

УДК 681.3.06

АНАЛИЗ И СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ СПЕЦИАЛЬНЫХ СПЛАВОВ

*канд. техн. наук, доц. В.М. КОНСТАНТИНОВ, О.А. ВОЙТЕХОВИЧ
(Полоцкий государственный университет)*

Проанализированы существующие программные средства в области автоматизации и проектирования в машиностроении. Разработана принципиальная структура базы данных системы проектирования защитных покрытий из специальных сплавов. Предложен принцип проектирования защитных покрытий из специальных сплавов.

В настоящее время активно ведётся работа в области синтеза защитных покрытий из специальных сплавов, в том числе и учеными Полоцкого государственного университета [1 - 4]. Разрабатываемые научным коллективом университета сплавы характеризуются минимальными затратами на освоение и адаптированы к конкретным производственным и эксплуатационным условиям. Однако процесс проектирования происходит, по большому счёту, вручную - используется аналитический аппарат и проводится большое количество экспериментальных опытов. Данный подход имеет как достоинства, так и недостатки. Исследователь полностью контролирует процесс проектирования, однако от него требуются глубокие знания предметной области, наличие большого количества справочного материала. Необходимы материальные и временные ресурсы для проведения экспериментальных опытов.

Актуальной становится задача создания компьютерной системы автоматического проектирования (САПР) защитных покрытий из специальных сплавов с требуемыми свойствами. Применение САПР позволит уменьшить сроки разработки нового защитного покрытия, уменьшить затраты на экспериментальные исследования. Актуальность создания САПР также продиктована ростом популярности нового научного направления, которое на языке-оригинале называется Computational Materials Science [5, 6], что подтверждается множеством проводимых научно-исследовательских работ в области компьютерного моделирования в материаловедении [7 - 10].

Цели и задачи работы. *Цель работы* - произвести анализ компьютерных систем в области автоматизации и проектирования в машиностроении и разработать принципиальную структуру системы проектирования защитных покрытий из специальных сплавов. *Задачи:*

- произвести анализ существующих программных средств, применяемых для инженерного анализа технологических систем;
- произвести анализ САЕ (Computer Aided Engineering) систем в области анализа и синтеза материалов для машиностроения. Изучить их возможности и сделать вывод о возможности их применения при проектировании защитных покрытий из специальных сплавов;
- разработать структуру базы данных специальных сплавов для защитных покрытий, которая должна стать основой для системы проектирования защитных покрытий из специальных сплавов;
- разработать концепцию системы проектирования защитных покрытий из специальных сплавов.

Классификация и анализ современных программных средств, применяемых для инженерного анализа технологических систем. В области автоматизации и проектирования в машиностроении по функциональному назначению различают следующие системы (таблица).

Классификация компьютерных систем в области автоматизации и проектирования в машиностроении

Вид	Расшифровка	Программные продукты	Назначение	Характеристика
1	2	3	4	5
CAD	Computer Aided Design	SolidEdge	Разработка сборочных узлов и геометрического моделирования отдельных деталей	Системы автоматизированного проектирования конструкций и технологических процессов
		AutoCAD	Базовая система для инженеров, архитекторов и всех пользователей САПР	
		Copra MetalBender	Система проектирования деталей из листового материала	
		ElectriCS	Система проектирования электрических систем	
		Rotation	Система проектирования деталей типа «тела вращения»	
		Gear	Система проектирования деталей зубчатых колес	

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
PDM	Production Distribution Management	LCAD	Программный комплекс автоматизации разработки технологических планировок производственных цехов и участков	Автоматизированная подсистема организации производства
		TechCard	Комплекс средств автоматизации технологической подготовки производства	
CAE	Computer Aided Engineering	MSC.Mvision	Система хранения и комплексной обработки информации о материалах	Системы автоматизированного анализа, оптимизации конструкций и технологических процессов
		MSIT Workplace	Система, содержащая информацию о химических свойствах материалов, атомарной структуры материалов, диаграммы состояний двух и многокомпонентных систем	
		Balzars Coating Guide	Экспертная система по технологии нанесения покрытий	
		Dynamic Designer	Кинематический анализ механизмов	
		Cosmos/Floworks	Решение задач динамики жидкостей и газов методом конечных элементов	
PartAdviser	Моделирование процесса литья пластмасс под давлением			
CAM	Computer Aided Manufacturing	SolidCAM	Мощный инструмент получения управляющих программ для станков с числовым программным управлением при обработке деталей, содержащих сложную поверхностную или твердотельную геометрию	Системы автоматизированного управления технологическими процессами и производством
		Visual Mill	Инструмент для генерации управляющих программ трех-, четырех- и пятикоординатных фрезерных станков, а также средства визуализации процесса обработки с имитацией удаления материала	
		Unigraphic	Изготовление изделий со сложной геометрией внешних обводов требует соответствующего программного обеспечения для расчета управляющей программы для станка с числовым программным управлением	
		TechCard	Комплекс средств автоматизации технологической подготовки производства	
CIM	Computer Integrated Manufacturing	TechnologiCS	Комплексная система, предназначенная для автоматизации и информационной поддержки процессов технической подготовки, производственного планирования и оперативного управления на промышленных предприятиях	Системы, обеспечивающие автоматизацию всего жизненного цикла изделия
		mySAP PLM	Сквозное решение для коллективной работы всех участников процесса разработки, производства, обслуживания, проверки качества и ремонта продукта	

