

1544694

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена
Трудового Красного Знамени государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана

На правах рукописи
УДК 621.002: [658.52.011.56+681.51+658.516]

ДУКАРСКИЙ Святослав Меерович

ГИБКАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

- 05.13.07 — автоматизация технологических процессов
и производств (в машиностроении)
08.00.20 — стандартизация и управление качеством продукции

Д и с с е р т а ц и я
на соискание ученой степени
доктора технических наук
в форме научного доклада

Москва—1994

Работа выполнена в Российском научном центре «Курчатовский
институт»

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Волчкович Л. И.
доктор технических наук, профессор Назаров В. В.
доктор технических наук, ст. научн. сотр. Малаев П. А.

Ведущая организация (предприятие):

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

Защита состоится *<2> марта* 1994 г. в *14-30* часов на заседа-
нии специализированного Совета Д 053.15.04 по присуждению ученых
степеней доктора технич
технического универси
г. Москва, 2-я Бауманска

С диссертацией в ф
библиотеке Московского
им. Н.Э. Баумана.

Диссертация в форме на

Ученый секретарь
специализированн
и. т. н., доцент

1544694



1544694

Дукарский С.М. Гибкая авто

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

1.1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

...ание машиностроения связано, главным образом, с его организационно-технологической перестройкой и повышением уровня автоматизации. Его эффективность определяется также способностью быстро реагировать на постоянно изменяющиеся потребительские запросы и требования, то есть гибкостью. Высокая гибкость является важнейшим показателем совершенства экспериментального машиностроения, для которого характерны широкая номенклатура и единичный или мелкосерийный масштаб производства.

Создание или совершенствование машиностроительного производства осуществляется путем его проектирования и реализации проекта. Проектирование можно условно разделить на 3 стадии: концептуальное, структурное и параметрическое (реализационное).

Стадия концептуального проектирования, будучи начальной и основополагающей, оказывает решающее влияние на все последующие стадии работ. Наиболее сложные требования к концептуальному проекту предъявляет экспериментальное машиностроение, так как оно нуждается в максимально возможной гибкости, универсальности и обладает неустойчивыми характеристиками. Под концепцией совершенствования производственно-технической системы (ПТС) следует понимать принципиальные решения по ее совершенствованию и, вместе с тем, систему взглядов на это совершенствование. Эти понятия определяют степень детализации, состав и содержание концептуального проекта, содержание процесса концептуального проектирования.

Указанные обстоятельства придают актуальность работам по формированию и практической реализации методов концептуального проектирования гибкой автоматизации экспериментального машиностроения.

1.2. ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является повышение эффективности экспериментального машиностроения путем его совершенствования на основе разработанного автором и примененного на практике метода концептуального проектирования его гибкой автоматизации, полагая при этом, что эффективность экспериментального машиностроения определяется, главным образом, сокращением сроков проектирования и производства изделий. Этот метод построен таким образом, что может быть основой эффективного совершенствования других подотраслей машиностроения. Он может быть использован целиком при комплексной автоматизации производства и служб его технического обеспе-

чения или могут быть использованы его компоненты при решении логических задач автоматизации.

1.3. ОБЪЕКТ И ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Объектом научных исследований и разработок является экспериментальное машиностроение, специализированное на разработке и изготовлении экспериментальных установок (стендов) и образцов объектов новой техники.

Для него характерны широкая номенклатура изделий (исчисляемая десятками и сотнями тысяч), единичный (20-40% номенклатуры) и мелкосерийный масштаб производства (средний тираж сборочных единиц до 10, деталей - до 50 шт. в партии), нестабильный характер производства (в среднем 30% объема производства составляют экспресс-заказы, и характеристики заказов часто изменяются). Задача его совершенствования состоит в том, чтобы, развивая индустриальные методы проектирования и производства, сохранить их высокую гибкость. Объем производства предприятий и цехов, имеющих указанные характеристики, составляет не менее 1/3 общего объема машиностроительного производства.

Предмет исследования и разработки: методы исследования экспериментального машиностроения как объекта совершенствования на основе гибкой автоматизации и концептуального проектирования гибкой автоматизации экспериментального машиностроения, практическая реализация и внедрение упомянутых методов.

Методы исследования: исследование операций, системный анализ, теории классификации, надежности, математической статистики, графиков, аналитическое и имитационное моделирование, линейное и динамическое программирование, основы построения экспертных систем.

1.4. СТЕПЕНЬ РАЗРАБОТАННОСТИ ПРОБЛЕМЫ

Богатая практика создания и совершенствования машиностроительных производств сопровождалась развитием теоретических положений по всем аспектам их концептуального проектирования. Эти положения развиты благодаря фундаментальным научным работам отечественных и зарубежных ученых*. В этих работах в достаточной мере отработаны

* Белянина П.Н., Бузако Дж., Булгакова А.А., Васильева В.С., Волчковича Л.И., Горанского Г.К., Грувера М., Дружинина Г.В., Киселева Г.А., Кьюсака Э., Макарова И.М., Митрофанова С.П., Пономарева К.В., Сатановского Р.Л., Соломенцева Ю.М., Трапезникова В.А., Хартли Дж., Черпакова Б.И., Шпура Г. и др.

содержание и последовательность операций концептуального проектирования.

Вместе с тем, не был решен ряд проблем достижения и обеспечения высокой эффективности результатов перестройки машиностроения: не была учтена специфика экспериментального машиностроения, в том числе специфический экономический эффект его совершенствования - сокращение сроков выполнения работ; в известных концепциях основные многофакторные показатели совершенства ПТС (гибкости, уровня автоматизации, степени интеграции и др.), как правило, не приведены к интегральным критериям, что затрудняет использование их в расчетных соотношениях, например, в соотношениях с показателями эффективности ПТС; не решены вопросы оптимизации (по критерию максимальной эффективности) соотношения показателей совершенства ПТС, что снижает в конечном счете эффективность их усовершенствования, а нередко вовсе не дает ожидаемого эффекта; концепции зачастую основаны на несбывающихся прогнозах развития техники и технологии машиностроения.

Анализ концепций интегрированной гибкой автоматизации машиностроительных производств по таким мощным типовым проектам, как ESPRIT (Европейский союз) и ICAM (США) показал, что они пока еще не могут служить концептуально-нормативной базой современных комплексно автоматизированных гибких производств машиностроения.

Практическая реализация выводов концептуального проектирования в виде автоматизированных ПТС скромнее, чем теоретические разработки. В отечественном машиностроении можно насчитать единицы комплексно автоматизированных гибких производств, да и за рубежом их сравнительно немного, хотя имеют место несколько таких автоматизированных предприятий и цехов (фирм Yamazaki и Fanuc в Японии, японской фирмы Mazak в Великобритании, фирмы Werner und Kolb в Германии и др.). Следует отметить, что достигнутые практические результаты, как правило, уступают по показателям совершенств и эффективности проектным решениям.

1.5. НАУЧНАЯ НОВИЗНА РЕЗУЛЬТАТОВ И ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

Автором предложен, обоснован и практически реализован метод концептуального проектирования гибкой автоматизации ПТС экспериментального машиностроения, имеющий существенные отличия от известных. Он учитывает такие особенности экспериментального машиностроения, как широкая номенклатура изделий, единичный или мелкосе-

рийный масштаб их производства, нестабильные производственно-технические характеристики. Используемые показатели совершенства ПТС (гибкости, уровня автоматизации, степени интеграции) представлены в нем как интегральные количественные критерии многофакторной и вероятностной природы. Эти критерии таковы по физической сущности, а не являются абстрактными результатами сведения многомерного пространства признаков к одномерному. Он учитывает объективную необходимость поддержания определенным соотношения показателей гибкости и уровня автоматизации ПТС по критерию ее максимальной эффективности. В нем используются количественные описания конструктивных и технологических характеристик объектов проектирования и производства (изделий, средств технологического оснащения и т. д.).

Важным свойством данного метода является сравнительная простота используемых математических соотношений, что удобно на стадии концептуального проектирования при сопоставлении и выборе вариантов гибко автоматизированных ПТС.

Данный метод сопровождается двумя важными дополнениями, разработанными автором, обеспечивающими его практическое применение: методом исследования ПТС как объекта совершенствования на основе гибкой интегрированной автоматизации, системами классификации изделий, конструкторских и технологических документов и рядом других классификаторов технико-экономической информации.

Разработки выполнены для граничных условий применения, обусловленных современным состоянием техники и технологии машиностроения.

На защиту выносятся:

1. Особенности метода концептуального проектирования гибко автоматизируемых ПТС экспериментального машиностроения
2. Методы количественной оценки совершенства ПТС экспериментального машиностроения по основным показателям - гибкости и уровня автоматизации. Обоснование достижения максимальной эффективности совершенствования ПТС экспериментального машиностроения при определенных (рациональных) соотношениях показателей их гибкости и уровня автоматизации.
3. Методы автоматизированной классификации предметов, орудий и процессов труда в ПТС как инструмент количественной оценки совершенства этих систем, решения комплекса задач их совершенствования и распространения решений на аналогичные ПТС.
4. Практическая реализация метода концептуального проектиро-

вания ПТС экспериментального машиностроения и концептуальных проектов, разработанных посредством этого метода. Комплекс автоматизированных систем, реализующих упомянутый метод, и используемых на последующих стадиях создания, внедрения и эксплуатации ПТС.

1.6. РЕАЛИЗАЦИЯ И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Положения предложенного автором метода концептуального проектирования гибкой автоматизации экспериментального машиностроения и концептуального проекта реализованы в интегрированной машиностроительной системе (ИМС) КАПРИ, созданной в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова. В 1987 г. успешно проведены государственные испытания этой системы. В настоящее время указанный метод применяется в Российском научном центре «Курчатовский институт» (бывш. Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова) при создании там компьютеризированного интегрированного производства (КИП) наукоемких изделий.

Локальные системы автоматизации, реализующие отдельные положения упомянутых метода и концептуального проекта, переданы свыше 40 предприятий и организаций различных подотраслей машиностроения, имеющих большое народнохозяйственное значение.

Научные положения диссертации включены в комплект нормативно-методических документов по созданию, внедрению и эксплуатации компьютеризированных интегрированных производств машиностроения, разработанных (при участии автора диссертации) по заказу ГКНТ и Научно-промышленного союза СССР в 1991 г., Миннауки, Союза промышленников и предпринимателей, Инженерной академии России и Международной инженерной академии в 1993 г.

В виде документов «Техническое предложение по КАПРИ», «Эскизный проект системы КАПРИ» и монографии «Концепция гибкой автоматизации экспериментального машиностроения» научные положения переданы более 300 организаций и предприятий машиностроения.

Как явствует из более поздних публикаций, научные положения диссертации нашли немало последователей.

1.7. АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты работ опубликованы в периодических научно-технических изданиях в более, чем 60 статей и докладов.

Основные положения диссертации были доложены на 8 международных конференциях и симпозиумах, в том числе на X Конгрессе IFAC в Мюнхене (1987 г.), симпозиуме IFAC/IFIP/IMACS/IFORS по проблемам роботизации и ГПС в Суздале (1986 г.), двух американо-японских

симпозиумах по гибкой автоматизации производства (1986, 1990 гг.), Первой международной конференции-выставке по международным стандартам в проектировании и производстве в Москве (1992 г.); на более, чем 20 всесоюзных конференциях, симпозиумах, совещаниях, в том числе Всесоюзных совещаниях «Проблемы управления» в Ереване (1983 г.), Алма-Ате (1986 г.) и Ташкенте (1989 г.), конференциях по гибкой автоматизации производства и робототехнике в Минске, Одессе, Каунасе и др., конференциях по классификаторам в Москве и Харькове.

