

СТРАТЕГИЯ И ТАКТИКА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОЗДАНИЮ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ МЕХАНООБРАБОТКИ

Раскрыта актуальность проблемы создания гибких производственных систем, изложен авторский подход к построению и анализу компьютерных моделей. Рассматривается последовательность и содержание ранних стадий проектирования, заканчивающихся разработкой технического предложения. Представлены примеры оформления технического задания и технического предложения на ГПС. Описано использование накопленных разработок в учебном процессе при подготовке специалистов в области гибкой автоматизации.

Одним из путей решения проблемы удвоения ВВП, поставленной Президентом страны, служит техническое перевооружение предприятий базовых отраслей промышленности на основе компьютерно управляемых технологических комплексов нового поколения. Согласно ГОСТ 26228-90 такие комплексы называются гибкими производственными ячейками (ГПЯ) и системами (ГПС) [1].

Показателен опыт США, где к 2003 году ГПЯ используются на 73% фирм с числом работающих от 100 человек [2]. Появился термин – «экономное производство», или «экономная автоматизация», – обозначающий ГПС, работающие в течение 140 ч в неделю или по 20 ч в сутки в безлюдном режиме [3]. За счет интенсивной работы системы высокие первоначальные затраты на создание окупаются за короткий промежуток времени.

В отечественной практике накоплен опыт создания ГПС, когда в 80-х годах XX века на государственном уровне был предпринят масштабный эксперимент по модернизации отечественного производства в соответствии с мировыми тенденциями промышленного развития. Были созданы образцы систем, опередившие по уровню гибкости и степени автоматизации зарубежные аналоги: например, АЛПЗ-1 и АЛПЗ-2 [4]. Был налажен выпуск производственных систем серий АСК, АСВ, «Талка». ГПС создавались и на предприятиях Оренбуржья (в Оренбурге – на ПО «Стрела», в Орске – на ЮУМЗ и ОЗТП).

В немалой степени накопленный опыт использования ГПС оказался отрицательным: сказалась низкая надежность отечественных ЭВМ, используемых в системах управления, неподготовленность персонала, другие причины. Вместе с тем открылся пласт научных проблем, требующих принципиально нового решения. Причем большая часть проблем связана не с техническими или технологическими реше-

ниями, а с отсутствием общей методологии проектирования и системной поддержки производственных систем.

Стремительное развитие информационных технологий, появление все новых аспектов их применения для производства, а, следовательно, и новых научных проблем способствовало утрате интереса отечественных ученых к проблемам создания ГПС. В немалой степени этому содействовали и социально-экономические преобразования в стране, в процессе которых разработки в области ГПС не находили практического применения. «К сожалению, этот этап так и остается незавершенным... Не подлежит сомнению необходимость комплексного подхода к проблеме проектирования... с учетом очень больших особенностей проектирования, функционирования и управления ГПС и ее компонентов» [5].

С появлением в начале XXI века концепции ИПИ (CALS) технологий и включением данного направления в список критических технологий Российской Федерации [6, 7], пришло осознание того, что ключевым звеном в цепочке CAD/CAM/CAE/PDM/ERP-систем служат все-таки не традиционное металлообрабатывающее оборудование, а гибкие производственные модули и системы, обеспечивающие автоматизированное изготовление изделий. И вновь наблюдается интерес к проблемам ГПС. Примером может служить создание по заданию МИНАТОМа отраслевого учебно-научного центра МИФИ по CALS-технологиям. Одним из структурных подразделений центра является лаборатория ГПС [8]. Другой пример – разработка ГПС в рамках плановых работ АВИАПРОМа [9]. Согласно проекту концепции развития станкоинструментальной промышленности Российской Федерации на период до 2010 года потребность в ГПС отечественных предприятий составляет 25 – 50 систем в год [10].

Создание ГПС создает и новые проблемы. Одна из них – неритмичность функционирования систем, обусловленная широкой номенклатурой изготавливаемых изделий. Если автоматические линии в массовом производстве характеризуются определенным ритмом работы, то гибкие системы не имеют двух полностью одинаковых циклов безлюдной работы.