Из всех перечисленных систем наиболее интересны CAE-системы как системы, применяемые для инженерного анализа конструкций, материалов и технологических процессов.

Анализ CAE-систем в области анализа и синтеза материалов для машиностроения. Среди существующих CAE-систем, применяемых для анализа материалов и сплавов, можно выделить следующие, наиболее популярные программные продукты:

- MSC.Mvision - система хранения и комплексной обработки информации о материалах [12];
- MSIT Workplace - система, содержащая информацию о химических свойствах материалов, об атомарной структуре материалов, диаграммы состояний двух- и многокомпонентных систем [13];
- Balzars Coating Guide - экспертная система по технологии нанесения покрытий [14];
- MARLIS - CAE база данных германской автомобильной индустрии по стальным и алюминиевым листовым материалам [15];
- INFACO - база данных по усталостным свойствам армированных материалов [15];
- MCBase - база данных по неметаллическим материалам, основанная на системе CAMPUS [15].

Проанализируем возможности некоторых из описанных выше CAE-систем.

MSC.Mvision - система хранения и комплексной обработки информации о материалах. *MSC.Mvision* применяется для сбора, упорядочения и архивации данных по материалам с последующим их использованием в расчетах и детальном проектировании в CAD/CAE-системах. Используя *MSC.Mvision*, пользователи могут автоматизировать передачу данных о материалах от замеров их механических характеристик, через проектирование и расчеты, в производство, сократить общий цикл разработки и подготовки производства изделий [12].

MSC.Mvision - система, позволяющая инженерам вводить и получать информацию о материалах и их изготовителях, просматривать микроструктуру материалов, сопоставлять их и прорабатывать альтернативные решения.

В семейство продуктов MSC.Mvision входят следующие модули:

- MSC.Mvision Builder - ввод информации в электронные таблицы - создание последовательного и достоверного архива свойств материалов, исследованных силами предприятия; автоматизация анализа информации, поступающей с испытательного оборудования; упорядочивание и систематизация информации;

- MSC.Mvision Evaluator - обеспечение доступа пользователей всего предприятия к базе данных MSC.Mvision, включая графическое представление информации и возможности манипуляции данными; подбор оптимального материала для конструкции по заданным критериям поиска (свойства: плотность, предел прочности и др.; коммерческие параметры: цена, производитель и т.п.);

- MSC.Mvision Databanks - всеобъемлющие электронные базы данных по материалам (металлы, керамика, пластмассы, композиты) аэрокосмической промышленности и Министерства обороны США, институтов материаловедения, научно-исследовательских центров и лабораторий по всему миру.

Итак, MSC.Mvision является довольно мощным инструментом в упорядочивании и архивации данных и знаний по материалам и сплавам. Система содержит большое количество технической информации по материалам, которая интегрируется в большинство CAD/CAE-системы. Однако MSC.Mvision можно рассматривать только как мощную справочную систему, опираясь на которую, инженер, используя аналитический аппарат, может прогнозировать свойства новых материалов.

MSIT Workplace - система, предоставляющая персональную базу знаний MSIT World Library. MSIT Workplace содержит порядка 3000 двойных диаграмм состояния, свыше 16000 тройных диаграмм состояния, свыше 11500 многокомпонентных диаграмм состояния, а также порядка 40000 текстового описания к диаграммам состояния, более 60000 кристаллографической информации. Система вобрала в себя информацию по сплавам, опубликованную по всему миру с 1830 года, которая была переведена с множества языков на английский язык [13].

