработаны и применены оригинальные методики, стенды и приборы [18].

Позже начинаются исследования по электрохимическому алмазному шлифованию безвольфрамовых твердых сплавов (работы Н.П. Малевского, Л.М. Терещенко, Н.С. Таранова). Результаты обширных исследований по износу и работоспособности абразивных и алмазных кругов были обобщены и приведены в монографии [21]. В ней рассмотрены следующие вопросы: износ и удельный расход алмазов; рельеф режущей поверхности алмазных кругов; работа, мощность, тепловой режим алмазного шлифования; шероховатость поверхности и производительность шлифования; электрохимическое шлифование; рациональные режимы обработки.

Тогда же на кафедре был создан цикл «Теория электрофизических и электрохимических методов обработки», включающий в себя лекции, семинары, лабораторный практикум и другие виды учебных занятий.

Приход на кафедру в 1982 г. профессора В.Н. Подураева — известного ученого в области виброрезания, обработки труднообрабатываемых материалов, электрических, физико-хими-

ческих и комбинированных методов обработки — ознаменовался углублением существующих и появлением новых научных и учебных направлений [22–25].

Получили развитие научные работы по акустической диагностике процессов резания (подготовлена и защищена докторская диссертация А.В. Кибальченко); расширены техническая база и содержание исследований по направлению электроэрозионной обработки под научным и практическим руководством доцента И.Б. Ставицкого; проведены исследования в области электроэрозионной обработки глубоких отверстий малого диаметра, обработки алмазосодержащих поликристаллических сверхтвердых материалов; разработаны технологии для обработки малоразмерных деталей; выполнены работы по моделированию процесса электроэрозионной обработки с целью оптимизации режимных параметров.

В период руководства А.Е. Древаля продолжались исследования надежности режущих инструментов [26]. По этому направлению были защищены восемь кандидатских диссертаций, в том числе преподавателями кафедры А.С. Тарариновым, А.В. Литвиненко, Д.В. Виноградовым, а также докторская диссертация А.Е. Древаля.

Под руководством доцента Н.Ф. Зеленцовой проводились научные исследования по направлению инструментального обеспечения машиностроительных предприятий и лазерного упрочнения режущих инструментов, защитили кандидатские диссертации Н.К. Гаринов и А.А. Митрофанов.

В конце 1980-х годов под руководством профессора Н.Н. Зубкова и при активном участии доцента А.И. Овчинникова на кафедре разработано новое направление в металлообработке — деформирующее резание [27]. По этому направлению защитили кандидатские диссертации О.В. Кононов, С.Г. Васильев, А.Д. Слепцов, Я.И. Шуляк, Ю.Л. Битюцкая; подготовлены и другие работы, в том числе завершена докторская диссертация доцента С.Г. Васильева.

Метод деформирующего резания постоянно развивается и имеет широкую область применения: интенсификация теплообмена на наружных и внутренних поверхностях; фильтрующие трубы и сетки; капиллярные структуры тепловых труб; неразъемные соединения и биметаллы; износостойкие и самосмазывающи-

еся поверхности трения; подповерхностные полости для жидких смазок; армирование композитов; микроканальные теплообменники; восстановление размеров и свойств поверхности изношенных валов; деформационное упрочнение; закалка поверхности резцом непосредственно на станке.

Традиционно продолжают работы в области резбонарезания. Первые исследования в ней проводили Г.И. Грановский и Л.А. Рождественский, их продолжателями стали А.Е. Древаля, Е.В. Жихарев, А.В. Литвиненко.

В настоящее время активно развиваются научные работы по резбифрезерованию: готовится докторская диссертация доцента О.В. Малькова. Под его руководством проведены исследования, подготовлены и защищены кандидатские диссертации преподавателями кафедры И.А. Павлюченковым, А.С. Карельским; разработана система автоматизированного проектирования и опробованы оригинальные методики по расчету и проектированию комбинированных резбовых фрез.

Л.Д. Малькова завершила цикл исследований по управлению энергопотреблением при механической обработке резанием и защитила диссертацию по этой теме.

Совместно с АО «ВНИИИНСТРУМЕНТ» под руководством профессора С.В. Грубого выполнены исследования по сверхточной алмазной лезвийной и абразивной обработке отражателей и оптических элементов различного назначения. Алмазному шлифованию на сверхточных станках посвящена кандидатская диссертация М.А. Шавва.

Проведены исследования по технологии и оптимизации режимных параметров обработки ответственных деталей ракетно-космической техники, в частности шар-баллонов и вафельной конструкции обечайки корпуса космического корабля. По этому направлению защитили кандидатские диссертации С.Ю. Шачнев и А.М. Зайцев.