Средством проверки качества решений, принимаемых при создании и эксплуатации ГПС, служит компьютерное моделирование процессов их функционирования, при этом «число компьютерных моделей соизмеримо с количеством созданных ГПС» [11]. По-видимому, множество отечественных систем моделирования, разработанных в 80-е годы XX века (Амиго, Имод, Пирс и др.), безвозвратно утрачены из-за отсутствия спроса и дважды произошедшей смены элементной базы и операционных систем (EC → PC XT/AT → Pentium).

Если судить по литературным данным, то моделирование ГПС (по крайней мере, в учебном процессе вузов при подготовке инженеров) осуществляется с помощью универсальных средств моделирования: GPSS World, AnyLogic, Arena Enterprise Suite, язык UML. Подход, реализуемый в универсальных средствах моделирования, описывает ГПС как сложную стохастическую систему, процессы функционирования которой характеризуются случайными величинами – временем поступления и интенсивности потоков заявок на обслуживание, временем обработки заготовок, показателями использования накопителей, простоев оборудования и т. д.

При всем уважении к качеству, универсальности и высокому профессиональному уровню подобных систем, нельзя не отметить следующее:

1) универсальные средства моделирования весьма условно и поверхностно интерпретируют функционирование ГПС, не давая ответы на многие вопросы технических специалистов;

2) аппарат имитационного моделирования принципиально не пригоден для автоматизированного структурно-параметрического синтеза ГПС;

3) использование универсальных средств моделирования в вузовской подготовке специалистов лишь усугубляет проблему подготовки кадров, призванных заниматься гибкой автоматизацией производства: изучение ГПС подменяется изучением аппарата имитационного моделирования.

Ошибочна сама концепция представления ГПС как стохастических, или случайных, систем: случайность есть непознанная закономерность. При кажущейся внешней стохастичности автоматический процесс функционирования ГПС имеет жестко детерминированный, упорядоченный характер. Цикл безлюдной работы системы представляет собой цепочки взаимосвязанных циклов работы отдельных устройств, агрегатов, производственных модулей и системы в целом. Последовательность циклов работы устройств предопределяется алгоритмами и правилами их взаимодействия, а также логикой эволюции процесса функционирования системы. Продолжительность циклов зависит от технических параметров устройств (например, от скорости робота) и проходимых расстояний (например, от пути резания, угла поворота, высоты подъема), которые предопределяются текущим состоянием системы.

Традиционный язык технических специалистов и средство визуализации взаимодействия оборудования – циклограммы, или временные диаграммы. Работа ГПС с любой требуемой точностью может быть расписана в виде циклограмм. Возможные погрешности срабатывания устройств можно учитывать вероятностными методами подобно тому, как учитывается рассеивание размеров деталей относительно номинальных значений.

Циклограммы позволяют выявить внутренние потери ГПС, связанные с взаимодействием ее элементов и внешние потери, связанные с варьированием номенклатуры выпускаемой продукции. Сокращение или полное устранение внутренних потерь позволят оптимизировать проектные параметры ГПС, а сокращение внешних потерь – минимизировать эксплуатационные издержки.

Понятно, что вручную заниматься построением циклограмм работы автоматизированного оборудования – занятие трудоемкое, которое становится практически неосуществимым, если речь идет о выявлении каких-либо статистических закономерностей.

В ГОУ ОГУ разработан метод автоматизированного построения циклограмм, имеющий следующие особенности:

1) позволяет строить циклограммы работы автоматизированного оборудования с разрешением на уровне технологического перехода, что недоступно ни в одной из известных отечественных и зарубежных систем моделирования;

2) в качестве исходных данных используются конкретные технические характеристики оборудования (станков, транспортных средств, накопителей) и алгоритмы его взаимодействия, данные по технологическим процессам, составу сменного задания, начальному размещению заготовок и режущих инструментов. Поэтому от пользователя программной реализации модели (проектировщика, технолога, диспетчера) требуется знание лишь предметной области;

3) включает специально разработанный математический аппарат для расчета по циклограмме показателей эффективности моделируемой системы: коэффициента загрузки, производительности, стоимости станко-часа, срока окупаемости затрат (рисунок 1, а).

Автоматически построенная циклограмма позволяет, с одной стороны, убедиться в корректности работы созданной программы, а с другой – визуально оценить наличие узких мест в работе оборудования.

