

УДК 622:679.8

Ю.А. Павлов

ИНТЕГРИРОВАННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕКОРАТИВНО-ХУДОЖЕСТВЕННЫХ И ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЦВЕТНОГО КАМНЯ

Семинар № 18

Перед отечественными камнеобрабатывающими, художественными, гранильными и ювелирными производствами наиболее сложной проблемой стала необходимость непрерывной адаптации выпускаемой продукции к требованиям заказчика, которые становятся все более разнообразными. Удовлетворить жесткие условия конкурентоспособности продукции оптимальным образом может современное компьютеризированное интегрированное производство (КИП - CIM), замкнутое на рынок и гибко реагирующее на его конъюнктуру [3, 5]. Актуальным стало создание и использование интегрированных объектно-ориентированных компьютерных систем для поддержки производственных процессов, эффективно решающих следующие наиболее трудоемкие задачи [9]:

- художественный дизайн конкурентоспособных изделий (ART);
- инженерный анализ - расчет и математическое моделирование новых изделий, объектов и процессов (CAE);
- проектирование и конструкторская разработка изделий, специальной оснастки и инструмента (CAD);
- технологическая подготовка производства изделий (CAM);
- управление процессом проектирования и подготовки технической документации, сопровождающей изделие на всех стадиях его жизненного цикла (PDM).

Общие требования к компьютеризированной интегрированной системе ART-CAE-CAD-CAM-PDM определяются спецификой рассматриваемых изделий, а также условиями их промышленного производства:

- ориентация на удовлетворение непрерывно возрастающих потребительских запро-

сов заказчиков, в том числе эстетических и эргономических требований к изделиям;

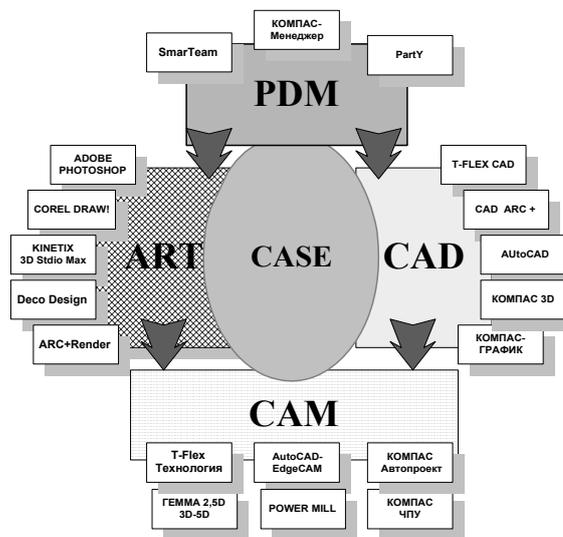
- использование различных художественной техники исполнения (рисунка, графики, пластики малых форм, скульптуры, макета и т.д.) для задания исходного образа, определяющего замысел изделия;
- представление конфигурации деталей в виде плоских и объемных тел произвольных геометрических форм со сложными рельефными поверхностями;
- применение различных природных и искусственных материалов, в том числе облицовочных, поделочных и ювелирных камней;
- широкое использование высокотвердых трудно обрабатываемых материалов - алмазов, камней, стекла, керамики, других синтетических минералов и кристаллов;
- высокое качество воспроизведения оригинала с точки зрения передачи цвета, текстуры и фактуры материала, точности получения геометрических форм и размеров (сотые доли мм), шероховатости поверхности, измеряемой десятками и сотыми долями мкм (например, при микрошлифовании и полировании);
- постоянное совершенствование способов и методов изготовления (формообразования, сборки, измерений), в том числе на основе нетрадиционных технологий;
- высокий уровень автоматизации технологических процессов изготовления с использованием прогрессивного оборудования и компьютерных систем программного управления;
- многономенклатурный характер производства часто изменяющихся изделий, изготавливаемых небольшими партиями или индивидуально с возможностью произвольного задания программы выпуска при минимальных затратах.

Рис. 1. Структурная схема интегрированной компьютерной системы

Созданный на кафедре ТХОМ комплекс программных средств ART-CAD-CAM-PDM является интегрированной системой дизайна (ART), конструкторского проектирования (CAD), технологического проектирования (CAM) и подготовки производства (PDM) разнообразных декоративно-художественных, архитектурно-строительных или ювелирных изделий [3, 9]. Структура комплекса, выполненного по модульному принципу, показана на рис. 1.