Интерфейс программы предоставляет пользователю возможность изучения диаграммы в интерактивном режиме. При передвижении курсора по диаграмме состояния отображаются текущие концентрации компонентов. На наиболее изученных диаграммах присутствуют ключевые точки, нажав на которые пользователю отображается микроструктура сплава. Также присутствует функциональность для увеличения диаграммы с целью более детального рассмотрения интересующих участков. Увеличение происходит без потери качества, так как используется векторная графика.

Подытожив, можем сказать, что MSIT Workplace является чисто справочной системой. Она не предоставляет интерфейса для ввода пользовательской информации и не способна решать задачи проектирования и автоматизированного анализа диаграмм состояния, не способна выявлять свойства новых совокупностей компонентов, неопределённых в системе.

Balzers Coating Guide - экспертная система по технологиям нанесения покрытий на режущие инструменты в зависимости от области их приложения. База данных даёт информацию о технологии покрытий в комплексе с технологиями предшествующей обработки. Пользователь в зависимости от приложения получает высококвалифицированные и точные рекомендации по выбору нужной технологии из десятка тысяч альтернатив. Простая система навигации позволяет неискущённому пользователю получить знания эксперта по технологиям и международным нормам в этой предметной области. На всех уровнях полученные сведения можно легко обрабатывать, сохранять и распечатывать [14].

Существенным недостатком системы является оперирование только уже заранее известной информацией. Система не позволяет изменять режимы обработки деталей, состава сплавов для оценки вносимых изменений на конечные характеристики покрытий. *Balzers Coating Guide* будет полезна при поиске способов и технологий нанесения покрытия, уже применяемых ранее для конкретных режущих деталей, работающих в определённых условиях и обладающих определёнными параметрами.

Как видно, большинство программных продуктов - это базы данных и базы знаний, предоставляющих пользователям справочную информацию по существующим материалам, свойствам и их применению. Нас же интересует возможность использования существующих CAE-систем в качестве систем, позволяющих синтезировать новые виды материалов с заранее известными характеристиками и свойствами при проведении минимального количества дополнительных экспериментальных опытов. Как выявил проведённый анализ, существующие CAE-системы не способны справиться с данной задачей. Их использование ограничивается лишь аналитическим анализом справочной информации с целью выявления зависимостей в свойствах компонентов, а также поиска решений для аналогичных ситуаций.

Разработка системы проектирования защитных покрытий из специальных сплавов. Процесс проектирования специальных сплавов можно разбить на два этапа:

1) поиск специальных сплавов, обладающих схожими свойствами в соответствующей базе данных. На этом этапе пользователь должен оперировать справочными данными либо данными, которые были получены путём натурного эксперимента. В настоящее время разработано, в том числе и учёными Полоцкого университета [1 - 4], большое количество специальных сплавов для защитных покрытий, которые адаптированы к определённым эксплуатационным условиям;

2) проектирование нового специального сплава для защитных покрытий в случае отсутствия существующих в базе данных сплавов, удовлетворяющих необходимым условиям.

Поиск существующих специальных сплавов. Концептуальная блок-схема поиска уже существующих специальных сплавов для защитных покрытий представлена на рис. 1.