Для статистической оценки эффективности функционирования ГПС при заданном наборе параметров оборудования разработан метод экспресс-анализа, основанный на автоматизированном построении циклограмм для выборки из множества вариантов сменных заданий (рисунок 1, б).

Одной из ранних программных реализаций метода автоматизированного построения циклограмм является интегрированная система «Каскад» [12, 13], получившая одобрение в ряде проектных организаций, опробованная на промышленных предприятиях Оренбуржья и в вузах России. В результате вычислительных экспериментов в среде системы «Каскад» выявлены закономерности влияния технологических, технических и организационных решений на эффективность ГПС механической обработки.

Выявленные закономерности позволили 1) объяснить механизм формирования временных связей при работе ГПС, внешне проявляющихся как стохастические возмущения производственного процесса [14]; 2) сформулировать практические выводы о закономерностях изменения и значимости проектных и эксплуатационных решений.

Накопленные теоретические и практические результаты положены в основу инженерного метода структурно-параметрического синтеза, представляющего собой детально проработанную последовательность выполнения ранней стадии проектирования – переход от техниче-

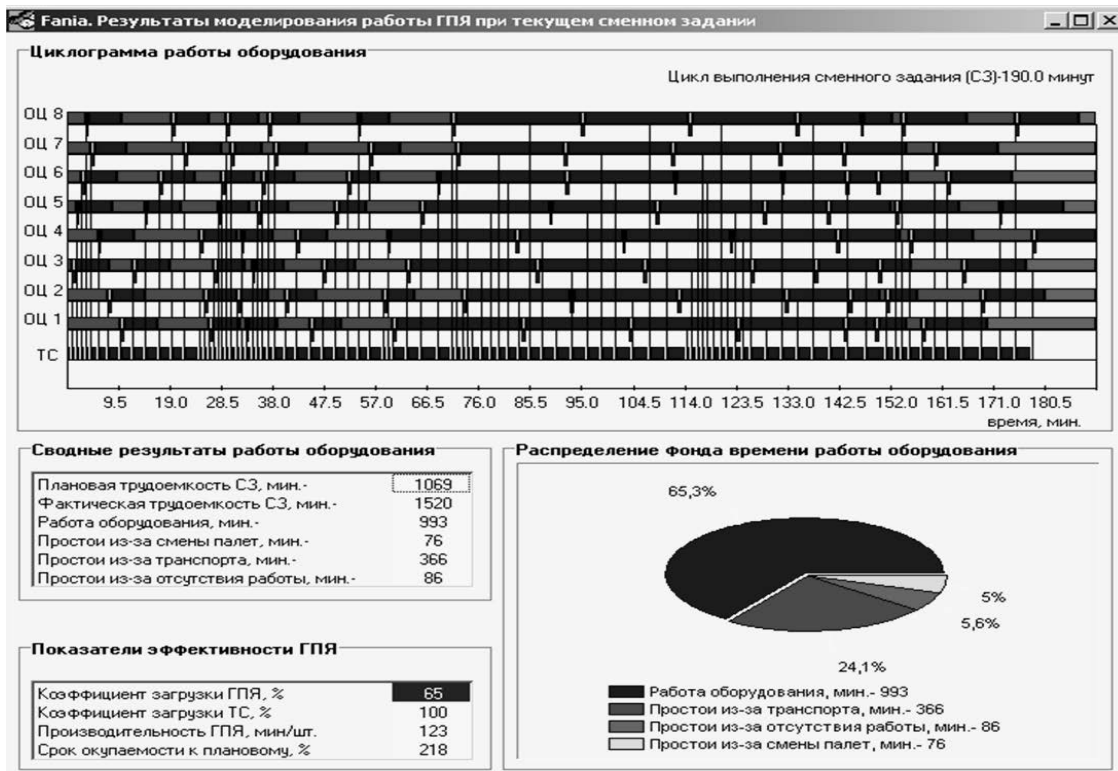
ского задания (ТЗ) к техническому предложению (ТП) по созданию ГПС (рисунок 2).