Отдельные программные модули данной системы представляют собой автономные взаимосвязанные подсистемы, которые поддерживают работу инженера-дизайнера, конструктора и технолога, никак не ограничивая их творческие способности. Основными функциями программного комплекса являются: создание художественного образа изделия с возможностью векторизации растровых изображений; трехмерное моделирование изделия; тонирование поверхностей и имитация текстуры материала деталей; конструирование сложных композиций и их визуализация; расчеты физико-технических и других характеристик; создание чертежей общих видов и деталей; параметризация графического представления на основе графических моделей и чертежей; разработка конструкторской и технологической документации; получение управляющих программ для обработки деталей на станках с ЧПУ; проектирование специальной технологической оснастки и инструмента для изготовления деталей; управление процессами проектирования и создание архивов проектов.

CASE-средства поддержки инженерных решений представляют собой интеллектуальные программные инструменты, с помощью которых создается обобщенная параметрическая модель объекта проектирования и формируется база знаний в данной предметной области. Эта база содержит методологию разработки конкретного программного приложения интегрированной системы художественного и



конструкторского проектирования с привлечением знаний и умений системных экспертов и высококвалифицированных специалистов.

База знаний пользователей накапливается в процессе эксплуатации прикладной системы ART-CAD-CAM в специально созданной программной оболочке, которая представляет собой интегрированную интеллектуальную систему (ИнИС) [3]. В среде этой системы реализованы программные средства для управления и отображения текущего состояния многоуровневого процесса художественного, технического и технологического проектирования конкретного вида изделий.

Интегрированные компьютерные системы дизайна, конструкторско-технологического проектирования, подготовки производства конкретного вида изделий и управления этими процессами строятся с использованием нескольких базовых программных комплексов (например, Corel Draw, AutoCAD, КОМПАС - 3D, T-Flex CAD-3D и др.). Каждый из этих программных комплексов наиболее полно решает определенный объем задач, например, связанных с разработкой художественного образа изделия (ART), с его конструированием (CAD), расчетами и моделированием (CAE) или с технологическим проектированием и подготовкой производства (CAM).

Эффективность камнеобрабатывающих и гранильных производств зависит, в первую очередь, от уровня автоматизации их технологической подготовки, основу которой составляют компьютерные средства АСТПП (CAM).

В обрабатывающих производствах сформировались три вида технологий: единичная, типовая и групповая, каждая из которых с учетом своих преимуществ и недостатков находит определенную область применения. Из-за несовершенства единичной технологии ее широкое применение на камнеобрабатывающих предприятиях приводит к расточительности трудовых и материальных ресурсов, к ухудшению качества выпускаемых изделий, а в конечном итоге - к снижению конкурентной способности данной отрасли на мировом рынке.

Типовой технологический процесс характеризуется единством содержания и последовательности большинства технологических операций и переходов для нескольких изделий с общими конструктивными признаками. Разработка типовой технологии основывается на классификации изделий или их элементов (комплектов, узлов, деталей) на классы - подклассы - группы - подгруппы - типы. На представительное изделие или деталь разрабатывается типовой технологический процесс (ТП), по которому осуществляется изготовление всех изделий (деталей) этого типа. Тем самым типовой ТП разрешает противоречие между большими затратами на технологическую подготовку производства сложных изделий и высокой частотой сменяемости продукции, выпускаемой малыми сериями. Все современные технологические САПР используют инструмент создания типовых ТП, сохранения их в архиве и возможность быстрого вызова по определенным признакам (например, коду изготавливаемой детали).

Усложнение конструкции изделий, увеличение разнообразия обрабатываемых деталей и возрастание объемов мелкосерийного производства способствуют широкому использованию на предприятиях оборудования с ЧПУ, требующего очень тщательной и подробной разработки технологических процессов. В этих условиях принцип типизации стал развиваться применительно к технологии обработки отдельных поверхностей деталей. Представление детали в виде типовых геометрических элементов с изменяющимися параметрами отражает сущность современного процесса конструирования, в том числе при использовании САПР.