Диссертация обсуждена и рекомендована к защите на научном семинаре специализированных подразделений Российского научного центра «Курчатовский институт» (РНИИ КИ) и Научном совете Института высоких технологий экспериментального машиностроения РНИИ КИ.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

2.1. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Анализ экономического эффекта результатов научных исследований и разработок экспериментальных установок (стендов) и образцов объектов новой техники во взаимосвязи с затратами на инженерное обеспечение упомянутых исследований и разработок показывает, что эффективность инженерного обеспечения определяется, главным образом, не внутрихозяйственным эффектом в НИИ и КБ, а эффектом внедрения результатов исследований и разработок в народное хозяйство [8, 24, 37, 59, 60].

Таким образом, высокая эффективность экспериментального машиностроения определяется, в основном, минимальными сроками выполнения заказов на инженерное обеспечение научных исследований и разработок [24, 37, 59, 60], что способствует ускорению их проведения и внедрения их результатов.

Проведенный анализ зависимости сроков выполнения научных заказов от их трудоемкости [24, 37] выявил несовершенство проектных и производственных подразделений НИИ и КБ. Внедрение индустриальных методов проектирования и производства в экспериментальное машиностроение дало ему возможность выполнения сложных и масштабных задач. Вместе с тем, существенно возросли сроки выполнения сравнительно мелких задач, составляющих большую часть номенклатурных потребностей НИИ и КБ, вследствие снижения гибкости и оперативности опытно-конструкторских подразделений и опытных производств. Экспериментальное машиностроение сталкивается также с проблемой кадрового обеспечения ввиду социальной непривлекательности множества

используемых в нем профессий (конструкторов, технологов, рабочих станочников и т. д.).

Совершенствование экспериментального машиностроения и устранение указанных недостатков и трудностей должно обеспечить гармоничное сочетание высокой гибкости, присущей лабораторным масштабам инженерного обеспечения научных исследований и разработок, и индустриальных методов проектирования и производства.

Под руководством автора разработан метод исследования конструкторской и производственной деятельности в экспериментальном машиностроении как объектов совершенствования на основе автоматизации [24, 37].

Учитывая нестабильность и вероятностный характер показателей проектирования и производства в экспериментальном машиностроении, необходимо проведение систематических исследований этих объектов. На базе алгоритмов указанного метода разработаны и внедрены автоматизированные системы анализа конструкторской и производственной деятельности (соответственно, АСАКР и АСАП) [24, 27, 31, 32, 34, 35, 37]. Посредством этих систем производится непрерывное исследование указанных видов деятельности, как объектов автоматизации, с представлением результатов в виде, удобном для принятия решений по совершенствованию этих видов деятельности. Эти результаты дают возможность выявить наиболее эффективные направления совершенствования проектирования и производства и рациональную последовательность работ по их совершенствованию. АСАКР и АСАП дают возможность непрерывно получать основные характеристики проектной и производственной деятельности в виде средних величин за заданные промежутки времени, их вариации, дисперсии и гистограммы распределения отклонений от средних величин.

Впоследствии автоматизация предпроектных исследований для создания гибких автоматизированных производств стала довольно широко применяться на практике, и нашла отражение в рекомендациях по созданию таких производств [37, 44, 46, 47, 49, 64].

На рис. 2.1 показаны направления совершенствования ПТС экспериментального машиностроения. Оно имеет целью сокращение сроков выполнения заказов ($T_{\text{заказа}}$) путем уменьшения суммарных времен остановок по различным причинам (ΣT_0) и производительной работы ($\Sigma T_{\text{п}}$). Из рисунка видно, что основные практические направления совершенствования в упомянутых выше граничных условиях: параллельно-последовательное выполнение операций, повышение гибкости и уровня

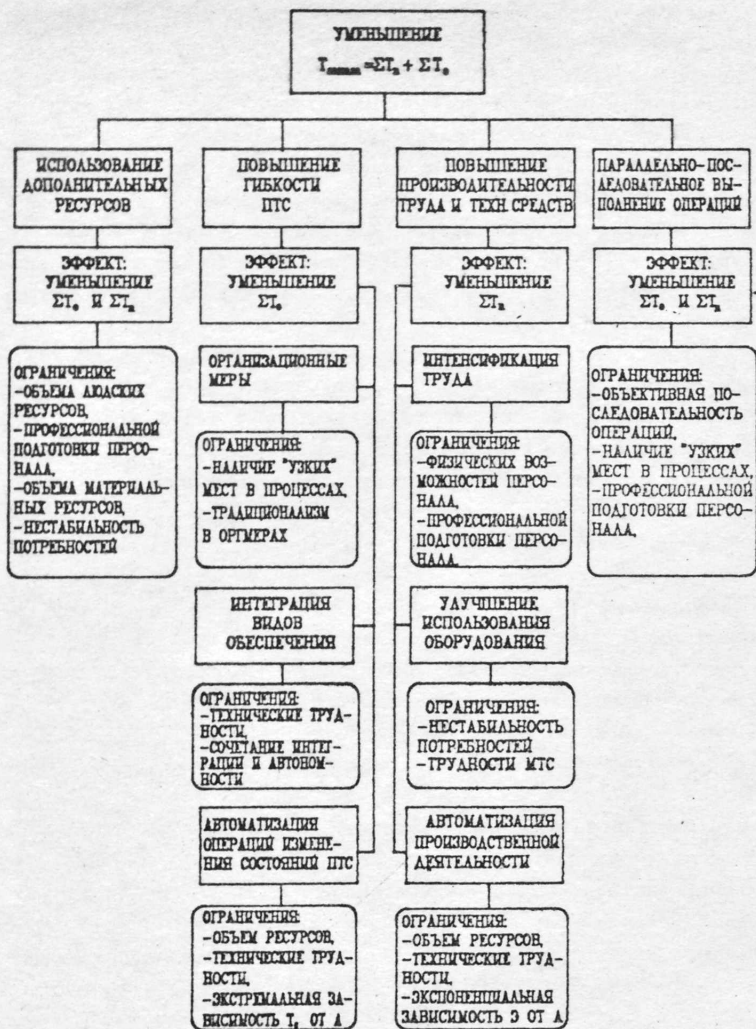


Рис. 2. 1. Основные направления повышения эффективности
ПТС экспериментального машиностроения

A - уровень автоматизации, Σ - эффективность

автоматизации ПТС.

Предложен алгоритм расчета ориентировочной продолжительности T_i процесса создания i -го изделия, содержащего совокупность параллельных и последовательных операций [37, 47].

$$T_i = \sum_{j=1}^m \left(\frac{\sum_{x=1}^p L_{xj}}{\sum_{x=1}^p a_{xj}} \right) + \sum_{j=m+1}^n \left| \frac{L_{xj}}{a_{xj}} \right|_{\max}. \quad (1)$$

Здесь: L_{xj} - трудоемкость x -й операции j -го процесса; a_{xj} - количество исполнителей x -й операции; p - количество операций j -го процесса; $j = \langle 1 \dots n \rangle$ - множество последовательных локальных процессов, из которых $\langle 1 \dots m \rangle$ локальных процессов содержат параллельные операции, выполняемые бригадным методом, а остальные $\langle m+1 \dots n \rangle$ - закрепленными исполнителями.

Заказ на создание N изделий может содержать M изделий, создаваемых параллельно, и остальные - последовательно. Общее время выполнения заказа будет:

$$T = \left| T_i \right|_{\max}^M + \sum_{i=M+1}^N T_i. \quad (2)$$

В уравнениях (1) и (2) не присутствует продолжительность непроизводительных простоев, которая арифметически суммируется с T_i .

Анализ процесса создания изделия показывает, что его продолжительность зависит от гибкости и производительности операций, а производительность операций, в свою очередь, от уровня их автоматизации [14, 23, 37]. Нижняя оценка продолжительности процесса может быть выражена уравнением связи условно независимых случайных величин L , F и A :

$$T = [L, \zeta(F), \phi(A)]. \quad (3)$$

Здесь: L - трудоемкость процесса создания изделия, F - показатель гибкости, A - показатель уровня автоматизации. Это уравнение отражает стратегию повышения эффективности экспериментального машиностроения - гибкую автоматизацию.

2.2. ГИБКОСТЬ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Гибкость - одна из важнейших характеристик экспериментального машиностроения. Качественно гибкость означает способность легко изменяться, уметь и быстро приспосабливаться к новым условиям и обстоятельствам [77]. Существует множество определений гибкости

ПТС и методов расчета параметров, характеризующих эту гибкость [37]. Гибкость ПТС - многоаспектное понятие [37, 54, 85, 86, 89]. Организационно-экономические и технологические характеристики ПТС, определяющие требования к ее гибкости, составляют внушительный перечень из 14 групп параметров, подверженных постоянным изменениям [65].

Гибкость ПТС определяется изменчивостью условий ее функционирования и ответной способностью к изменчивости системы для обеспечения выполнения ее целевой функции. Изменчивость системы может проявляться в глубине и скорости изменений, трудоемкости проведения изменений, нечувствительности к случайным изменениям условий функционирования, адекватности изменений системы изменяющимся условиям и т. д.

Математическое выражение функциональной зависимости показателей гибкости и эффективности ПТС удобно для решения, когда гибкость представлена в виде интегрального критерия, учитывающего все ее аспекты.

Ввиду многофакторной природы гибкости возможны три способа ее количественной оценки:

- оценка гибкости ПТС в многомерном пространстве признаков;
- сведение многомерного пространства признаков к одномерному посредством вычисления и использования интегрального признака;
- выявление интегрального признака, который по физической сущности имеет многофакторную природу и зависит от полного множества упомянутых признаков.

Первый способ оценки весьма сложен и трудоемок, поэтому на стадии концептуального проектирования обычно не находит применения. Попытки количественного определения гибкости одним интегральным критерием [62, 74, 90] были основаны на использовании нестрогих, либо неполных количественных данных. Поэтому на практике они носили, в основном, иллюстративный характер. Для количественной оценки гибкости ПТС автором применен третий из упомянутых выше способов.

Существует одна общая черта гибких ПТС независимо от определения понятия гибкости: сохранение в заданных пределах производственно-технических характеристик при воздействии на них различных изменяющихся условий функционирования (изменение производственной программы, окружающей среды, качества сырья и средств технологического оснащения и т. д.). Многообразие изменений состо-

яния ПТС может быть уменьшено вследствие обоснованной стабилизации отдельных требований, предъявляемых к ней, например, стабилизации плановых сроков производства и показателей качества готовой продукции, используемых трудовых ресурсов.