Использование метода структурно-параметрического синтеза и разработанных программных средств поддержки решений позволяет оптимизировать значения более чем 30 параметров систем основного технологического оборудования, автоматизированной транспортно-складской системы, автоматизированной системы инструментального обеспечения, автоматизированной системы управления ГПС (рисунок 3) – это невозможно, например, ни в одной из известных систем имитационного моделирования.

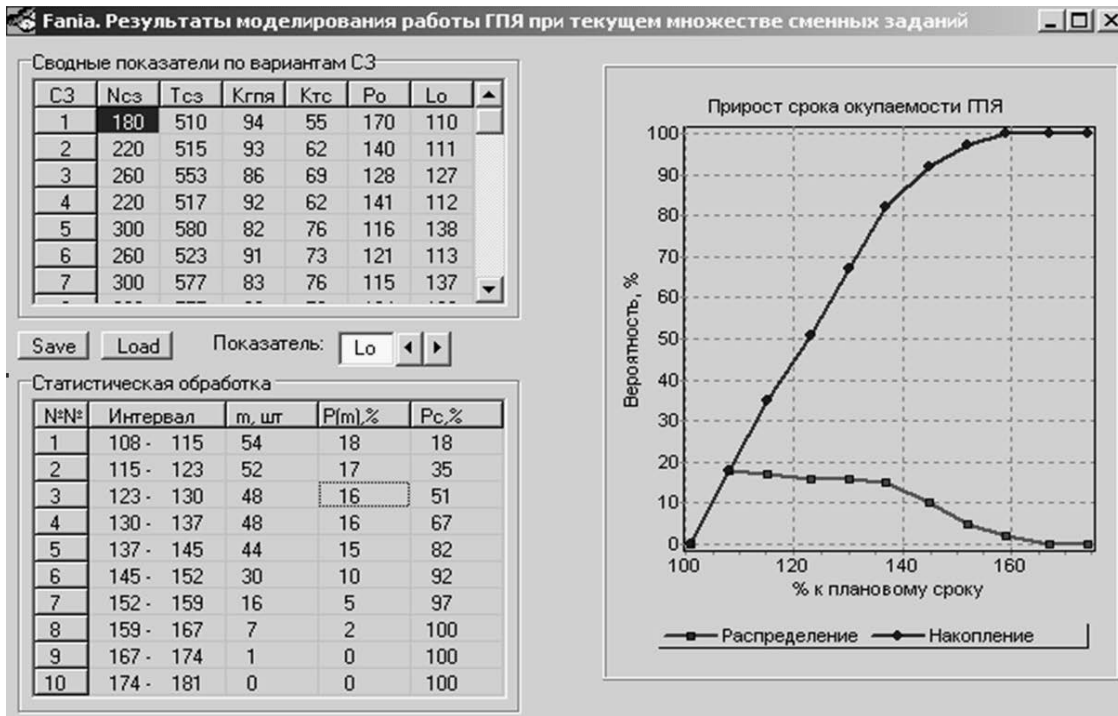
Расчеты показывают, что за счет оптимизации проектных параметров и эксплуатационных режимов можно сократить срок окупаемости производственной системы на 25 – 30% – с 3 до 2 лет, с 5 лет до 3,3 года. Более того: возможен синтез совокупности проектных параметров и эксплуатационных режимов, обеспечивающих теоретически любой заданный срок окупаемости производственной системы [15].

Одной из проблем технического перевооружения промышленности становится подготовка и переподготовка инженерных кадров, призванных заниматься вопросами гибкой автоматизации. Молодые специалисты, в 80-е годы прошлого века получившие отрицательный опыт директивного внедрения ГПС, ныне занимают ключевые позиции на производстве, и в условиях сложной экономической ситуации не спешат наступать на те же грабли. Предполагается, что растущий дефицит рабочих кадров снимет еще один тормоз промышленной автоматизации в России: привлечение высокой заработной платой квалифицированных станочников увеличивает долю стоимости рабочей силы в себестоимости произведенной продукции, а, следовательно, увеличивает и тягу предпринимателей к автоматизации производства.