Развитием идеи типизации технологических процессов стал принцип групповой технологии. Групповой ТП процесс основан на группировании изделий (сборочных единиц, комплектов и деталей) по их технологическому

подобию. Для группы изделий или их элементов проектируется комплексный представитель в виде собирательного образа, в котором отражены основные свойства изделий (деталей) этой группы. Задачей групповой технологии является повышение эффективности производства путем увеличения его фактической серийности посредством организации партий однотипных по технологическому признаку изделий (деталей). Если типовая технология обеспечивает повышение эффективности всей технологической подготовки производства, то групповая технология увеличивает эффективность самого технологического процесса.

Наибольший эффект от внедрения групповых технологических процессов получают в серийном производстве с установившейся периодически сменяемой номенклатурой деталей. Примером решения такой производственной задачи является поставка по точному графику камнеобрабатывающим предприятием разнообразных облицовочных деталей для строительных работ, выполняемых по типовым архитектурным проектам.

Разработка групповых технологических процессов выполняется с учетом календарных планов выпуска изделий, месячных, недельных и сменных заданий. Поэтому автоматизированное проектирование групповых производств неразрывно связано с использованием компьютерных систем управления и организации производства.

Метод модульной технологии основан на разработке технологических процессов изготовления деталей в виде совокупности унифицированных технологических операций – технологических модулей изготовления (МТИ). Каждый МТИ дает возможность получить наиболее рациональным способом определенный конструктивный элемент этой детали. В качестве таких обобщенных элементов предлагается использовать типовые модули поверхностей (МП) деталей, разделенные по их функциональному назначению на базисные, рабочие и связующие. Этот метод позволяет, таким образом, решить задачу проектирования технологических процессов из заранее сформированного набора конструкторско-технологических модулей. Основой для создания этих модулей является систематизация функционально-геометрических элементов поверхностей деталей при проектировании изделий из камня, создание параметрических библиотек модулей поверхностей деталей, а также параметрических

библиотек типовых модулей изготовления этих элементов на станках с ЧПУ. Метод модульных технологий становится одновременно средством реализации в производстве наиболее эффективных групповых технологических процессов.

Методология модульной технологии может быть реализована в автоматизированных системах подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ, входящих в АСТПП. Для возможности работы с параметрическими графическими моделями изготавливаемых деталей данные системы интегрированы с САПР и образуют единую систему конструкторско-технологического проектирования (CAD-CAM).

В настоящее время все большее распространение получает концепция управления производственной системой на основе понятия жизненного цикла изделия (ЖЦИ) [3]. Под изделием в этом случае понимают любой сложный технический, архитектурно-строительный, программный или другой объект, удовлетворяющий долговременные интересы многих потребителей и допускающий различные варианты его использования. В соответствии со стандартами серии ISO 9004 (управление качеством изделий) интегрированная производственная система на основе ЖЦИ решает следующие задачи: маркетинг (поиск и изучение рынка); разработка технических требований и проектирование изделий; материально-техническое снабжение; подготовка и разработка технологических процессов; контроль, проведение испытаний и исследование; упаковка и хранение; реализация или распределение; монтаж и эксплуатация; техническая помощь в обслуживании; утилизация после завершения использования.

Информационные производственные системы, охватывающие все стадии ЖЦИ, получили название CALS (системы непрерывного сопровождения и поддержки жизненного цикла изделия), а процесс функционирования компьютерных интегрированных производственных систем данного типа называют CALS-технологией [3]. Основой данной технологии является единая компьютерная модель изделия, а также международные стандарты описания его физических и функциональных параметров (STEP - ISO 10303, SGML - ISO 8879, PARTLIB - ISO 13584), позволяющие корпоративно использовать эту модель всеми разработчиками и пользователями на протяжении всего жиз-

ненного цикла изделия. Создание единого информационного пространства предприятия с любой организационной структурой, а также возможность включения в эту среду исполнителей, поставщиков и заказчиков осуществляется с помощью компьютерных систем управления данными об изделии - PDM.

Интегрированная компьютерная система ART-CAD-CAM-PDM должна восприниматься как инструмент, призванный обеспечить поддержку действий разработчиков: дизайнеров, инженеров-конструкторов и технологов, главного и ведущих специалистов предприятия. Все эти специалисты выполняют проектные работы и определяют качество принимаемых решений при создании и организации производства выпускаемых изделий конкретного вида и назначения. Разработанная применительно к камнеобрабатывающим и гранитным производствам классификация приложений интегрированной системы дизайнера, конструкторско-технологического проектирования и подготовки производства соответствует видам изделий, используемым методам формообразования и технологическим способам изготовления [3, 9]. Всего выделено восемь прикладных систем.