Это общее свойство гибкости дает основание провести аналогию по физической сущности между этим свойством и понятием надежности. Применение понятия надежности как эквивалента понятия гибкость дает возможность: учесть все факторы гибкости, анализировать поэлементно влияние факторов гибкости и синтезировать системы заданной гибкости проектным путем, устранить различие толкований гибкости, применить хорошо развитый математический аппарат теории надежности при проектировании гибких ПТС, количественно оценивать гибкость интегральным критерием и однозначно определять связь этого критерия с эффективностью системы [15, 17, 18]. Таким образом, предложенный показатель гибкости ПТС - это по существу интегральный показатель ее надежности при заданных диапазонах допустимых изменений условий ее функционирования [15, 17, 18, 20, 21, 22, 25, 26, 37, 47]. Этот показатель учитывает техническую, технологическую и организационную надежность системы. Вероятность безотказной работы ПТС за определенный промежуток времени характеризует вероятность ее производительной работы в заданном диапазоне изменений ее технического, технологического и организационного состояний. Среднее время наработки на отказ может означать статистически среднее время до моментов технических отказов, технологических переналадок и остановок по организационным причинам. Соответственно, среднее время восстановления учитывает не только времена ремонтов оборудования, но также переналадок и устранения простоев по организационным причинам. Эти показатели надежности функционально связаны между собой через закон распределения плотности вероятности безотказной работы ПТС, что дает интегральную оценку гибкости.

Гистограмма распределения относительной трудоемкости создания групп конструктивно и технологически подобных изделий (рис. 2.2), отражая вероятность создания этих изделий, учитывает две основные грани гибкости ПТС: способность выполнения технологических требований и трудоемкость выполнения этих требований.

В общем случае гибкость ПТС может быть оценена без предварительного определения диапазона изменения условий ее функционирования, т.е. может быть оценена потенциальная гибкость системы (например, по наличию избыточных функциональных, технических и инфо-

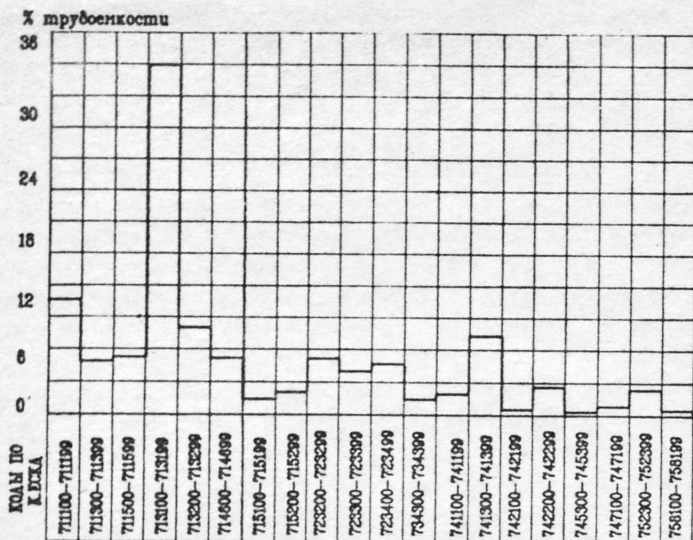


Рис. 2. 2. Относительная трудоемкость создания групп изделий

рационных средств [65, 71, 75]). Однако, наличие потенциальных резервных возможностей, закладываемых в проектируемую ПТС, не может обеспечить адекватную гибкость.

2. 3. УРОВЕНЬ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Наряду с совершенством технологических процессов и гибкостью уровень автоматизации является показателем прогрессивности ПТС. В инженерной практике нашло применение множество разнообразных способов оценки уровня автоматизации и его показателей [37, 57, 70, 72, 78, 82]. Они учитывают, в основном, высвобождение работников от выполнения с использованием ручного труда различных производственно-технических операций и связанное с этим повышение производительности их труда. Однако, этим не исчерпывается прогрессивное воздействие автоматизации на производственно-технические процессы.

Показатель уровня автоматизации ПТС должен учитывать степень достижения основных целей автоматизации: повышение производительности труда, улучшение качества продукции и улучшение условий труда. Поэтому автором предложено дополнить известное определение уровня автоматизации показателями, учитывающими эффективность результата совершенствования на основе автоматизации.

Показатель уровня автоматизации A удобно выражать в виде отношения приведенной (к базовому варианту) трудоемкости автоматизированных операций L_A к общей приведенной трудоемкости всех операций L [76]:

$$A = \frac{L_A}{L} = \sum_{i=1}^m l_{ia} \quad (4)$$

Этот показатель широко применяется на практике в машиностроении. Здесь: $l_{ia} = L_{ia} / L$ - относительная трудоемкость i -й автоматизированной операции ($i = \overline{1, m}$); L_{ia} - приведенная трудоемкость i -й операции; $L = \sum_{i=1}^n L_i$; L_i - приведенная трудоемкость i -й операции ($i = \overline{1, n}$; $\langle 1 \dots m \rangle \subseteq \langle 1 \dots n \rangle$).

Приведение трудоемкостей к базовому варианту в виде неавтоматизированной ПТС осуществляют для унифицированной оценки уровня автоматизации на разных стадиях процесса автоматизации [37, 76].

Эффект автоматизации может быть учтен предложенным автором коэффициентом эффективности a_i [31, 32, 36, 37, 42, 46, 47]:

$$A = \sum_{i=1}^m l_{ia} a_i \quad (5)$$

Коэффициент эффективности i -й операции $a_i = 1$, если планируемый эффект ее автоматизации достигнут в полном объеме (или при предварительной проектной оценке A); $a_i = 0$, если эффект не возник. В остальных случаях $0 < a_i < 1$. Наиболее простой является линейная зависимость a_i от эффекта $\mathcal{E}_i$: $a_i = \mathcal{E}_i / \mathcal{E}_i^{\text{пр}}$, где $\mathcal{E}_i^{\text{пр}}$ - заданный проектом автоматизации эффект.

Для операций, автоматизация которых должна обеспечить получение комбинированного эффекта, простейшая форма зависимости a_i от степени достижения этого эффекта выглядит так:

$$a_i = \frac{\mathcal{E}'_i + \mathcal{E}''_i + \mathcal{E}'''_i}{(\mathcal{E}' + \mathcal{E}'' + \mathcal{E}''')_i} \quad (6)$$

Здесь: $\mathcal{E}'_i$, $\mathcal{E}''_i$, $\mathcal{E}'''_i$ - фактически достигнутые вследствие автоматизации эффекты трех видов; $(\mathcal{E}' + \mathcal{E}'' + \mathcal{E}''')_i$ - плановый комбинированный эффект автоматизации i -й операции. Сложение эффектов скалярное, если удастся их выразить одной мерой, и векторное в иных случаях.

Следует иметь в виду то, что автоматизация ПТС имеет экономи-

чески обоснованные пределы, устанавливаемые предельно допустимым сроком окупаемости затрат на автоматизацию [3, 5, 6, 7, 24, 37, 82]. Предельно допустимая по экономическим соображениям оснащенность ПТС средствами и системами автоматизации для каждой ступени совершенства технологического процесса может быть определена проектным путем и предоставлена в виде типовых проектов автоматизации (именуемых рациональными объемами автоматизации [5, 6]). В окрестностях предельной оснащенности ПТС средствами и системами автоматизации уровень автоматизации может быть выражен уравнением [5, 6, 37, 46, 47]:

$$A = \sum_{i=1}^m \beta_i / \sum_{i=1}^n \beta_i, \quad (7)$$

где n - перечень средств и систем автоматизации по упомянутому проекту; m - перечень внедренных средств и систем автоматизации; β_i - весовой коэффициент эффективности i -го средства или системы автоматизации (определяется при разработке проекта).

2.4. РАЦИОНАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ГИБКОСТИ И УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

На нынешнем этапе развития технологии и автоматизации машиностроения (несмотря на заметные достижения в областях автоматизированного проектирования, создания и внедрения очувствленных адаптивных роботов, искусственного интеллекта и т. д.) существуют объективные пределы совместного эффективного повышения гибкости и уровня автоматизации [8, 17, 18, 24, 31, 32, 34, 35, 37, 42, 47, 56, 57, 63, 80, 84]. Это означает, что с ростом уровня автоматизации возникает такое организационно-технологическое состояние ПТС, когда гибкость системы начинает снижаться и достигает уровня, который делает повышение уровня автоматизации неэффективным, или затраты на поддержание прежнего уровня гибкости превышают эффект от повышения уровня автоматизации.

Известная в машиностроении 2-мерная диаграмма эффективных областей автоматизации в координатах номенклатура - партионность изделий [56, 57, 63] указывает на то, что с ростом уровня эффективной автоматизации ПТС наступает предел, когда ее гибкость снижается. Взаимосвязь показателей уровня автоматизации и гибкости с учетом истории развития средств и систем автоматизации также подтверждает это положение [84].

На основании анализа совокупного влияния на основной показатель эффективности экспериментального машиностроения - сроки выполнения заказов на проектные и производственные работы - разработаны 3-мерные диаграммы эффективных областей гибкой автоматизации проектирования и производства [17, 18, 20, 22, 37, 47]. Образец такой диаграммы представлен на рис. 2.3.

Упомянутое выше противоречие между показателями гибкости и уровня автоматизации возникает в окрестностях границ эффективных областей автоматизации на указанных 2-х и 3-мерных диаграммах. Вдали от этих границ повышение уровня автоматизации может сопровождаться эффективным повышением гибкости ПТС.

Структура ПТС как объекта экономической оптимизации представлена на рис. 2.4 в виде последовательно функционирующих блоков [20, 22, 25, 37, 47, 71]. Здесь: $\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_n$ - среднее время задерживания снабжения (θ_0) и выпуска продукции относительно плановых сроков; $S_0, S_1, \dots, S_{n-1}, S_n$ - стоимость продукции (производимой в единицу времени) на входе и выходе блока; $Z_1, \dots, Z_n$ - ресурсы, использованные на производство в каждом блоке; $H_1, \dots, H_n$ - потери от случайных возмущений; $W(S_n, \theta_n)$ - функция потерь от нестабильности; $F_1, \dots, F_n$ - показатели гибкости блоков системы (вероятности безотказной работы при заданных условиях функционирования). В ПТС экспериментального машиностроения все эти блоки интенсивно функционируют, влияя друг на друга и на систему в целом.