Продолжаются традиционные для кафедры исследования режущих свойств инструментов прогрессивных конструкций, оснащенных современными инструментальными материалами. Профессор С.В. Грубый рассмотрел процесс резания как управляемый детерминированный целенаправленный процесс с известной целью управления, достижение которой возможно путем закономерного изменения во времени управляемых (режимных) параметров. Разра-

ботаны и применены в научных исследованиях и учебном процессе методы математического моделирования, структурной и параметрической оптимизации, они последовательно отражены в публикациях [28–33].

Под руководством профессора А.Р. Маслова развивается направление по рациональному применению инструментальных систем, инструментальной и технологической оснастке машиностроительных производств и их влиянию на процесс резания и режущий инструмент [34, 35]. Под его руководством Е.Г. Тивирев подготовил и защитил кандидатскую диссертацию по повышению производительности концевой фрезерования.

Учебные пособия сотрудников кафедры представлены в ряде электронных библиотечных систем, в том числе зарубежных. Учебное пособие по технологической оснастке и зажимным устройствам, разработанное А.Р. Масловым и Е.Г. Тивиревым в 2024 г., переведено на английский и казахский языки.

На кафедре много внимания уделяется внедрению в учебный процесс современных компьютерных технологий. Разработаны и успешно читаются курсы: «Основы компьютерного проектирования», «Инженерный анализ конструкций методом конечных элементов», «Компьютерное проектирование операций механической обработки», «Автоматизированное проектирование инструментальных систем», «Автоматизация инженерного эксперимента», «Технология изготовления инструментов на станке с ЧПУ» и др.

Результаты научных исследований и разработок, выполненных на кафедре, нашли отражение в современном учебном процессе при подготовке специалистов, магистров и аспирантов и являются тем фундаментом, на котором базируются учебные дисциплины [36–38].

Кафедра совершенствует свою техническую базу: за последние годы при поддержке руководства университета приобретены и введены в эксплуатацию современные приборы и оборудование, в том числе вертикально-фрезерный обрабатывающий центр VM-2, электроэрозионный вырезной пятикоординатный станок АРТА 453ПРО.

Кафедра поддерживает устойчивые связи с предприятиями, среди которых: АО «НПО ЦНИИТМАШ», АО «ВНИИИНСТРУМЕНТ», ОАО «МПО им. Румянцева», АО «ММЗ АВАНГАРД», «РКК Энергия», АО «Выксунский металлургический завод», ООО «ИНТЕХНИКА», ПАО «АК Рубин», ЗАО «МНИТИ», НПЦАП им. академика Н.А. Пилюгина, НПЦ Газотурбостроения «Салют», ООО «Силур» (Пермь), ООО «ИнТехПромИнжиниринг» (Кемерово). На этих предприятиях студенты кафедры проходят производственные и преддипломные практики. По заказу ряда предприятий выполняются научно-исследовательские работы.

Научные исследования и разработки, проводившиеся в течение всех этих лет на кафедре, конечной целью всегда имели практическое применение на машиностроительных и приборостроительных предприятиях страны. Результаты работы кафедры отражены в нормативно-технических материалах, среди которых — справочники общероссийского значения: Справочник металлиста и Справочник технолога-машиностроителя [39, 40].

Коллектив кафедры сочетает накопленные за долгие годы знания, опыт профессоров и доцентов с пытливецостью, целеустремленностью и настойчивостью молодых преподавателей. Поэтому есть уверенность в перспективах развития научных и методических направлений кафедры, а также в достижении новых целей.

Литература

- [1] Панченко К.П., ред. *Русские ученые — основоположники науки о резании металлов*. Москва, Машгиз, 1952. 480 с.
- [2] Грановский Г.И., ред. *Резание металлов и инструмент*. Москва, Машгиз, 1955. 176 с.
- [3] Древаль А.Е., ред. *Резание и инструмент*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 132 с.
- [4] Абрамова И.Л. *150 лет факультету Машиностроительные технологии МГТУ им. Н.Э. Баумана. Создание и развитие технологических научных школ в России*. Москва, Аргамак-Медиа, 2018. 238 с.
- [5] Беспрозванный И.М. *Теория резания металлов*. Ч. 1. *Усилие резания*. Москва, Изд-во НТО МММИ, 1931. 97 с.