Компьютерная система "Плита" включает в себя проектные работы и технологическую подготовку мелкосерийного и индивидуального производства плоских изделий из мрамора или гранита. К таким изделиям относятся нестандартные подоконники, ступени, столешницы, мемориальные доски, фигурные рамы и многие другие, имеющие прямоугольную либо произвольную форму, шлифованную или полированную лицевую поверхность с обрезными и профилированными гранями. Использование компьютерных технологий позволяет расширить номенклатуру выпускаемой предприятием продукции данного класса, существенно улучшить ее эстетические и потребительские свойства, значительно сократить время выполнения заказа.

Система "Призма" охватывает группу призматических изделий со сложным профилем типа цоколей колонн, пьедесталов, парапетов, стел и т.д., изготавливаемых преимущественно из гранита, габбро, лабрадорита и реже мрамора. Разнообразные формы данных изделий целесообразно создавать с использованием компьютерных программ твердотельного моделирования, а многооперационный процесс профилирования - с помощью интегрирован-

ных технологических САПР и автоматизированных систем подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.

Прикладная программная система "Ротонда" позволяет выполнять художественное и техническое проектирование архитектурно-строительных и декоративных каменных изделий из группы тел вращения (колонн, балясин, ваз, подставок, шаров, фонтанов и т.д.). Формы этих изделий могут быть цилиндрическими, коническими, сложно-профильными и комбинированными. Технологический процесс обработки включает токарные (при изготовлении деталей небольших размеров из горных пород низкой прочности), фрезерные, кругло- или профилишлифовальные, полировальные операции. Проектирование такого многооперационного процесса является задачей интегрированной компьютерной системы технологического проектирования и подготовки производства. Результатом может быть не только технологическая документация, но и управляющие программы для станков с ЧПУ.

Назначением прикладной системы "Рельеф" является дизайн и конструкторско-технологическое проектирование объемных орнаментов, барельефов, фигурных текстов, камей и других декоративно-художественных элементов из мрамора, гранита и цветных камней. Основными формообразующими операциями резьбы по камню являются 3-координатное фрезерование, глубокое гравирование и профильное шлифование цилиндрическими, коническими или сфе-

рическими абразивно-алмазными кругами. Использование интегрированных компьютерных технологий CAD-CAM позволяет создавать 3D-модели этих изделий, на основании которых автоматически формируются многопроходные траектории инструментов в процессе обработки на станках с ЧПУ. По этим компьютерным моделям могут также изготавливаться шаблоны для формообразования поверхностей изделий методом копирования, например, на ультразвуковых станках со свободным абразивом, подаваемым в зону обработки.

Система "Скульптура" позволяет выполнять дизайнерские разработки, конструкторско-технологическое проектирование и подготовку производства изделий из камня с произвольными объемно-пространственными формами. К таким изделиям относятся, например, архитектурные элементы декора, садово-парковые фигуры, монументы, статуи, бюсты, декоративные детали пластики малых форм. Разработка твердотельных моделей этих изделий требует использования при компьютерном дизайне и проектировании мощных программных средств построения лекальных кривых, геометрических поверхностей с плавными формами и логических преобразований разнообразных трехмерных фигур, а также широких возможностей фотореалистичной визуализации.

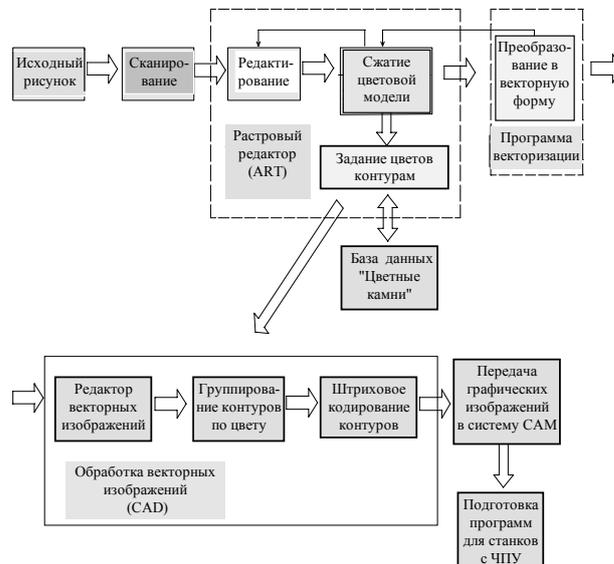


Рис. 2. Структура интегрированной компьютерной системы "Мозаика"