Последние годы упор делается именно на использование накопленных теоретических и практических наработок в учебном процессе. Издан авторский курс лекций, рекомендованный УМО в области автоматизированного машиностроения для использования в вузах России [16]. С такой же рекомендацией издано учебное пособие по разработке компьютерных моделей методом циклограмм [17], разработан и подготовлен к изданию цикл лабораторных и практических работ. Разработанные про-



а)



б)

Рисунок 1. Экранные формы в разделе построения циклограмм (а) и статистического анализа (б) в программе «Fania»

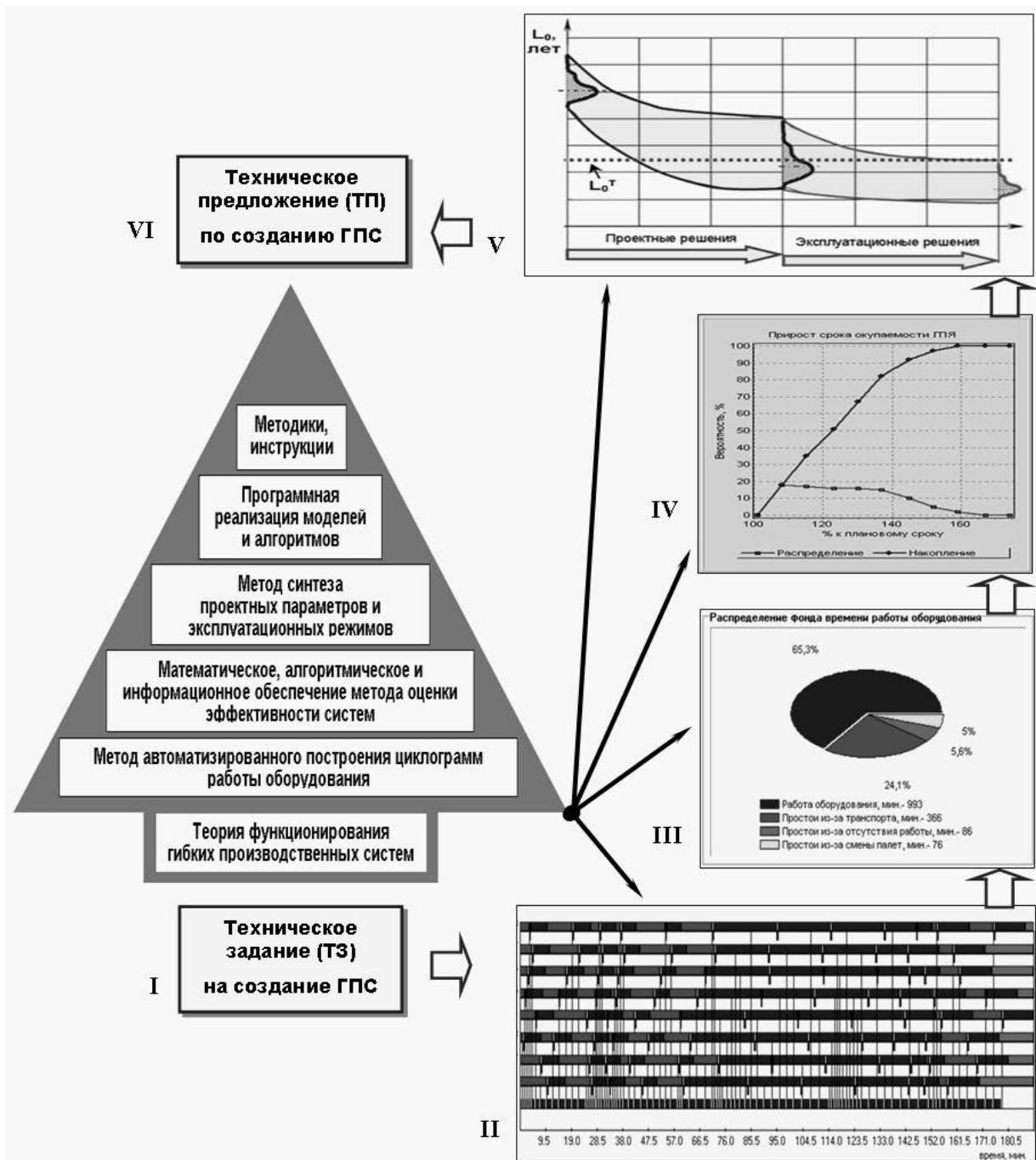


Рисунок 2. Этапы перехода от технического задания к техническому предложению по созданию ГПС согласно разработанной методологии