- [6] Беспрозванный И.М. *Процесс образования стружки при обработке металлов резанием*. Москва, Оборонгиз, 1939. 92 с.
- [7] Беспрозванный И.М. *Физические основы учения о резании металлов*. Москва, Оборонгиз, 1941. 220 с.
- [8] Беспрозванный И.М. *Основы теории резания металлов*. Москва, Машгиз, 1948. 391 с.
- [9] Грановский Г.И. *Кинематика резания*. Москва, Машгиз, 1948. 200 с.
- [10] Ларин М.Н. *Исследование торцевого фрезерования*. Москва, Оборонгиз, 1940. 84 с.
- [11] Ларин М.Н. *Конструирование режущей части фрез*. Москва, Машгиз, 1944. 53 с.
- [12] Ларин М.Н. *Оптимальные геометрические параметры режущей части инструментов*. Москва, Оборонгиз, 1953. 148 с.
- [13] Ваклунов Е.Д. *Протяжки. Конструкция, технология изготовления и эксплуатация*. Москва, Машгиз, 1960. 168 с.
- [14] Грановский Г.И., Панченко К.П. *Фасонные резы*. Москва, Машиностроение, 1975. 309 с.
- [15] Грановский Г.И., Грудов П.П., Кривоухов В.А. и др. *Резание металлов*. Москва, Машгиз, 1954. 472 с.
- [16] Бобров В.Ф., Грановский Г.И., Зорев Н.Н. и др. *Развитие науки о резании металлов*. Москва, Машиностроение, 1967. 416 с.
- [17] Грановский Г.И., ред. *Методики экспериментальных исследований по определению исходных данных для разработки общемашиностроительных нормативов режимов резания по основным видам обработки*. Москва, НИИМАШ, 1982. 159 с.
- [18] Грановский Г.И., ред. *Резание и инструмент*. Москва, Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1980. 134 с.
- [19] Грановский Г.И., Грановский В.Г. *Резание металлов*. Москва, Высшая школа, 1985. 304 с.
- [20] Грановский Г.И. *Обработка результатов экспериментальных исследований резания металлов*. Москва, Машиностроение, 1982. 112 с.
- [21] Попов С.А., Малевский Н.П., Терещенко Л.М. *Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов*. Москва, Машиностроение, 1977. 263 с.
- [22] Подураев В.Н. *Обработка резанием жаропрочных и нержавеющей материалов*. Москва, Высшая школа, 1965. 518 с.
- [23] Подураев В.Н. *Обработка резанием с вибрациями*. Москва, Машиностроение, 1970. 351 с.
- [24] Подураев В.Н. *Резание труднообрабатываемых материалов*. Москва, Высшая школа, 1974. 587 с.
- [25] Подураев В.Н. *Технология физико-химических методов обработки*. Москва, Машиностроение, 1985. 264 с.
- [26] Древаль А.Е., ред. *Надежность инструментальных систем ракетно-космического производства*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. 19 с.
- [27] Зубков Н.Н., Овчинников А.И., Васильев С.Г. и др. *Основы метода деформирующего резания*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 28 с.
- [28] Петрушин С.И., Грубый С.В. *Обработка чугунов и сталей сборными резами со сменными многогранными пластинами*. Томск, Изд-во ТПУ, 2000. 156 с.
- [29] Грубый С.В. *Оптимизация процесса механической обработки и управление режимными параметрами*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 149 с.
- [30] Грубый С.В. *Методы оптимизации режимных параметров лезвийной обработки*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 94 с.
- [31] Грубый С.В. *Оптимизация механической обработки*. Санкт-Петербург, Лань, 2019. 140 с.
- [32] Грубый С.В. *Математическое моделирование и оптимизация механической обработки*. Москва, Вологда, Инфра-Инженерия, 2022. 212 с.
- [33] Грубый С.В. *Моделирование процесса резания твердосплавными и алмазными резами*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 107 с.
- [34] Маслов А.Р., Тивирев Е.Г. *Инструментальные системы машиностроительного производства*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022. 92 с.

- [35] Маслов А.Р. *Технологии производства микродеталей*. Москва, Техносфера, 2023. 236 с.
- [36] Грубый С.В. *Расчет параметров и показателей процесса резания*. Москва, Вологда, Инфра-Инженерия, 2020. 193 с.
- [37] Грубый С.В. *Расчет режимов резания для операций механической обработки*. Москва, Вологда, Инфра-Инженерия, 2021. 200 с.
- [38] Зубков Н.Н. *Диссертация в техническом университете*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. 118 с.
- [39] Древаль А.Е., Скороходов Е.А., ред. *Краткий справочник металлиста*. Москва, Машиностроение, 2005. 959 с.
- [40] Васильев А.С., Кутин А.А., ред. *Справочник технолога-машиностроителя*. В 2 т. Москва, Инновационное машиностроение, 2018. 756 с.