Каждый блок находится под воздействием двоякого рода возмущений. С одной стороны, на входе каждого (k -го) звена имеется определенный уровень дефицита $\bar{S}_{k-1} = S_{k-1} \theta_{k-1}$, зависящий от нестабильности предыдущих блоков; с другой, на блок влияют собственные внутренние возмущения H_k . Затраты ресурсов каждого (k -го) блока, влияющие на себестоимость продукции, зависят от вариантов их использования, т. е. $Z_k = \varphi_k(F_k)$. Необходимо обеспечить такую гибкость блока F_k , которая бы в максимальной степени компенсировала экономически вредные последствия указанных факторов нестабильности, то есть способствовала снижению θ_k и возможной минимизации Z_k . Минимальные экономические потери в системе обусловлены равномерным ресурсным резервированием по выходному дефициту блоков [71]. Иными словами, гибкость системы максимальна при равенстве $F_1 = F_2 = \dots = F_k = \dots = F_n$ [20, 22, 25, 37, 47, 71, 75]. Информационная пропускная способность такой системы является наивысшей также при равенстве информационной пропускной способности упомянутых

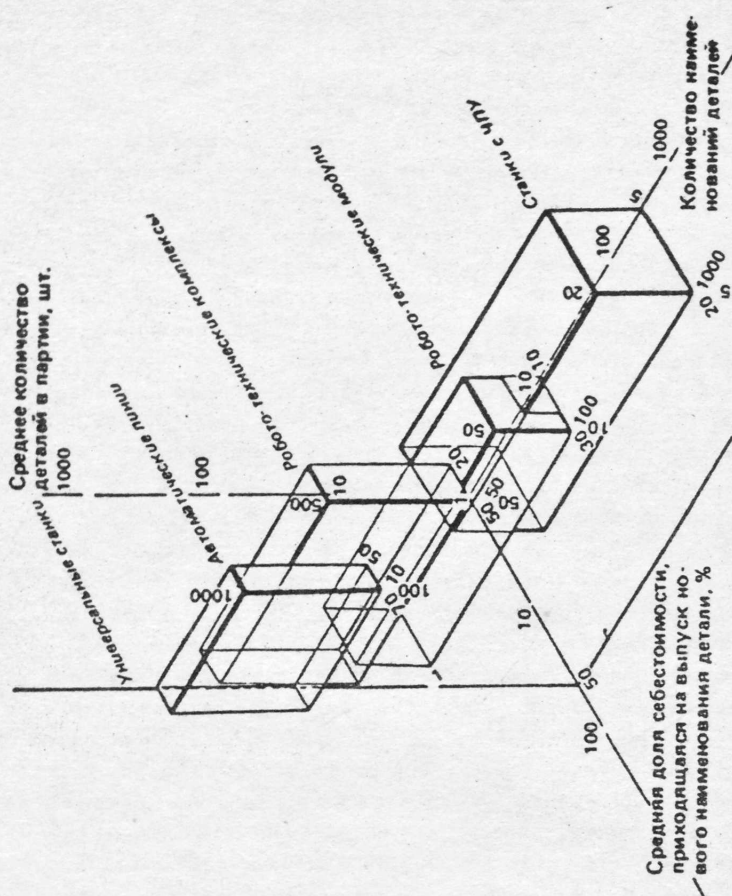


Рис. 2. 3. Области эффективного производства деталей посредством ПТС различных гибкости и уровня автоматизации

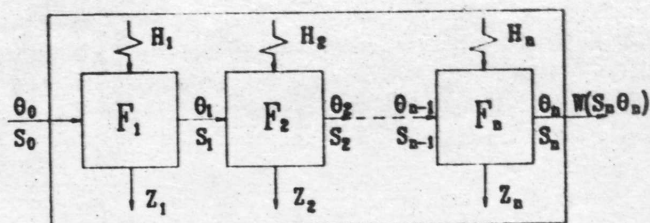


Рис. 2. 4. Структура ПТС как объекта экономической оптимизации

блоков [2, 3, 4, 7, 37].

При решении вопроса о рациональном соотношении показателей гибкости и уровня автоматизации следует отдавать предпочтение максимально достижимой гибкости. Получив максимально достижимые показатели гибкости последовательно функционирующих блоков ПТС, следует выбрать минимальный из достигнутых и снизить до его величины показатели других блоков, отказавшись от некоторых мероприятий до повышению гибкости, как экономически нерациональных в масштабе системы. При этом, вероятно, изменятся рациональные соотношения между показателями гибкости и уровня автоматизации отдельных блоков, что даст возможность повысить их уровни автоматизации.

Исходной информацией для выполнения операций концептуального проектирования ПТС являются гистограммы относительных трудоемкостей проектирования и производства групп конструктивно и технологически подобных изделий (рис. 2. 2) для каждого блока системы. Они, по существу, представляют собой гистограммы распределения плотности вероятности безотказной работы каждого блока по группе технологических условий функционирования. Указанные гистограммы могут быть получены в процессе предварительных исследований объектов автоматизации посредством упомянутых выше систем АСАП и АСАКР.

Выбор общего диапазона изменений условий функционирования блоков может быть выполнен двумя способами: выбор общей части для всех диапазонов, когда $\Delta C \leq \Delta C_j$; выбор такого диапазона, в который укладывается диапазон каждого блока, т. е. $\Delta C_j \leq \Delta C$ [37].

Для сопоставления гибкости блоков распределение плотности вероятности безотказной работы каждого блока в зависимости от условий функционирования следует приводить к равномерному, но с сохра-

нием величин энтропии этого блока [37, 42]. Энтропия j -го блока H_j определяется законом распределения плотности вероятности его безотказной работы f_{ij} от условий его функционирования C_i в диапазоне ΔC_j , который можно путем ступенчатой аппроксимации разбить на n дискретных i -х поддиапазонов ($i = \overline{1, n}$):

$$H_j = - \sum_{i=1}^n f_{ij} \log f_{ij} . \quad (8)$$

$$\Delta C_j = \sum_{i=1}^n C_i . \quad (9)$$

При равномерном распределении f_{ij} :

$$H_j = \log \Delta C_j^{\frac{1}{n}} . \quad (10)$$

$$f_{ij}^{\frac{1}{n}} = 1 / \Delta C_j^{\frac{1}{n}} = 1 / w_j . \quad (11)$$

где $\Delta C_j^{\frac{1}{n}} = w_j$ - диапазон изменения условий функционирования j -го блока при эквивалентном равномерном законе распределения плотности вероятности безотказной работы (гибкости) с энтропией реально функционирующего блока; $f_{ij}^{\frac{1}{n}} = \text{const}$ - показатель гибкости j -го блока в любом i -м состоянии при равномерном законе ее распределения. Диапазон w_j можно назвать информационной способностью j -го блока.

При выравнивании диапазонов изменения условий функционирования блоков показатель гибкости j -го блока в диапазоне ΔC

$$f_j^{\frac{1}{n}} = \Delta C \times f_{ij}^{\frac{1}{n}} = \Delta C / w_j . \quad (12)$$

Любой функциональный блок ПТС может быть представлен в виде одного перенастраиваемого комплекса; группы комплексов (оборудования и обслуживающего персонала), каждый из которых имеет одну наладку из множества наладок; группы перенастраиваемых комплексов или комбинации из трех вышеупомянутых. Анализ показателей технологической гибкости (вероятности безотказного выполнения технологических требований) трех упомянутых структур, необходимой относительной производительности и коэффициента технического использования показал совокупное преимущество 3-й структуры [17, 20, 22, 26, 37, 47]. Этот анализ подтвердил вывод, что в условиях многономенклатурного мелкосерийного (индивидуального) производства эффективен переход от узкой специализации технологического оборудования к универсальным производственным комплексам или комплексам широкого профиля. Подобный анализ проведен также для складов и накопителей.

Рациональное соотношение показателей гибкости и уровня авто-

матизации может быть определено при концептуальном проектировании на основании обобщенных данных по типовым дискретным состояниям оснащенности ПТС средствами и системами гибкой автоматизации.

Если зависимость среднестатистического времени переналадки оборудования от уровня автоматизации имеет экстремальный характер с четко выраженным минимумом, то пределом повышения уровня автоматизации может служить минимально достижимое время переналадки. Если это время монотонно уменьшается с ростом уровня автоматизации, то следует обратить внимание на зависимость от уровня автоматизации величин среднечасовых убытков от непроизводительных остановок и среднечасовой прибыли от производства изделий на этом оборудовании (рис. 2.5).

Рациональное соотношение гибкости и уровня автоматизации ПТС по критерию суммарной эффективности при наличии ограничения (стабилизации объема) трудовых ресурсов может быть установлено посредством решения уравнения неравенства:

$$C_{пп} \times T_{пп} \leq C_p (T - T_{пп}), \quad (13)$$

где $C_{пп}$ - среднестатистическая величина убытков за 1 ч простоя ПТС; C_p - среднестатистическая величина прибыли за 1 ч производительной работы ПТС; T - базовая величина планового ресурса рабочего времени в ч (смена, сутки, рабочая неделя, месяц, год); $T_{пп}$ - суммарная величина простоев ПТС в базовый период времени (в ч).

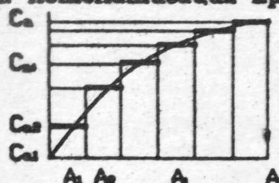
По определению показателя гибкости F $T_{пп} = f(F)$. Также по определению показателя уровня автоматизации A $C_p = \varphi(A)$, если такой эффект достигнут вследствие автоматизации блока (звена) ПТС. $C_{пп}$ учитывает не только потери производства продукции, но также затраты, связанные с ремонтом, переналадкой и т.д. Практика показывает прямую зависимость этих потерь от уровня автоматизации [55]. Так, потери от простоев универсальных станков, станков с ЧПУ, обрабатывающих центров и единицы оборудования в ГПС находятся в соотношении 1 : 4,3 : 10 : 21,4 [83]. Поэтому $C_{пп} = \zeta(F)$.

Обычно суммарное время простоев выражают в виде доли планового ресурса рабочего времени: $R_{пп} = T_{пп} / T$, где $T = \text{const}$, а убытки от простоев - в соотношении с прибылью от производства: $K_{пп} = C_{пп} / C_p$. Тогда уравнение (13) преобразуется в следующее:

$$K_{пп} \leq (1/R_{пп}) - 1. \quad (14)$$

Так как $R_{пп}$ - функция гибкости, а $K_{пп}$ - функция уровня автоматизации, то рациональное соотношение между показателями гибкости и уровня автоматизации может быть выражено уравнением неравен-

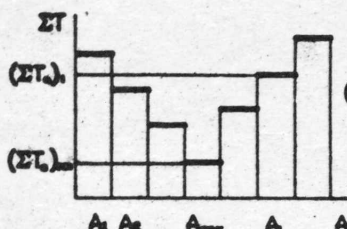
1. Автоматизация производительных операций ПТС.



C_i — прибыль за 1ч производительной работы i -го класса оборудования ПТС.
 A_i — показатель уровня автоматизации i -го класса оборудования ПТС.

2. Автоматизация операций изменения состояния ПТС.

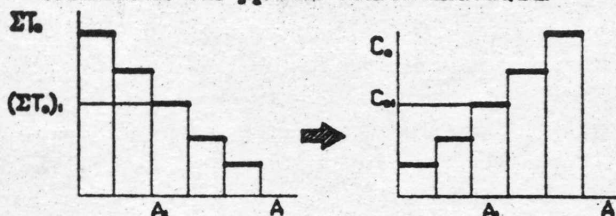
2.1 Экстремальная зависимость продолжительности остановок от уровня автоматизации.



$(\Sigma T)_i$ — суммарная продолжительность остановок i -го класса оборудования за базовый период T работы ПТС.
 $(\Sigma T)_0$ — минимальная суммарная продолжительность остановок

$A_{\text{мин}}$ — рекомендуемый максимальный уровень автоматизации ПТС.

2.2 Моноотонная зависимость продолжительности остановок от уровня автоматизации.



$C_{\text{ост}}$ — стоимость восстановления производительной работы i -го класса оборудования за 1ч остановки ПТС (включая убытки от перерыва производительной работы)

Рис. 2.5. Границы эффективного применения автоматизации ПТС экспериментального машиностроения

твом $\theta(A) = \eta(F)$. Здесь $\theta(A) = \zeta(A) / \phi(A)$ и $\eta(F) = [T / \zeta(F)] - 1$.

Важнейшими данными, необходимыми для определения гибкости ПТС и решения задач рационального соотношения гибкости и уровня автоматизации, являются распределение на группы продукции, создаваемой в одинаковых условиях функционирования блоков ПТС, т. е. на группы однородной по конструктивно-технологическим признакам продукции и трудоемкость работ по созданию этих групп продукции.