- I – разработка ТЗ (продукция, объемы выпуска, условия эксплуатации)
- II – предварительный выбор состава и параметров оборудования, построение циклограмм работы системы
- III – оценка эффективности системы при заданном комплексе проектных параметров
- IV – статистический анализ эффективности системы при различных режимах эксплуатации
- V – оптимизация комплекса проектных параметров и эксплуатационных режимов по заданному сроку окупаемости системы L_0^T
- VI – ТП по созданию ГПС (параметры системы и показатели эффективности)



Рисунок 3. Пример содержания технического задания и технического предложения по созданию ГПС



Рисунок 4. CD-диск с инсталляцией учебного курса

граммные средства [13, 18, 19] и методики их применения образуют «виртуальную лабораторию», которая используется в практических расчетах и исследованиях при курсовом и дипломном проектировании.

Законченный учебно-методический и лабораторный комплекс курса основ создания ГПС оформлен в виде CD-диска [20], что сделало курс доступным для изучения на домашних компьютерах студентам разных форм обучения (рисунок 4).

Заключение

Таким образом, назревшая необходимость технического перевооружения отечественного производства требует опережающей подготовки специалистов в области создания и эксплуатации гибких производственных систем.

Высокая чувствительность ГПС к малым изменениям входных параметров вызывает необходимость комплексного учета проектных параметров и эксплуатационных режимов, формируемых при создании системы специалистами разных профилей.

Разработана методология формирования технического предложения на ГПС, основанная на минимизации внутренних потерь эффективности системы, связанные с взаимодействием ее элементов, и внешних потерь, обусловленные варьированием номенклатуры выпускаемой продукции. Сокращение или полное устранение внутренних и внешних потерь позволяет сформировать техническое предложение в виде комплекса параметров технологического оборудования, систем обеспечения функционирования и режимов эксплуатации,

обеспечивающих заданный срок окупаемости ГПС.

Разработанные методы компьютерного инженерного анализа процессов функционирования ГПС и программные продукты поддержки принятия решений представляют собой проблемно-ориентированный инструментарий

для специалистов-практиков разных профилей: технологов, проектировщиков, конструкторов, диспетчеров, исследователей.

Кроме того, реализованы конкретные шаги по внедрению теоретических и практических разработок в учебный процесс подготовки и переподготовки специалистов по гибкой автоматизации.

Список использованной литературы:

- ГОСТ 26228-90. Системы производственные гибкие. Термины и определения. Номенклатура показателей. – Введ. 1991-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 12 с.
- Станки, современные технологии и инструмент для металлообработки [Электронный ресурс]: Зарубежные статьи, переводы с иностранных языков, аннотации. – Режим доступа: <http://www.stankoinform.ru/Stanki6.htm>. – Загл. с экрана. – Проверено 10.12.2005.
- Waurzyniak P. Экономная автоматизация на фирме Renishaw [Электронный документ]/ Waurzyniak P.// Manufacturing Engineering. – 2005. V. 134. Nr. 5. – ил. – с. 145, 146, 148-150, 152, 154. Режим доступа http://www.stankoinform.ru/journal/manufacturing_engineering2005.htm. – Проверено 08.12.2005.
- Белянин, П.Н. Гибкие производственные комплексы [Текст]/ под ред. П.Н.Белянина, В.А. Лещенко. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с., Библиогр.: с. 375-377. – 120000 экз.
- Кетов А.В. Особенности маркетинга станкостроительной и машиностроительной продукции и пути решения задачи [Электронный ресурс]: Материалы Интернет-конференции «Стратегия развития Дальнего Востока России: возможности и перспективы» Хабаровск, 12-13 февраля 2003/ Кетов А.В., Давыдов В. М. – Режим доступа: <http://www.festrategy.ru/materials.php?action=show&id=212>. Загл. с экрана. – Проверено 12.12.2005.
- Приоритетные направления развития науки, технологий и техники Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Документ Правительства РФ Пр-577 от 30 марта 2002г. – Режим доступа: <http://www.cals.ru/mission/doc.html#1>. – Проверено 12.12.2005.
- Перечень критических технологий Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Документ Правительства РФ Пр-578 от 30 марта 2002 г. – Режим доступа: <http://www.cals.ru/mission/doc.html#2>. – Проверено 12.12.2005.
- Харитонов В.В. Учебно-методическое обеспечение внедрения CALS-технологии на предприятиях МИНАТОМа России и создание отраслевого учебно-научного центра МИФИ по CALS-технологиям. МИФИ-2002 [Текст] Сборник научных трудов в 6 частях. – Том 6./ Харитонов В.В. и др. – М.: МИФИ, 2002
- Шабанов В. Ю. Исследование и разработка гибкой производственной системы [Электронный документ] / Шабанов В. Ю., Ванин С. В., Чернов К. Ю. – МГТУ «Станкин», Россия, Москва. – Режим доступа: [http://npd.stankin.ru/magazines/avtmash.nsf/0/77ED5C7AE6C7F16403256FD50057D2F5/\\$file/fms.htm](http://npd.stankin.ru/magazines/avtmash.nsf/0/77ED5C7AE6C7F16403256FD50057D2F5/$file/fms.htm). – Проверено 12.12.2005.
- Рощина Н. Станкоинструментальная отрасль России. [Электронный ресурс]: Проммашиноинструмент/ Рощина Н. – Режим доступа: – http://www.instrument.spb.ru/zurnals/23/zurnal_23Theme.shtml. – Загл. с экрана.
- Лищинский Л.Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем [Текст] / Лищинский Л.Ю. – М.: Машиностроения, 1990. – 312 с. – ISBN 5-217-00459-2
- Serdjuk A.I. Integrated shop assignment CAD and simulation system, / Serdjuk A.I. //Science & Tecnics. -1993.– № 1. S.30
- Сердюк А.И. Интегрированная система расчета и моделирования ГПС механообработки «Каскад»: Свидетельство об отраслевой регистрации разработки №4561 в отраслевом фонде алгоритмов и программ/ Сердюк А.И., Сергеев А.И.– М.: – 22.04.2005.
- Сердюк А.И. Оценка влияния решений на качество функционирования ГПС/ Сердюк А.И., Баховский Л.Ф. // Автоматизация и современные технологии.– М., 1998.– №7.– С.29 – 32
- Сердюк А.И. Методология синтеза производственных систем с заданными свойствами [Текст] / Сердюк А.И., Сергеев А.И., Корнипаев М.А., Гильфанова Ф.Ф. // Сб. трудов V международного конгресса «Конструкторско-технологическая информатика-2005». – М.: ИЦ ГОУ МГТУ «Станкин», «Янус-К» 2005. – С. 291 – 294.
- Сердюк А.И. Основы создания ГПС механообработки [Текст]: учеб. пособие для вузов/ В.А. Бондаренко, А.И. Сердюк. – Оренбург, Оренбургский гос. ун-т, 2000. – 206 с. – ISBN 5-7410-0647-7
- Сердюк А.И. Интегрированная система моделирования и расчета производственных участков станков с ЧПУ и ГПС [Текст]: Учебное пособие для вузов/ Сердюк А.И. Гречишников В.А.– Оренбург, Оренбургский гос. ун-т , 1994. – 255 с.
- Сердюк А.И. Модуль расчета режимов резания для многоцелевых станков: Свидетельство об отраслевой регистрации разработки №4562 в отраслевом фонде алгоритмов и программ/ Сердюк А.И., Корнипаев М.А. – М. 22.04.2005.
- Корнипаева А.А. Программа составления расписаний работы и расчета показателей эффективности гибких автоматизированных участков механообработки: Свидетельство о регистрации программного средства в Университетском фонде алгоритмов и программ ОГУ/ Корнипаева А.А., Гильфанова Ф.Ф. – Оренбург: УФАП ГОУ ОГУ, № 114. – 07.09.05
- Сердюк А.И. Электронный учебный курс «Основы создания ГПС механообработки»: Свидетельство об отраслевой регистрации разработки №4564 в отраслевом фонде алгоритмов и программ/ Сердюк А.И., Сергеев А.И., Корнипаев М.А. – М.– 22.04.2005.