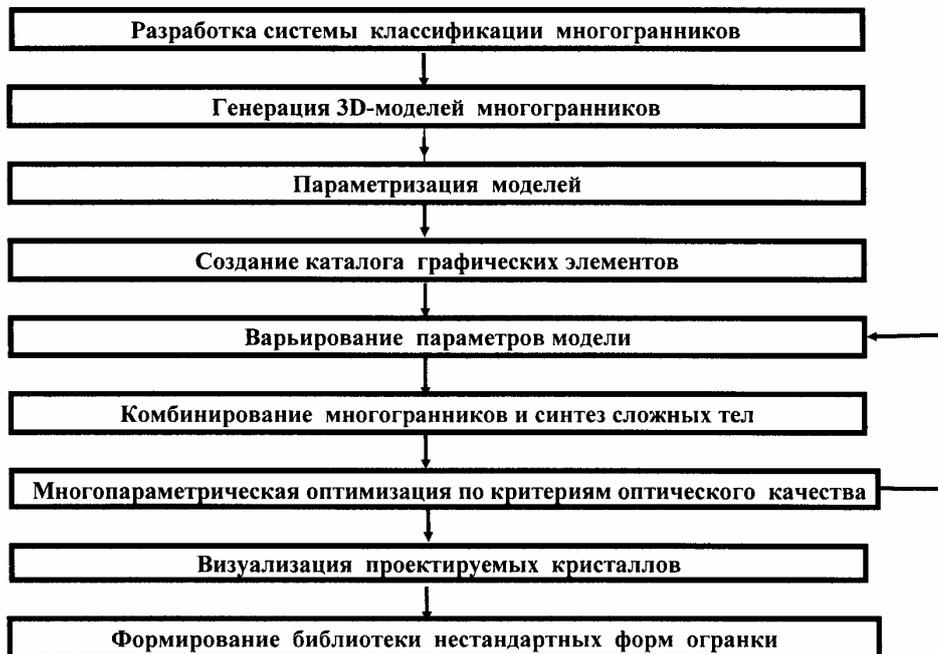


Рис. 3. Алгоритм функционирования системы "Грань"

Технологический процесс изготовления скульптурных изделий выполняется на специализированных многокоординатных станках типа "обрабатывающих центров" с компьютерными системами ЧПУ, позволяющих вести токарную, фрезерную и шлифовальную обработку непосредственно по 3D-модели изделия либо сканированием предварительно изготовленных макетов

Интегрированная компьютерная система "Гравер" предназначена для подготовки и выполнения операций гравирования художественных изображений на плоских, цилиндрических и сферических поверхностях, используя разные методы формообразования. Кроме традиционного способа воспроизведения графических рисунков на автоматизированных фрезерно-гравиро-вальных станках в последние годы стал использоваться растровый метод гравирования полутоновых изображений (например, фотографий) с помощью специальных виброударных и лазерных станков с ЧПУ, являющихся объектом исследований специалистов кафедры ТХОМ [1, 10].

Назначением компьютерной интегрированной системы "Мозаика" является дизайнерская

разработка (ART) и конструкторско-технологическая подготовка производства (CAD-CAM) мозаичных изделий разного вида из цветного камня и других материалов (панно для интерьеров или экстерьеров зданий и сооружений; вставки для художественного оформления декоративных или ювелирных изделий) [7, 8]. Структурная схема компьютерной системы "Мозаика" показана на рис. 2.