References

- [1] Panchenko K.P., ed. *Russkie uchenye — osnovopolozhnikhi nauki o rezanii metallov* [Russian scientists — founders of metal cutting science]. Moscow, Mashgiz Publ., 1952. 480 p. (In Russ.).
- [2] Granovskiy G.I., ed. *Rezanie metallov i instrument* [Metal cutting and tools]. Moscow, Mashgiz Publ., 1955. 176 p. (In Russ.).
- [3] Dreval A.E. *Rezanie i instrument* [Cutting and tools]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2000. 132 p. (In Russ.).
- [4] Abramova I.L. *150 let fakultetu Mashinostroitelnye tekhnologii MGTU im. N.E. Baumana. Sozdanie i razvitie tekhnologicheskikh nauchnykh shkol v Rossii* [150 Years of the Faculty of Machine-Building Technologies of Bauman Moscow State Technical University. Creation and development of technological scientific schools in Russia]. Moscow, Argamak-Media Publ., 2018. 238 p. (In Russ.).
- [5] Besprozvanny I.M. *Teoriya rezaniya metallov*. Ch. 1. *Usilenie rezaniya* [Theory of metal cutting. P. 1. Reinforcement of cutting.]. Moscow, Izd-vo NTO MMMI Publ., 1931. 97 p. (In Russ.).
- [6] Besprozvanny I.M. *Protsess obrazovaniya struzhki pri obrabotke metallov rezaniem* [Process of chip formation at metal cutting.]. Moscow, Oborongiz Publ., 1939. 92 p. (In Russ.).
- [7] Besprozvanny I.M. *Fizicheskie osnovy ucheniya o rezanii metallov* [Physical bases of the doctrine of metal cutting]. Moscow, Oborongiz Publ., 1941. 220 p. (In Russ.).
- [8] Besprozvanny I.M. *Osnovy teorii rezaniya metallov* [Fundamentals of the theory of metal cutting]. Moscow, Mashgiz Publ., 1948. 391 p. (In Russ.).
- [9] Granovskiy G.I. *Kinematika rezaniya* [Kinematics of cutting]. Moscow, Mashgiz Publ., 1948. 200 p. (In Russ.).
- [10] Larin M.N. *Issledovanie tortsevogo frezerovaniya* [Investigation of face milling]. Moscow, Oborongiz Publ., 1940. 84 p. (In Russ.).
- [11] Larin M.N. *Konstruirovaniye rezhushchey chasti frez* [Design of the cutting part of milling cutters]. Moscow, Mashgiz Publ., 1944. 53 p. (In Russ.).
- [12] Larin M.N. *Optimalnye geometricheskie parametry rezhushchey chasti instrumentov* [Optimal geometrical parameters of cutting part of tools]. Moscow, Oborongiz Publ., 1953. 148 p. (In Russ.).
- [13] Baklunov E.D. *Protyazhki. Konstruktsiya, tekhnologiya izgotovleniya i ekspluatatsiya* [Protractors. Design, manufacturing technology and operation]. Moscow, Mashgiz Publ., 1960. 168 p. (In Russ.).
- [14] Granovskiy G.I., Panchenko K.P. *Fasonnye reztsy* [Shaped cutters]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1975. 309 p. (In Russ.).
- [15] Granovskiy G.I., Grudov P.P., Krivoukhov V.A., ed. *Rezanie metallov* [Cutting of metals]. Moscow, Mashgiz Publ., 1954. 472 p. (In Russ.).
- [16] Bobrov V.F., Granovskiy G.I., Zorev N.N. et al. *Razvitie nauki o rezanii metallov* [Development of metal cutting science]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1967. 416 p. (In Russ.).
- [17] Granovskiy G.I., ed. *Metodiki eksperimentalnykh issledovaniy po opredeleniyu iskhodnykh dannykh dlya razrabotki obshchemashinostroitelnykh normativov rezhimov rezaniya po os-*