2.5. КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ И ПРОЦЕССОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Распределение продукции на группы по конструктивно-технологическому подобию, проектных и производственных технологических процессов по подобию операций являются процедурами их классификации. Эти классификаторы составляют важный раздел комплекса классификаторов технико-экономической информации, применяемых в машиностроении. Исходя из их назначения как составной части информационного обеспечения автоматизированных ПТС, автором сформулированы типовые требования к ним [43, 45, 48].

Использование этих требований как критериев оценки качества классификаторов конструктивных и технологических признаков изделий машиностроения дает основание признать, что для этой цели удобно использовать Классификатор ЕСКД (К.ЕСКД) [86] и сопряженный с ним Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения (ТКД) [81]. Имея государственный статус, они являются своего рода «эсперанто» в машиностроении; они охватывают широкую номенклатуру машиностроительной продукции и в достаточной мере информативны; структура классификационных кодов стабильна и, при необходимости, поддается расширению. По широте охвата предметной области, информативности и ряду других качеств К.ЕСКД и ТКД превосходят отечественные и зарубежные аналоги (Опица, MICLASS, CODE, DCLASS и др.) [63, 69, 73, 87, 88, 91, 92, 93, 94].

Вместе с тем, указанные классификаторы имеют ряд существенных недостатков [40, 41]. Под руководством автора разработана автоматизированная система конструкторско-технологической классификации изделий и конструкторских документов (АСКТК) на базе машиноориентированных классификаторов [40, 41, 48, 50]. Ядро информации в них составляют К.ЕСКД и ТКД, доработанные таким образом, что они лишены значительной части имеющихся недостатков с сохранением их адекватности внемашинным классификаторам. При этом также расширена (на 40%) предметная область ТКД. Разработан Технологический классификатор сборочных единиц (ТКСЕ) [39, 41], структурно подобный ТКД.

Для разработки новых классификаторов (либо их разделов) использована созданная автором специализированная экспертная система [41, 43, 45, 50, 53].

На рис. 2.6 представлена блок-схема экспертной системы. Основными операциями являются построение, перестроение и анализ матрицы признаков классифицируемых объектов. Двоичное отношение объект O_i - признак P_j выражается $\langle 1 \rangle$, если данный признак имеет место, и $\langle 0 \rangle$ - в противном случае [37, 38, 41, 53].

МКА преобразует матрицу, группируя области высокой плотности $\langle 1 \rangle$, а МСП выявляет статистическую частоту (на представительных выборках - вероятность) двоичного отношения O_i/P_j . Высокая частота (вероятность) отношения свидетельствует о существенности признака P_j для объекта O_i .

Для экспериментального машиностроения характерны нестабильность номенклатуры и условий разработки и изготовления изделий. Поэтому расчетно-аналитические методы определения ожидаемой трудоемкости процессов разработки и изготовления изделий [58, 79], основанные на учете и использовании в расчетах данных о трудоемкости типовых микроопераций указанных процессов, имеют ограниченное применение. Другим ограничением является то обстоятельство, что нормирование трудоемкости в условиях хозрасчета является в значительной мере результатом трудового соглашения на рынке труда. Наиболее универсален опытно-статистический метод [37].

Он основан на том предположении, что трудоемкость создания одинаковых изделий (имеющих одинаковый конструкторско-технологический код) посредством одинаковых технологических процессов (что, в свою очередь, подтверждается одинаковыми классификационными кодами используемых процессов, операций и оборудования) должна быть одинаковой. Под руководством автора разработана автоматизированная система расчета и нормирования трудоемкости проектных и производственных работ, основанная на этом методе. Метод наиболее полно апробирован в производстве на деталях, обрабатываемых резанием, и при проектировании для оценки трудоемкости разработки изделий.

Этот метод поддержан автоматизированными классификаторами: упомянутой выше АСКТК, формирующей код детали; Классификатором технологических операций (КТО) [67] и Классификатором технологических переходов (КТП) [68]; Классификатором технологических возможностей оборудования (учитывающим возможность изготовления изделия и факторы, влияющие на трудоемкость изготовления) [37]. КТО и

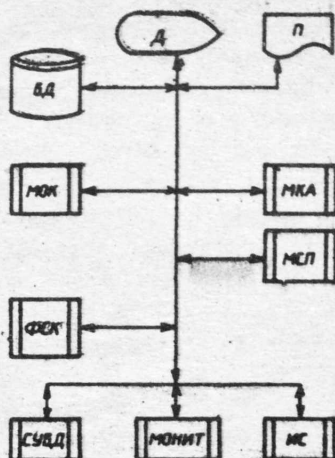


Рис. 2.6. Блок-схема экспертной системы формирования К. Т&Е

Д - дисплей; П - устройство печати; МКА - модуль кластерного анализа; МСП - модуль выявления существенных признаков; ИС - интегрированная текстовая система; МОНИТ - монитор; СУБД - система управления базой данных; БД - база данных; ФСК - формирователь структуры классификатора; МОК - модуль оформления классификатора

КТП использованы в автоматизированной системе классификации технологической документации (АСКТД), разработанной автором [51, 52]. При этом КТО и КТП переработаны в машиноориентированные классификаторы с устранением имеющихся недостатков и ошибок. Классификатор технологических возможностей оборудования (КТВО) разработан вновь.

Для нормирования проектных работ автором разработан Классификатор проектных операций (КПО) [37].

2.6. ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ ГИБКОСТИ И УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ.

Основные пути обеспечения экономически эффективного (рационального) соотношения высоких показателей гибкости и уровня автоматизации ПТС [37, 47]:

- широкое заимствование и модификация аналогов при проектировании изделий (вариантное проектирование);
- унификация проектных решений;
- организация групповых технологических процессов (ГТП);
- интеграция проектирования, производства и управления.

Первые три метода моделируют условия серийного производства, условно сокращая номенклатуру и увеличивая масштаб производства. Четвертый метод способствует уменьшению избыточности аппаратно-программных и информационных средств без снижения гибкости ПТС.

Реализация метода вариантного проектирования связана с решением проблем архивизации документации и разработки моделей установления конструктивного и технологического подобия по различным моделям и критериям [8, 24, 28, 37, 38, 42, 50, 51]. Эти проблемы в значительной мере решены в разработанной автором системе вариантного проектирования изделий (рис. 2.7) [37, 47]. Цели установления подобия служит автоматизированный классификатор агрегированных признаков (КАП), преобразующий алфавитно-цифровой код изделия 9(6).X(5).X(1).X(8) в десятичный код 9(12), по которому устанавливаются аналогии и группируются изделия [24, 37, 38, 47].

КАП используется и в других автоматизированных системах, где имеется необходимость группирования изделий и процессов по подобию их существенных признаков, например, в упомянутой выше системе расчета и нормирования трудоемкости и системе унификации деталей.

Классификация конструктивных и технологических признаков деталей и их логической структуры дали возможность использовать при организации ГТП деталей концепцию типового образа детали и множества типовых элементов обогащения [8, 24, 37, 61]. Основу такого ГТП составляет процесс формообразования типового образа, выступающего в качестве комплексной детали, допускающей лишь исключение отдельных элементов формы вследствие исключения из процесса отдельных операций, переходов и проходов, как в традиционном ГТП. При этом к технологическому процессу формообразования типового образа может быть добавлено любое число технологических операций (переходов) образования дополнительных элементов формы (элементов обогащения), если эти операции образуют последовательность [8, 24, 25, 37, 47].

Интеграция проектирования, производства и управления в ПТС проявляется: в совмещении автоматизированных функций (многофункциональности и многооперационности аппаратно-программных средств); в

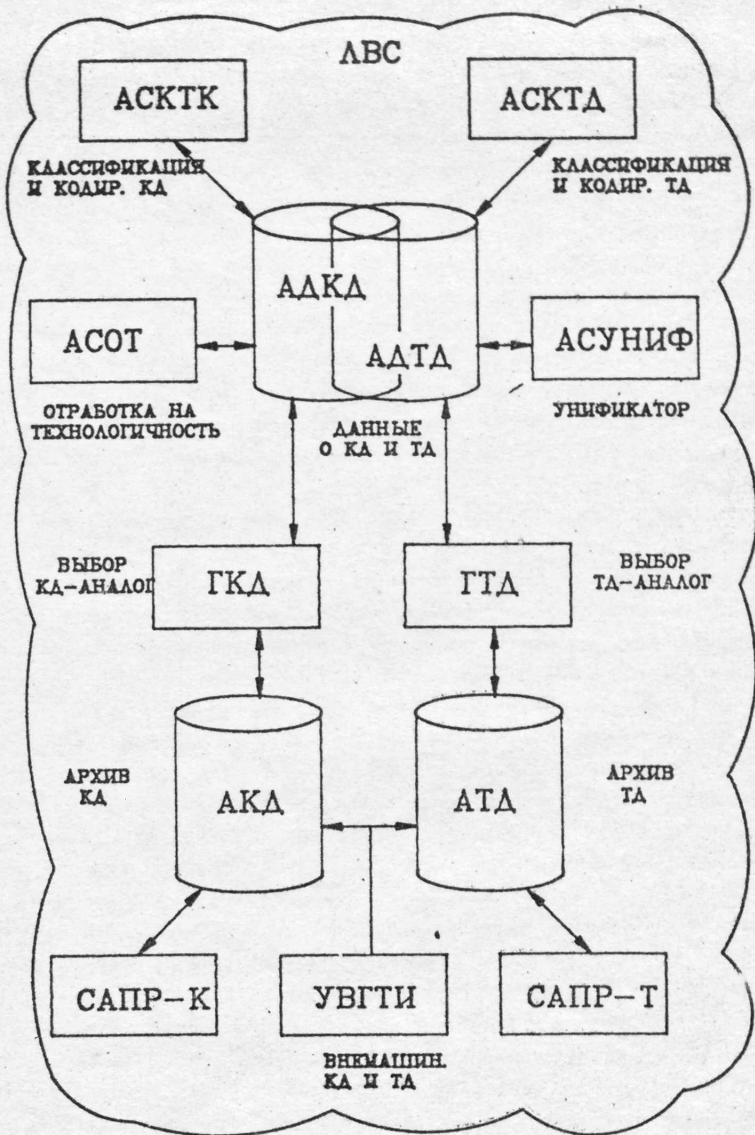


Рис. 2.7. Автоматизированная система вариантного проектирования изделий и технологических процессов их производства

универсальном использовании этих средств; в широком применении типовых технических решений, взаимозаменяемости и, как результат, в сокращении (вплоть до полной ликвидации) межоперационных затрат времени и труда, а также экономии аппаратно-программных и информационных средств [24, 37, 44, 46].

Эффект интеграции отображается, в значительной мере, в показателе степени интеграции, предложенном автором [37, 47]. Так, степень интеграции информации ПТС:

$$И = \Delta I / I, \quad (15)$$

где I - суммарный объем информации, используемой интегрируемыми подсистемами; ΔI - уменьшение объема используемой информации при интеграции.