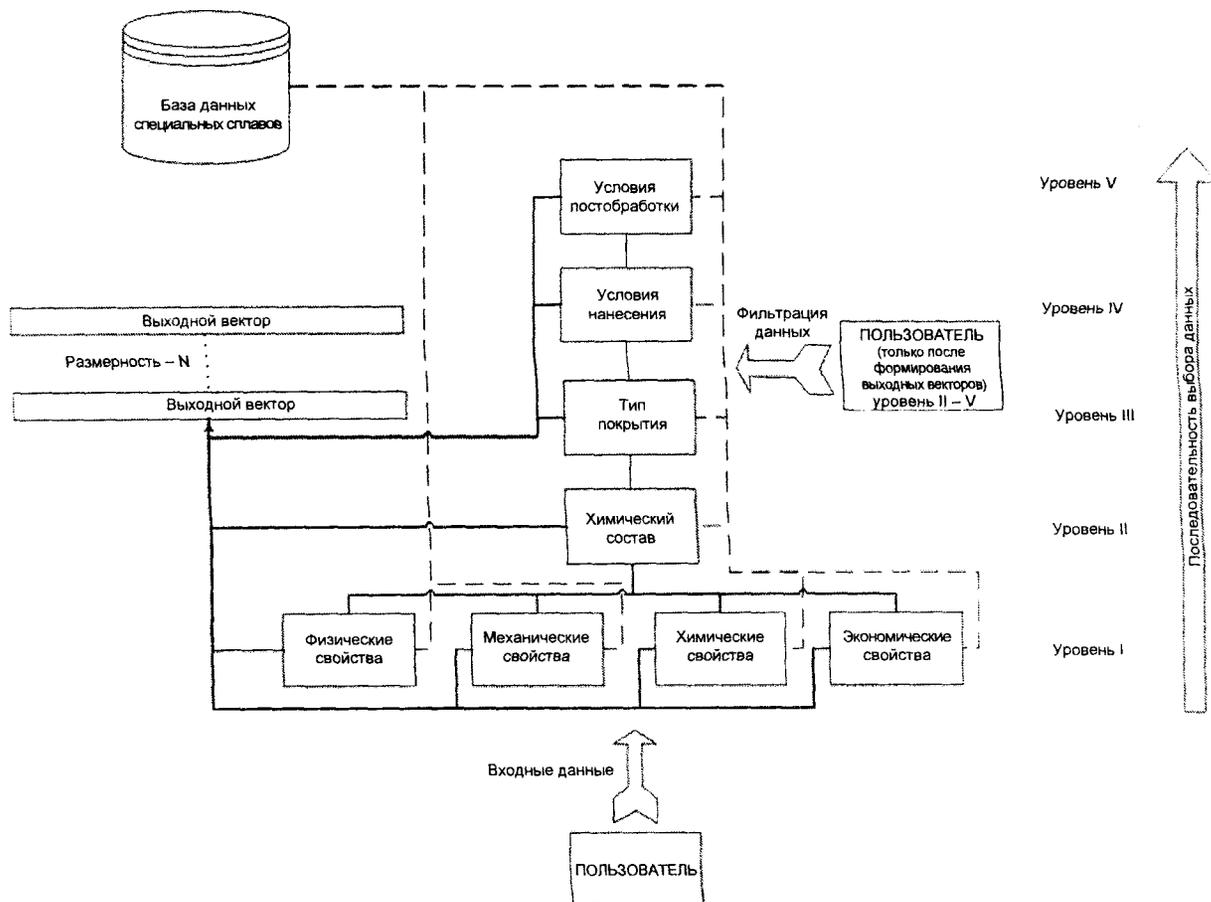


Рис. 1. Блок-схема системы выбора специальных сплавов для защиты покрытий

Блок-схема представляет собой пятиуровневую иерархию, каждый блок которой это не что иное, как обобщённые логические сущности в области сплавов для защитных покрытий. Уровни связаны между собой, и усиление зависимости распространяется снизу вверх, т.е. самый первый уровень зависит только от входных данных, которые вводит пользователь, а самый последний (пятый уровень) зависит от всех предыдущих.

На начальном этапе пользователь должен задать входные параметры (уровень I), иначе, параметры и свойства, которыми должен обладать специальный сплав. Значение параметров должны представлять собой допустимые пределы значений, например, от p до m (если конечно возможно определить интервал изменений). Задание всех параметров необязательно. Далее система, продвигаясь вверх по уровням, выбирает информацию из базы данных специальных сплавов, формируя при этом вектора выходных данных. Вектор выходных данных - это не что иное, как характеристики выбранного специального сплава. На каждом из уровней формируется N выходных данных, поэтому количество выходных векторов - N . После формирования выходных векторов пользователь может изменять значения всех уровней с целью выделения из выходных векторов наиболее подходящих диффузионно-легированных сплавов. Если найденные сплавы (из уже существующих специальных сплавов) удовлетворяют условиям пользователя, то проектирование завершается.

Может возникнуть ситуация, когда на каком-то уровне процесс выборки данных из базы не принесёт никакого результата, т.е. не будет найдено никакой информации по сформированным критериям. В этом случае необходимо перейти к этапу проектирования нового сплава.

Этап проектирования новых сплавов. На этом этапе предлагается реализовать своеобразный анализ «что - если». Вначале пользователь производит поиск специальных сплавов (первый этап) из базы данных со схожими характеристиками и выбирает сплав-кандидат [8]. Далее, согласно определённым взаимосвязям, производит анализ динамики изменения параметров сплава-кандидата при изменении одного из них.

К примеру, пользователь желает посмотреть, концентрацию какого элемента в сплаве ПЖР-С1 надо увеличить, чтобы износостойкость покрытия повысилась 10 %, и как при этом отразится данное повышение концентрации на такие характеристики, как твёрдость, ударная вязкость, абразивную износостойкость и т.д.