- novnym vidam obrabotki* [Methods of experimental studies to determine the initial data for the development of general machine-building norms of cutting modes for the main types of processing]. Moscow, NIIMASh Publ., 1982. 159 p. (In Russ.).
- [18] Granovskiy G.I., ed. *Rezanie i instrument* [Cutting and tools]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 1980. 134 p. (In Russ.).
- [19] Granovskiy G.I., Granovskiy V.G. *Rezanie metallov* [Cutting of metals]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1985. 304 p. (In Russ.).
- [20] Granovskiy G.I. *Obrabotka rezultatov eksperimentalnykh issledovaniy rezaniya metallov* [Processing of results of experimental studies of metal cutting]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1982. 112 p. (In Russ.).
- [21] Popov S.A., Malevskiy N.P., Tereshchenko L.M. *Almazno-abrazivnaya obrabotka metallov i tverdykh splavov* [Diamond-abrasive processing of metals and hard alloys]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977. 263 p. (In Russ.).
- [22] Poduraev V.N. *Obrabotka rezaniem zharoprochnykh i nerzhaveyushchikh materialov* [Cutting treatment of heat-resistant and stainless materials]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1965. 518 p. (In Russ.).
- [23] Poduraev V.N. *Obrabotka rezaniem s vibratsiyami* [Processing by cutting with vibrations]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1970. 351 p. (In Russ.).
- [24] Poduraev V.N. *Rezanie trudnoobrabatyvaemykh materialov* [Cutting of hard-to-process materials]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1974. 587 p. (In Russ.).
- [25] Poduraev V.N. *Tekhnologiya fiziko-khimicheskikh metodov obrabotki* [Technology of physico-chemical methods of machining]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 264 p. (In Russ.).
- [26] Dreval A.E., ed. *Nadezhnost instrumentalnykh sistem raketno-kosmicheskogo proizvodstva* [Reliability of instrumental systems of rocket-space production]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 1997. 19 p. (In Russ.).
- [27] Zubkov N.N., Ovchinnikov A.I., Vasilyev S.G. et al. *Osnovy metoda deformiruyushchego rezaniya* [Fundamentals of the method of deforming cutting]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2005. 28 p. (In Russ.).
- [28] Petrushin S.I., Grubyi S.V. *Obrabotka chugunov i staley sbornymi reztsami so smennymi mnogogrannymi plastinami* [Processing of cast irons and steels by prefabricated cutters with interchangeable polyhedral plates]. Tomsk, Izd-vo TPU Publ., 2000. 156 p. (In Russ.).
- [29] Grubyi S.V. *Optimizatsiya protsessa mekhanicheskoy obrabotki i upravlenie rezhimnymi parametrami* [Optimization of a process of mechanical processing and control of mode parameters]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2014. 149 p. (In Russ.).
- [30] Grubyi S.V. *Metody optimizatsii rezhimnykh parametrov lezviynoy obrabotki* [Methods of optimization of mode parameters of blade machining]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2008. 94 p. (In Russ.).
- [31] Grubyi S.V. *Optimizatsiya mekhanicheskoy obrabotki* [Optimization of mechanical processing]. Sankt-Petersburg, Lan Publ., 2019. 140 p. (In Russ.).
- [32] Grubyi S.V. *Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya mekhanicheskoy obrabotki* [Mathematical modelling and optimization of mechanical processing]. Moscow, Vologda, Infra-Inzheneriya Publ., 2022. 212 p. (In Russ.).
- [33] Grubyi S.V. *Modelirovanie protsessa rezaniya tverdosplavnymi i almaznymi reztsami* [Modelling of process of cutting by hard-alloy and diamond cutters]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2010. 107 p. (In Russ.).
- [34] Maslov A.R., Tivirev E.G. *Instrumentalnye sistemy mashinostroitelnogo proizvodstva* [Instrumental systems of machine-building production]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2022. 92 p. (In Russ.).
- [35] Maslov A.R. *Tekhnologii proizvodstva mikrodetaley* [Technologies of production of micro-details]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2023. 236 p. (In Russ.).
- [36] Grubyi S.V. *Raschet parametrov i pokazateley protsessa rezaniya* [Calculation of parameters and indicators of the cutting process]. Moscow, Vologda, Infra-Inzheneriya Publ., 2020. 193 p. (In Russ.).

- [37] Grubyi S.V. *Raschet rezhimov rezaniya dlya operatsiy mekhanicheskoy obrabotki* [Calculation of cutting modes for machining operations]. Moscow, Vologda, Infra-Inzheneriya Publ., 2021. 200 p. (In Russ.).
- [38] Zubkov N.N. *Dissertatsiya v tekhnicheskoy universitete* [Dissertation in technical university]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2021. 118 p. (In Russ.).
- [39] Dreval A.E., Skorokhodov E.A., eds. *Kratkiy spravochnik metallista* [Brief reference book of metalworker]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2005. 959 p. (In Russ.).
- [40] Vasilyev A.S., Kutin A.A., eds. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroyitelya*. In 2 vol. [Handbook of technologist-machine engineer]. Moscow, Innovatsionnoye mashinostroenie Publ., 2018. 756 p. (In Russ.).

*Заведующий кафедрой «Инструментальная техника и технологии»
Грубый С.В.*