Используя предложенные показатель гибкости i -го элемента интегрированной системы F_i , информационную способность m_i и изменение этой способности при интеграции i -го элемента в систему Δm_i , можно выразить:

$$\text{- степень интеграции } И = \log \Delta m_i / \log m_i; \quad (16)$$

$$\text{- гибкость при интеграции } F_i = 1 / (m_i - \Delta m_i). \quad (17)$$

Таким образом, при интеграции видов обеспечения ПТС как бы уменьшается диапазон изменений условий ее функционирования, что дает возможность эффективно поддерживать высокий уровень автоматизации без снижения реальной гибкости системы.

Разработанная автором система контроля, учета и анализа простого оборудования [30, 37] дает возможность определять реальные показатели гибкости действующих ПТС и управлять гибкостью посредством использования нормативных времен остановок оборудования.

2.7. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИБКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Разработанный автором метод концептуального проектирования гибкой автоматизации экспериментального машиностроения в значительной мере реализован в Российском научном центре «Курчатовский институт» (б. Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова) в ИМС КАПРИ и в настоящее время применяется при создании в упомянутом Институте КИП наукоемких изделий.

Ниже в таблице представлен перечень операций концептуального проектирования ПТС экспериментального машиностроения и автоматизированных функций, разработанных и внедренных под руководством и при участии автора, реализующих упомянутые операции. В таблице приведены также сведения об их тиражировании и эффективности.

**Автоматизированные системы (АС), обеспечивающие применение метода
концептуального проектирования в реализации концептуальных проектов
гибкой автоматизации ПТС экспериментального машиностроения**

Операция	АС, реализующие операцию			Объем внедрен, СМ-4/РС
	Наименование	Функция	ТЗЗ (подтвержд. докум.)	
1	2	3	4	5

1. Обеспечение применения метода концептуального проектирования

Классификация изделий в конструкторских документах (КА)	АС конструкторско-технологической (КТ) классификация (АСКТК)	Автоматизированная КТ классификация изделий в КА. Архивизация данных в КА	Увеличение производительности труда при классификации в 4-10 раз, коррекция классификаторов - в 20 раз. (Протокол МВМ)	6/37
Классификация технологических документов (ТА)	АС классификация ТА (АСКТА)	Автоматизированная классификация ТА. Архивизация данных о ТА	Увеличение производительности труда при классификации в 8 раз, коррекция классификаторов - в 20 раз. (Протокол пр.-сдат. испытаний)	1/4
Группирование изделий в КА по КТ подобия	АС группирования КА	Автоматизированная информационно-поисковая система, сопряженная с АСКТК в САПР-К	Повышение уровня заимствования с 5 до 28%. (Протокол МВМ)	-/6
Группирование технологических процессов по подобию их содержания	АС группирования ТА	Автоматизированная информационно-поисковая система, сопряженная с АСКТА в САПР-Т	Повышение уровня заимствования с 3 до 30%. (Протокол пр.-сдат. испытаний)	-/3
Определение и нормирование трудоемкости работ	АС определения и нормирования трудоемкости работ	Автоматизированное опытно-статистическое определение и нормирование трудоемкости проектных и производственных работ	Увеличение производительности труда на 10-15%. (протоколы ГИ и пр.-сдат. испытаний)	1/2
Анализ продолжительности выполнения заказов на производство	АС слежения за выполнением заказов и учета незавершенных работ	Автоматизированное слежение за выполнением проектных и производственных заказов, учет незавершенных работ по номенклатуре и трудоемкости	Сокращение сроков выполнения заказов на 15%, объемов незавершенного производства на 20%. (Протокол ГИ)	6/-
Определение характеристик ПТС	АС анализа проектных и производственных работ	Автоматизированный сбор и анализ информации о проектной и производственной деятельности, получение статистических характеристик ПТС	Не определен	4/3
Определение проектной гибкости ПТС	АС расчета надежности сложных систем	Автоматизированный расчет показателей сложных систем, включая техническую, технологическую и организационную надежность	Не определен	2/-

1	2	3	4	5
Определение реальной гибкости ПТС	АС учета и анализа простоев оборудования	Автоматизированный контроль, учет и анализ продолжительности и причин остановок и простоев оборудования, расчет показателей его надежности	Сокращение продолжительности простоев оборудования в цехе с ов. пр-ва 60т.м-ч/год: по технич. прич.-50%, по технол. прич.-20%, по орг. прич.-40%. (Протокол ГМ)	3/-
Расчет экономических результатов работы и простоев ПТС	АС учета выработки и производственных потерь персонала	Автоматизированный учет выработки и экономических потерь персонала и оборудования от простоев, опред. статистически средних причин от работы и учетов от простоев	Увеличение производительности труда на 15%. (Протокол ГМ)	2/-
Определение технологических возможностей оборудования	АС отработки изделий на технологичность	Классификация технологических возможностей в расчет показателей уровня автоматизации, экономич. показателей оборудования, проверка возможности изготовления на нем изделий	Сокращение сроков выполнения заказов на 5%. (Протокол пр.-сдат. испытаний)	2/4
Типизация и унификация изделий, группирование изделий для организации групповой технологии	АС унификация изделий	Автоматизированное формирование описаний образов унифицированных изделий	Не определен	1/3
	АС формирования и коррекция сменным заданиям	Автоматизированное формирование групп КТ подобных изделий, для групповой технологии их произв.	Сокращение потерь времени на наладку с 22 до 12%. (Протокол ГМ)	2/-
Моделирование структур ПТС	АС расчетно-аналитического моделирования	Автоматизированное аналитическое моделирование ПТС посредством 2-мерных матриц и метода стохастических сетей	Не определен	1/-
	АС имитационного моделирования	Автоматизированное имитационное моделирование ПТС на базе языка GPSS	Не определен	1/-
Формирование, усовершенствование и развитие классификаторов	Оболочка АСКТК и АСКТА	Автоматизированная экспертная система выявления существ. признаков объектов и явлений, формирования новых и совершенств. существующих классификаторов	Сокращение сроков создания новых классификаторов в 10 раз, коррекция - в 20 раз. (Протокол пр.-сдат. испытаний)	-/2

2. Реализация концептуальных проектов

Оперативно-диспетчерское управление проектированием и производством	Комплекс АС: форм. и корр. смен. задан., планар., след. за выполн. заказов в учета незаверш. пр-ва	Комплекс сопряженных АС оперативного планирования, регулирования, контроля, учета и анализа за проектир. и произв. на орг.-технолог. уровне в квазиреальном масштабе времени	Сокращение сроков выполнения конструктор. заказов в 1,8 раз при объеме проект. 30т.м.А4/г; производств. заказов в 2 раза при объеме произв. 60т.м-ч/г. (Протокол ГМ)	5/1
Интеграция подсистем в задачи	Демонстрационный комплекс КАПРИ	Комплекс сопряженных АС конструирования деталей типа тел вращения, управл. программ для их изготовления на токарн. станках с ЧПУ и групп. упр. станками	Ускорение проектирования и изготовления 5 групп деталей в 4,5 раза. (Протокол ВМ)	1/-

1	2	3	4	5
	АРМ классификация, унификация в отработке на технологичность	Комплекс АСКТА, АС группировки КА, унификация в отработке на технологичность деталей	Увеличение производительности труда при конструировании дет. в среднем в 2 раза, сокращение сроков выполнения конструктор. заказов на 10%, повышение ур. заимствования в 8 раз, эконом. дисковой памяти ПЗВМ на 30%. (Протокол пр.-сдат. испытаний)	-/3
Интеграция подсистем и задач в обеспечение рационального соотношения гибкости и уровня автоматизации	ИИС КАПРИ	Компьютеризированное интегрированное производство, охват. конструкторский отд. с объемом произв. 30 т. в. А4/г в опытное производство объемом св. 100 т. в. ч/г, содержащее САПР-К, САПР-Т, АСОЗУ, АСОДУ, АСУТП и ГПС	Сокращение сроков создания экспериментальных стендов в 1,7 раза. (Протокол ГИ)	4/1
	Гибкий модуль механообработки	ГПС в составе: 8-ми токарных станков с микропроц. сист. ЧПУ и приставочн. роботами, склада кассет с заготовк. и готов. деталями, транспорт. роботизир. система, АСУ комплексом	Выработка одного рабочего 5 т. в. ч/г, одного станка - 4 т. в. ч/г, Ксм=2,2 при объеме производства 32 т. в. ч/г. (Протокол ГИ)	1/-
	Комплекс вариантного проектирования	Комплекс САПР-К, САПР-Т, АСКТА, АС группирования КА и ТА, отработки на технологичность и унификации изделий	Повышение производительности труда при проектировании в 2-4 раза, повышение уровня заимствования в 6 раз. (Протокол пр.-сдат. испытаний)	-/2

ТЭЭ - технико-экономический эффект

ГИ - государственные испытания

МВИ - межведомственные испытания

ВИ - ведомственные испытания

В ИМС КАПРИ перечисленные в таблице функции реализованы на мини-ЭВМ СМ-4 и СМ-1420 в операционной среде RSX-11M. Для КИП на укееиких изделий в настоящее время функции реализованы на ПЭВМ класса PC AT/286 (386) в ЛВС с двухуровневой операционной средой MS-DOS и NetWare (ClariNet) [37, 40, 41, 42, 50, 51, 52, 53]. Кроме того, для реализации метода концептуального проектирования гибкой автоматизации могут быть использованы тиражируемые базовые пакеты прикладных программ: расчета надежности сложных систем, имитационного моделирования и ряд других, поставляемых для работы на ПЭВМ PC AT/286 (386).

Перечисленные в таблице автоматизированные системы используются на всех стадиях проектирования и при эксплуатации ПТС.

Типичный экспериментальный стенд, создаваемый в РНЦ КИ, содержит сборочные единицы 2000 наименований. Для его изготовления используют 18,5 тыс. фА4 конструкторских и 18,0 тыс. фА4 технологических документов, трудоемкость разработки которых 14,0 тыс. чел.-дн. Трудоемкость изготовления стенда составляет 71,0 тыс. н-ч. Применение изложенных концептуальных решений и реализующих их систем автоматизации дает возможность сократить сроки создания такого стенда с 7 до 4 лет, что существенно ускоряет проводимые экспериментальные исследования в области атомной энергетики [24, 37].

При участии автора разработан комплекс нормативно-методических документов (НМД) по созданию и внедрению КИП, реализующих концепцию гибкой автоматизации машиностроения, в том числе ряд НМД под его научным руководством [44, 45, 46, 47].

Документация на основные автоматизированные функции системы КАПРИ, реализующие операции концептуального проектирования, переданы 18 организациям и предприятиям. Эти технические решения внедрены, помимо Российского научного центра «Курчатовский институт», на 12 предприятиях и в организациях. Автоматизированные системы классификации изделий, конструкторских и технологических документов переданы свыше 40 организаций и предприятий. Проводится государственная стандартизация новых классификаторов.

2.8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Экспериментальное машиностроение как объект совершенствования посредством гибкой автоматизации предъявляет наиболее высокие требования к его гибкости и имеет экономические особенности, выражающиеся в том, что его эффективность зависит, в основном, от продолжительности выполнения заказов.

2. Предложен, обоснован и реализован на практике метод концептуального проектирования процессов совершенствования ПТС экспериментального машиностроения посредством гибкой автоматизации, отличающийся от известных тем, что он: учитывает специфику экспериментального машиностроения; использует интегральные количественные выражения показателей гибкости и уровня автоматизации; учитывает объективную необходимость поддержания рационального соотношения показателей гибкости и уровня автоматизации по условию максимальной эффективности ПТС; использует количественные описания характеристик объектов и процессов проектирования и производства, полученные посредством их классификации.