Особенностью данной системы является необходимость работы с большим количеством элементов (деталей), выполненных из разных материалов, которые имеют индивидуальные геометрические формы, определяемые созданной векторной графической моделью исходного изображения. Изготовление элементов мозаики выполняется на контурно-вырезных станках с ЧПУ, использующих разные методы обработки: струйно-абразивный, лазерный или алмазно-проволочный. Сборка мозаичных изделий обычно выполняется вручную по шаблонам, подготовленным на компьютере. Для идентификации элементов мозаики при сборке может быть применено штриховое кодирование с нанесением этикетки на каждый вырезаемый элемент на специальных штрих-кодовых устройствах. Лазерные контурно-вырезные станки с ЧПУ имеют встроенное устройство для нанесения штриховых или бук-

венно-цифровых кодов лазерным лучом непосредственно на поверхности вырезаемых деталей.

Назначением компьютерной интегрированной системы "Грань" является автоматизированный синтез новых форм огранки кристаллов для ювелирного производства, разработка твердотельных моделей кристаллов, многопараметрическая оптимизация этих моделей по критериям оптического качества и фотореалистичная визуализация созданных моделей кристаллов с новой формой огранки [3, 5, 6]. Процесс компьютерного проектирования кристаллов с произвольной формой огранки показан на рис. 3.

Огранка кристаллов выполняется на специальных многокоординатных микрошлифовальных станках с компьютерным ЧПУ непосредственно по введенной в систему управления 3D-модели. Разработка таких станков, исследование процессов микрошлифования и их компьютерного управления также выполняется на кафедре ТХОМ [5, 11].

Важным условием эффективного использования на камнеобрабатывающих, гранильных и ювелирных предприятиях современных компьютерных технологий является привлечение квалифицированных специалистов, целевая подготовка которых проводится в МГГУ [2, 4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миков И.Н., Морозов В.И., Павлов Ю.А. Технологические принципы растрового факсимильного механического копирования. // Автоматизация и современные технологии, 2000, №3, с. 18-23
2. Морозов В.И., Павлов Ю.А. Многоуровневая подготовка специалистов для камнеобрабатывающих, гранильных и ювелирных производств. // Камень и бизнес, 2001, №1 (19), с. 31-34
3. Павлов Ю.А. Компьютерные системы проектирования и подготовки производства промышленных изделий из камня: Учеб. пособие для студ. спец. 121200. В 3-х частях. Ч.1: Научные основы, методы и средства разработки программных приложений. - М.: МГГУ, 2002. - 108 с.
4. Павлов Ю.А. Принципы компьютеризации процесса подготовки инженеров-технологов по художественной обработке камня. // Камень и бизнес, 2002, №1 (21), с.36-37
5. Павлов Ю.А., Ахрамов Д.В. Концепция компьютерной интегрированной технологической системы огранки кристаллов произвольной формы. // Труды IV Международного конгресса "Конструкторско-технологическая информатика". В 2 томах. - М.: МГТУ "Станкин", 2000, т.2, с. 92-94
6. Павлов Ю.А., Ахрамов Д.В. Оценка оптических свойств кристаллов с произвольной формой огранки методом трехмерного компьютерно-графического моделирования. // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: Изд-во МГГУ, 2001, №6, с. 233-2367
7. Павлов Ю.А., Клюкин А.А. Интегрированная компьютерная система художественно-технического проектирования и подготовки производства мозаичных изделий. // Межвузовский сб. научн. трудов "Новые материалы и производственные технологии в сфере сервиса". - М.: МГУС, 2000, с. 87-93
8. Павлов Ю.А., Лобанев С.А., Шайкин П.К. Компьютерная база "Цветные камни" для системы автоматизированного проектирования и подготовки производства. // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: Изд-во МГГУ, 2000, №9, с. 250-253
9. Павлов Ю.А., Манюшин Р.А., Шайкин П.К. Комплекс программных средств для создания и конструкторско-технологической подготовки производства художественных изделий. // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: Изд-во МГГУ, 1999, №6, с. 123-125
10. Павлов Ю.А., Миков И.Н., Дроздов В.И. Компьютерная технология и оборудование для художественного гравирования облицовочных и поделочных камней. // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: Изд-во МГГУ, 2000, №3, с. 199-204
11. Сильченко О.Б., Коньшин А.С., Теплова Т.Б. Обработка твердоструктурных минералов резанием на шлифовальных станочных модулях с ЧПУ с применением новой технологии. // Горные машины и автоматика, 2001, № 11. с. 31 – 33

Коротко об авторах

Павлов Юрий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология художественной обработки материалов» Московского государственного горного университета.