Рассмотрим более подробно анализ «что - если» на примере диффузионно-легированного порошка на основе ПР-45. Определим для этого порошка корреляционные связи, изображённые на рис. 2. Для простоты будем рассматривать зависимости только от двух переменных, которые изображены на схеме жирными линиями. Зависимость от содержания углерода в схему введена для иллюстрации зависимости от 3-х переменных. Также, для упрощения структуры, не будем выделять способы нанесения сплава на деталь, такие как лазерная наплавка, газопорошковая наплавка, электроконтактная приварка и т.д., а также режимы и способы постобработки деталей.

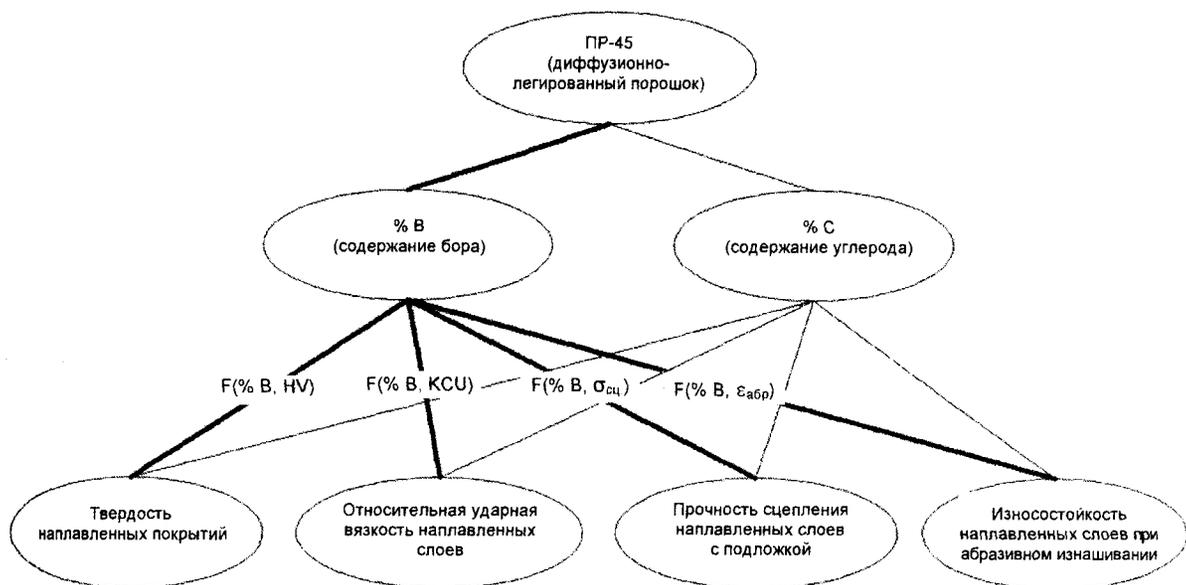


Рис. 2. Корреляционные связи анализа «что - если» для диффузионно-легированного порошка ПР-45

Итак, есть связи % В - твердость, % В - ударная вязкость, % В - прочность сцепления с подложкой, % В - абразивное изнашивание. Определение зависимых сущностей происходило по принципу наличия экспериментальных данных для построения корреляционной зависимости между ними.

Допустим, что методами статистического анализа получили следующие функциональные зависимости:

- связь % В - твердость - функция $F(\% В, HV)$;
- связь % В - ударная вязкость - функция $F(\% В, KCU)$;
- связь % В - прочность сцепления с подложкой - функция $F(\% В, \sigma_{сц})$;
- связь % В - абразивное изнашивание - функция $F(\% В, \epsilon_{абр})$.

Теперь, после того как рассчитаны функции зависимостей параметров, можем интерполировать значения параметров. К примеру, пользователь желает узнать, на какую величину изменятся механические и триботехнические свойства порошка ПР-45 при увеличении содержания бора до 9 %. Он вводит значение содержания бора, и система по рассчитанным заранее формулам выдаёт значения всех корреляционно-зависимых параметров от содержания бора.

Аналогично можно рассмотреть вариант изменения твёрдости. После расчёта по формулам получим значения всех корреляционно-зависимых параметров - процентное содержание бора, относительная ударная вязкость, прочность сцепления и интенсивность абразивного изнашивания. При этом пользователь получит информацию о том, на сколько надо повысить содержание бора в порошке ПР-45, для того чтобы увеличить твердость на определённое значение, и как при этом отразится добавление бора на другие механические и триботехнические свойства.