Применение метода обеспечивает эффективность совершенствования ПТС в виде существенного сокращения продолжительности выполнения заказов на проектирование и производство.

3. Ключевым критерием совершенства ПТС экспериментального машиностроения по этому методу является гибкость. Теоретически и практически доказана возможность выражения показателя гибкости ПТС через функционально взаимосвязанные интегральные показатели ее технической, технологической и организационной надежности. Это представление показателя гибкости используется в конкретных диапазонах допустимых изменений условий функционирования ПТС.

Разработаны в деталях методы определения показателя гибкости действующих и проектируемых ПТС, а также управления гибкостью.

4. Установлено, что требования к гибкости ПТС определяются, в значительной мере, распределением относительной трудоемкости проектирования и/или изготовления групп изделий, подобных по конструктивным и технологическим признакам. Это подобие может быть установлено посредством конструкторско-технологической классификации изделий и классификации проектных и производственных технологических процессов, а также применения функционально ориентированных моделей количественной оценки степени подобия.

Разработаны методы и системы автоматизированной классификации изделий и процессов проектирования и производства, обеспечивающие группирование изделий и процессов по различным признакам в зависимости от моделей информационно-управленческих процессов, использующих результаты классификации.

Для формирования новых классификаторов и совершенствования существующих разработана специализированная экспертная система.

5. Исследованы основные направления достижения рационального

(по эффективности) соотношения между высокими показателями гибкости и уровня автоматизации ПТС экспериментального машиностроения: вариантное проектирование изделий и технологических процессов, унификация изделий, организация группового производства и интеграция видов обеспечения ПТС. Разработаны автоматизированные системы, реализующие указанные методы обеспечения рационального соотношения на основе классификации изделий и процессов их создания.

6. Для решения вышеперечисленных проблем усовершенствованы показатели уровня автоматизации и степени интеграции. Уравнение расчета уровня автоматизации дополнено показателями учета степени достижения целей автоматизации. Для количественной оценки степени интеграции видов обеспечения ПТС предложен показатель, учитывающий уменьшение избыточности средств без уменьшения гибкости системы.

7. Разработан метод исследования ПТС как объекта совершенствования на основе гибкой автоматизации, обеспечивающий непрерывный анализ постоянно изменяющихся характеристик системы, определение вероятностных стандартов этих характеристик и представление результатов анализа в терминах предложенного метода проектирования.

8. Метод концептуального проектирования гибкой автоматизации ПТС экспериментального машиностроения и реализующие его автоматизированные системы применены при создании и внедрении в Российском научном центре «Курчатовский институт» ИМС КАПРИ и разработке в нем КИП наукоемких изделий. В результате обеспечено ускорение темпов создания экспериментальных установок и стендов и ряда наукоемких изделий примерно в 1,7 раз.

Материалы, обобщающие опыт разработки и внедрения упомянутого метода и реализующих его автоматизированных систем, и сами системы широко распространены в организациях и предприятиях различных подотраслей машиностроения, имеющих большое народнохозяйственное значение. Системы используются на всех стадиях совершенствования ПТС.

9. Нормативно-методические материалы, разработанные на основе научных положений данной работы, тиражированы и распространены в организациях и предприятиях различных подотраслей машиностроения.

Автор считает для себя приятным долгом выразить глубокую благодарность научному консультанту и соавтору многих совместных работ проф., д. т. н. Адамову Е. О. и проф., д. т. н. Горневу В. Ф. за ценные указания при подготовке данной рукописи.

2. 9. ЛИТЕРАТУРА

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах автора:

1. Дукарский С.М., Каганов В.Ю., Трейстер Ю.Я. Выбор наиболее представительной информации, характеризующей доменный процесс// Известия вузов. Черная металлургия, 1967, N 9. - С.12-16.
2. Дукарский С.М., Каганов В.Ю., Трейстер Ю.Я. Информационные характеристики средств контроля технологического процесса// Известия вузов. Черная металлургия, 1968, N 3. - С.33-36.
3. Дукарский С.М., Трейстер Ю.Я., Каганов В.Ю. Методика оптимального подбора средств контроля параметров сложных процессов// Сб. «Автоматизация черной металлургии», ч.3. - М.: ЦНИИ «Черметинформация», 1968. - С.92-98.
4. Дукарский С.М. Методы определения объективных технических требований к средствам термометрии в доменном процессе// Приборы и системы управления, 1973, N 5. - С.21-23.
5. Дукарский С.М., Краверский С.И. Методика оценки уровня автоматизации и определения рационального объема автоматизации// «Проблемы статистического измерения и прогнозирования научно-технического прогресса»/ Материалы Всесоюзной технической конференции. - М.: МЭСИ, 1974. - С.76-78.
6. Дукарский С.М., Звагельский М.Е., Рылов И.А. Методические аспекты оценки состояния развития и экономической эффективности автоматизации технологических процессов и управления производством в черной металлургии/ Доклад II/22 на 5-й Международной конференции стран-членов СЭВ и СФРЮ по автоматизации производственных процессов в черной металлургии. Берлин. - Берлин: МГРМКП, 1974. - 8 с.
7. Дукарский С.М. Термометрия продуктов доменной плавки. - М.: Металлургия, 1976. - 214 с.
8. Дукарский С.М., Адамов Е.О., Гнеденко В.Г. и др. Техническое предложение по «Комплексной автоматизации проектирования, разработки и изготовления изделий в опытных производствах НИИ и КБ» (Система «КАПРИ»). - М.: ИАЭ; ИПМ, 1982. - 197 с.
9. Дукарский С.М., Луговской В.М., Дрознин А.Э. и др. Минисистемы для прокатных цехов// Металлургическая и горнорудная промышленность, 1982, N 1. - С.43-44.
10. Дукарский С.М., Сафрис В.Л., Тамман Г.А. Программное обеспечение диалога «человек-ЭВМ» для ЭВМ ЕС-1033// Приборы и системы управления, 1983, N 3. - С.12-14.
11. Дукарский С.М., Адамов Е.О., Гнеденко В.Г. и др. Проблемы интеграции систем автоматизации проектирования, гибкоперестраиваемой автоматизированной технологии и АСУ в опытным машиностроительном производстве// Тезисы докладов на IX Всесоюзном совещании «Проблемы управления-83». Ереван. - Ереван: ИПУ, 1983. - С.251-252.
12. Дукарский С.М., Адамов Е.О., Гнеденко В.Г. и др. Система комплексной автоматизации конструирования, проектирования технологии и изготовления изделий в НИИ и КБ// Станки и инструмент, 1983, N 12. - С.22-24.
13. Дукарский С.М., Адамов Е.О., Гнеденко В.Г. и др. Организационно-технологическое управление опытным производством в системе КАПРИ// Материалы семинара «Математическое, информационное и программное обеспечение систем управления промышленных роботов и гибких автоматизированных систем». Москва. - М.: МДНТП, 1984. - С.19-21.
14. Дукарский С.М., Адамов Е.О., Гнеденко В.Г. и др. Система комплексной автоматизации проектирования, разработки и изготовления изделий в опытных производствах НИИ и КБ (система КАПРИ)// Там же. - С.14-18.

15. Dukarskii S.M., Adamov E.O. The complex system of computer-aided design and manufacturing of products at small-batch machinery production (The KAPRI system)// Preprints of International Conference on The Development of Flexible Automation Systems. London, U.K. August 1984.- London: IEE, 1984.- 8 p.
16. Дукарский С.М., Адамов Е.О., Гнеденко В.Г. и др. Интегрированная система автоматизированного проектирования и производства изделий опытным машиностроительным производством// Вестник машиностроения, 1985, N 1.- С. 40-44.
17. Дукарский С.М., Адамов Е.О. Основные принципы построения гибкого автоматизированного машиностроительного производства/ Препринт N 4111/16.- М.: ИАЗ, 1985.- 22 с.
18. Дукарский С.М., Адамов Е.О. Система комплексной автоматизации проектирования, разработки и изготовления изделий в мелкосерийном машиностроительном производстве// Проблемы машиностроения и автоматизации. Вып. 5.- М.; Будапешт: Межд. центр научн.-техн. инф.; ИМаш им. А.А.Благонравова АН СССР; Информ. центр пром.; Информэлектро, 1985.- С. 45-53.
19. Дукарский С.М., Адамов Е.О., Корягин Д.А. Интегрированная машиностроительная система КАПРИ// Микропроцессорные средства и системы, 1985, N 4.- С. 53-56.
20. Dukarskii S.M., Adamov E.O., Gnedenko V.G. etc. Integrated system development problems at machinery pilot production// Preprints of the V IFAC/IFIP/IMACS/IFORS Symposium on Information Control problems in Manufacturing technology, Robotics and Flexible Manufacturing Systems. Suzdal, USSR. April 1986.- Moscow: IFAC, 1986.- P.132-138.
21. Дукарский С.М., Адамов Е.О. Принципы построения гибких автоматизированных систем проектирования и производства экспериментальных изделий// Тезисы докладов X Всесоюзного совещания «Проблемы управления» - 86». Алма-Ата; М.: ИПУ, 1986. С. II-196-198.
22. Dukarskii S.M., Adamov E.O. Strategy of flexible manufacturing system construction// Proceedings of Japan-USA Symposium on Flexible Automation. Osaka, Japan. 14-18 July 1986.- Osaka: ОСВ, 1986.- P.471-474.
23. Дукарский С.М., Адамов Е.О. Проблемы построения гибких автоматизированных производственных систем// Тезисы докладов Всесоюзной конференции «Проблемы создания и внедрения гибких производственных систем». Одесса.- М.: ВСНТО, 1986.- С. 30-31.
24. Дукарский С.М., Адамов Е.О., Гнеденко В.Г. и др. Система комплексной автоматизации проектирования, разработки и изготовления изделий в опытных производствах НИИ и КБ (система КАПРИ): Эскизный проект.- М.: ИАЗ; ИПМ, 1987.- 409 с.
25. Дукарский С.М., Адамов Е.О. Принципы построения интегрированных машиностроительных систем экспериментального производства// Вестник машиностроения, 1987, N 8.- С. 31-37.
26. Dukarskii S.M., Adamov E.O. Strategy of CAD/CAM system construction for pilot production// Preprints of the IFAC 10-th World Congress on Automation Control. IFAC'87. Munich, FRG.- Oxford: Pergamon Press, 1987.- P.165-171.
27. Dukarskii S.M., Adamov E.O. Organizational-technological control of flexible automated pilot machinery production// «Modern Production Management System». Proceedings of the IFIP Conference «APMS'87». Winnipeg, Canada.- Amsterdam; New York; Oxford; Tokyo: North Holland, 1987.- P.471-478.
28. Дукарский С.М., Кривомазов Д.В., Гнеденко В.Г. и др. Система нормативно-методического обеспечения создания, функционирования и развития КАПРИ// Сб. «Гибкие производственные системы. Проблемы стандартизации».- М.: Издательство стандартов, 1987.- С. 139-

29. Дукарский С.М., Адамов Е.О. Об одной концепции построения интегрированной машиностроительной системы в НИИ// Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции «Проблемы создания гибких производственных систем в машиностроении». Каунас. 1-2 окт. 1987. - Каунас: Вильнюс: ЛитНИИТИ, 1987. - С.3-5.