Если определённая зависимость содержит недостаточное количество экспериментальных результатов для построения достоверной корреляционной зависимости, система выдаёт рекомендации для проведения дополнительных серий опытов при определённых условиях и в заданных режимах.

Отметим некоторые особенности предложенного алгоритма:

- при внесении нового сплава в базу данных администратору системы необходимо, помимо указания всей информации о нём, ещё и определять корреляционно-зависимые сущности;

- необходимо иметь достаточно большое количество экспериментальных данных для сплавов с целью построения эффективных корреляционных зависимостей;
- статистический аппарат должен при небольшом количестве экспериментальных данных строить наиболее точные функциональные зависимости.

Заключение. Произведён анализ классификаций программных систем в области автоматизации и проектирования в машиностроении - разрабатываемая система проектирования защитных покрытий из специальных сплавов относится к категории САЕ-систем, а иначе, к системам автоматизированного анализа, оптимизации конструкций и технологических процессов.

Выполнен анализ существующих САЕ-систем в области анализа и синтеза материалов для машиностроения - в настоящее время на рынке программного обеспечения доминируют справочные системы по материалам. В контексте нашей задачи применение данных систем ограничивается только аналитическим анализом содержащейся в них информации, либо импортом данной информации, если это возможно, в разрабатываемую нами систему.

Разработана принципиальная структура базы данных системы проектирования защитных покрытий из специальных сплавов. Структура представляет собой пятиуровневую иерархию. Уровни связаны друг с другом, и усиление зависимости распространяется от первого уровня к пятому.

Разработана концепция системы проектирования новых защитных покрытий из специальных сплавов. Идея концепции заключается в реализации своеобразного анализа «что - если», где свойства существующих покрытий образуют корреляционные зависимости. Пользователь после поиска в базе данных существующих сплавов находит сплав, обладающий схожими свойствами. После этого он приступает к анализу данного сплава путём изменения определённых корреляционных параметров. При помощи данного анализа пользователь изучает динамику изменения остального комплекса свойств, и если это необходимо, производит дополнительные экспериментальные данные для подтверждения полученных при анализе «что - если» результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пантелеенко Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них. - Мн.: Технопринт, 2001. - 300 с.
2. Ворошнин Л.Г., Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью химико-термической обработки. - Мн.: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 1999. - 133 с.
3. Константинов В.М. Разработка самофлюсующихся наплавочных материалов на железной основе и защитных покрытий из них специализированного назначения с использованием металлоотходов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Мн.: БГПА, 1992. - 25 с.
4. Константинов В.М., Штемпель О.П., Жабуренок С.Н. Разработка экономно-легированного наплавочного материала для упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих орудий // Вклад вузовской науки в развитие приоритетных направлений производственно-хозяйственной деятельности, разработку экономичных и экологически чистых: Материалы междунар. науч.-техн. конф. - Мн.: Технопринт, 2003. - 280 с.
5. Кундас С.П., Цырельчук И.Н. Computational Materials Science - современное состояние и перспективы развития // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения: Сб. науч. тр. / Под ред. С.А. Астапчика, П.А. Витязя. - Мн.: Технопринт, Новополоцк: ПГУ, 2001.-С. 41 -47.
6. Computation Materials Science. - Oxford: Elsvier Science, 2001.
7. Компьютерное моделирование процессов плазменного напыления покрытий / С.П. Кундас, А.П. Достанко, А.Ф. Ильющенко, А.Н. Кузьменков и др. - Мн.: Бестпринт, 1998. - 212 с.
8. Kazutoshi T. Computer aided design of new materials // J. Int. Process and Manag. - 1997. - № 5. - P. 648 -691.
9. Дружинин А.В. Разработка программного комплекса для моделирования и оптимизации процессов электронно-лучевой наплавки в вакууме: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Барнаул: Алтайский гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, 1999. - 22 с.
10. Компьютерное моделирование процессов термообработки металлических деталей / Б.А. Тонконогов, И.А. Гишкелюк, Я.С. Левашкевич и др. // Известия Белорусской инженерной академии. - 2002. - № 12.-С. 155 - 158.
11. Кундас С.П. Компьютерное моделирование технологических систем: В 2-х ч. - Мн.: БГУИР, 2004. Ч. 2,- 190 с.
12. MSC Software: www.mscsoftware.com
13. MSIT Workplace: www.matport.com.
14. Balzers Coating Guide: www.coating-guide.balzers.com.
15. M-Base Engineering + Software GmbH: <http://www.m-base.de>.