30. Дукарский С.М., Иноземцев В.Ф., Шляпников В.И. и др. Автоматизированная регистрация простоев оборудования// Механизация и автоматизация производства, 1988, N 8. - С.22-23.

31. Dukarskii S.M., Adamov E.O. A principle of construction of an integrated machine manufacturing system// Annals of Operation Research, 1989, N 17. - P.3-12.

32. Дукарский С.М., Адамов Е.О. Проблемы построения интегрированных машиностроительных систем// Станки и инструмент, 1989, N 12. - С.2-5.

33. Дукарский С.М., Адамов Е.О., Гаврикова Н.А. и др. Опыт использования Классификатора ЕСКД и ТКД// Стандарты и качество, 1989, N 3. - С.44-47.

34. Дукарский С.М., Адамов Е.О. Гибкая автоматизация экспериментального машиностроения// Тезисы докладов Всесоюзного совещания «Проблемы управления-89». Ташкент. - М.: ИПУ, 1989. - С.112-113.

35. Дукарский С.М., Шмонин А.П. Гибкая автоматизация экспериментального машиностроения// Тезисы докладов Всесоюзной научно-практической конференции «Проблемы создания и внедрения гибких производственных и робототехнических комплексов на предприятиях машиностроения». Одесса. - М.: ВНИИТЭМР, 1989. - С.15-16.

36. Dukarskii S.M., Adamov E.O., Ivanov V.G., Korjagin D.A. Flexible automation of pilot machinery production// Proceedings of Japan-USA Symposium on Flexible Automation. Kyoto, Japan. August 1990. - Kyoto: APSM, 1990. - P.512-516.

37. Дукарский С.М., Адамов Е.О. Концепция гибкой автоматизации экспериментального машиностроения. - М.: Ядерное общество СССР, 1990. - 389 с.

38. Дукарский С.М. Классификация конструкторской и технологической информации в автоматизированном машиностроительном производстве: Учебно-методические материалы. - обнинск: ЦИПК МАЭП, 1990. - 80 с.

39. Дукарский С.М., Мендриков Б.С., Таллер С.Л. и др. Технологическая классификация сборочных единиц общемашиностроительного применения на базе Классификатора ЕСКД: Рекомендации Р 54-306-90. - М.: ВНИИНМАШ, 1990. - 54 с.

40. Дукарский С.М., Иноземцев В.Ф., Шмонин А.П., Шляпников В.И. Автоматизированная система конструкторско-технологической классификации продукции машиностроения и приборостроения// Науч.-техн. реферат. сб. «Классификаторы и документы». Вып. 1. - М.: ВНИИКИ, 1991. - С.11-20.

41. Дукарский С.М., Иноземцев В.Ф., Шмонин А.П., Шляпников В.И. Опыт внедрения автоматизированной системы конструкторско-технологической классификации продукции машиностроения и приборостроения// Науч.-техн. реферат. сб. «Классификаторы и документы». Вып. 3. - М.: ВНИИКИ, 1991. - С.6-18.

42. Дукарский С.М. Гибкая автоматизация экспериментального машиностроения// Вестник машиностроения, 1991, N 11. - С.57-60.

43. Дукарский С.М., Таллер С.Л., Денисенко И.Т. Автоматизированная классификация технико-экономической информации в компьютерно-интегрированном машиностроительном производстве// Стандарты и качество, 1991, N 11. - С.24-29.

44. Дукарский С.М., Бутков Ю.Г., Виленчик Я.Г. и др. Создание компьютеризированных интегрированных производств машиностроения.

Основные положения: Методический материал. - М.: Совинстандарт, 1991. - 106 с.

45. Дукарский С.М., Гнеденко В.Г., Гуленков В.Ю. и др. Номенклатура, назначение и обозначение классификаторов технико-экономической информации, используемых на предприятии: Методический материал. - М.: Совинстандарт, 1991. - 41 с.

46. Дукарский С.М., Гнеденко В.Г., Гуленков В.Ю. и др. Функциональная, информационная и организационная модель компьютеризированного интегрированного производства в машиностроении: Методический материал, ч. 1, 2. - М.: Совинстандарт, 1991. - 180 с.

47. Дукарский С.М., Гнеденко В.Г., Гуленков В.Ю. и др. Модели и методы обеспечения гибкости в компьютеризированном интегрированном производстве машиностроения: Методический материал. - М.: Совинстандарт, 1991. - 92 с.

48. Дукарский С.М. Классификация технико-экономической информации в комплексно автоматизированном машиностроительном производстве// Науч.-техн. реферат. сб. «Классификаторы и документы». Вып. 11, 12. - М.: ВНИИКИ, 1991. - С.35-39.

49. Дукарский С.М., Бутков Г.Ю., Виленчик Я.Г. и др. Предпроектное обследование объектов автоматизации и оценка целесообразности создания компьютеризированного интегрированного производства: Методический материал. - М.: Совинстандарт, 1991. - 57 с.

50. Dukarskii S.M., Gnedenko V.G. Application of design-and-technological product classification in computer-integrated manufacture// Proc. of the Institution of Mechanical Engineers. Part B: Journal of Engineering Manufacture, 1993, v.207. - P.15-20.

51. Дукарский С.М., Рубин Г.Я. Автоматизированная система классификации технологической документации (АСКТД). Проектные решения// Науч.-техн. реферат. сб. «Классификаторы и документы». Вып. 3. - М.: ВНИИКИ, 1993. - С.1-9.

52. Дукарский С.М., Рубин Г.Я. Автоматизированная система классификации технологической документации (АСКТД). Программная реализация// Там же. - С.9-16.

53. Дукарский С.М., Рубин Г.Я. Программное средство разработки автоматизированных иерархических классификаторов// Науч.-техн. реферат. сб. «Классификаторы и документы». Вып. 4. - М.: ВНИИКИ, 1993. - С.31-35.

Другие работы, на которые в докладе даны ссылки:

54. Албул О.Н., Васизов Ю.П., Конюх А.И. Металлорежущее оборудование для автоматизации машиностроительного производства. По материалам пятой всемирной выставки металлообрабатываемого оборудования (5.ЕМО), сост. в 1983 г. в Париже: Обзор / Сер.С-1: «Станкостроение». - М.: НИИмаш, 1984. - 26 с.

55. Белянин П.Н. Ключ к эффективности - гибкость и автоматизация// Наука и жизнь, 1983, № 8. - С.2-11.

56. Васильев В.Н. Организация, управление и экономика гибкого интегрированного производства в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1986. - 418 с.

57. Гибкое автоматизированное производство/ Азбель В.О., Егоров В.А., Звоницкий А.Ю. и др. /Под общ. ред. Майорова С.А., Орловского Г.В., Халкиопова С.Н. - Л.: Машиностроение. Л. О., 1985. - 454 с.

58. Глотов В.А., Лесняк Н.Л. Автоматизация нормирования труда в опытном производстве// Механизация и автоматизация производства, 1988, № 8. - С.21-22.

59. Голосовский С.И. Экономическая эффективность исследований и разработок. - М.: Московский рабочий, 1973. - 167 с.

60. Голосовский С.И., Гринчель Б.М. Измерение влияния научно-технического прогресса на эффективность общественного производства. - М.: Наука, 1981. - 181 с.

61. Горанский Г.К., Бендерова Э.И. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. - М.: Машиностроение, 1981. - 456 с.

62. Горюшкин В.И., Кузнецов А.П., Шур О.М. Методы определения рациональных структур ГПС для обработки деталей машиностроения. - «Технолог. оборуд., орг. и эконом. машиностр. пр-ва.» Сер. 1: «Автоматизация пр-ва, гибкие произв. системы и робототехника»/ Обзор информ. Вып. 10. - М.: ВНИИТЭМР, 1988. - 60 с.

63. Грувер М., Зиммерс Э. САПР и автоматизация производства. - М.: Мир, 1987. - 528 с.

64. Давыдов В.М., Сорокин В.И. Автоматизация предпроектных исследований производства при создании ГПС// «Повышение надежности функционирования гибких произв. систем конструктивными и технолог. методами». - Сб. науч. тр. Хабар. политехн. института/ Под ред. Давыдова В.М. - М.; Хабаровск: Изд. ХПИ, 1990. - С. 8-13.

65. Киселев Г.А., Гуленков В.Ю. Гибкие производственные системы в машиностроении. - М.: Издательство стандартов, 1987. - 288 с.

66. Классификатор ЕСКД. Введение. - М.: Издательство стандартов, 1986. - 16 с.

67. Классификатор технологических операций машиностроения и приборостроения: 1 85 151. - М.: Издательство стандартов, 1987. - 72 с.

68. Классификатор технологических переходов машиностроения и приборостроения: 1 89 187. - М.: Издательство стандартов, 1991. - 119 с.

69. Конарева Л.А. Классификация и кодирование технико-экономической информации. - М.: Издательство стандартов, 1972. - 176 с.

70. Крахунин Г.А. Эффективность комплексной автоматизации производства в машиностроении. - Л.: Машиностроение. Л.О., 1974. - 248 с.

71. Львов Ю.А., Сатановский Р.Л. Интенсификация машиностроительного производства: организация и планирование. - Л.: Машиностроение. Л.О., 1984. - 182 с.

72. Методика укрупненного определения уровня механизации и автоматизации производственных процессов в машиностроении. - М.: ЦБТИ, 1963. - 194 с.

73. Опитц Г. Современная техника производства (состояние и тенденции). - М.: Машиностроение, 1975. - 280 с.

74. Сатановский Р.Л., Элент М.С. Проектирование и организация ГАП и ГПС// Машиностроитель, 1984, N 4. - С. 15-16.

75. Сатановский Р.Л. Организационное обеспечение гибкости машиностроительных производств. - Л.: Машиностроение. Л.О., 1987. - 96 с.

76. Свебо П.И. Комплексная механизация и автоматизация сварочного производства. - Киев: Техніка, 1974. - 416 с.

77. Словарь русского языка, т. 1. - М.: Русский язык, 1981. - 698 с.

78. Смирницкий Е.Л. Экономические показатели промышленности. - М.: Экономика, 1980. - 432 с.

79. Справочник нормировщика/ Ахунов В.А., Генкин Б.М., Иванов Н.Ю. и др. / Под общ. ред. Ахунова В.А. - Л.: Машиностроение. Л.О., 1986. - 458 с.

80. Сукиасян А.Г. Организационно-экономические показатели внедрения гибких производственных систем на предприятиях машиностроения// Механизация и автоматизация производства, 1988, N 10. - С. 31-33.

81. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения: 1 85 142. - М.: Издательство стандартов, 1987. - 255 с.
82. Трапезников В.А. Управление и научно-технический прогресс/ АН СССР. Сер. «Наука и технический прогресс». - М.: Наука, 1983. - 234 с.
83. Тыхов Ю.И. Нужны четкие организационно-экономические концепции ГАП// Экономика и организация промышленного производства, 1985, N 3. - С.58-64.
84. Хауштайн Х.-Д. Гибкая автоматизация. - М.: Прогресс, 1990. - 200 с.
85. Brown J., Dubois D., Rathmill K. et al. Classification of flexible manufacturing systems// The FMS Magazine, 1984, v.2, N 2. - P.114-117.
86. Buzacott J.A. The fundamental principles of flexibility in manufacturing systems// Proc. of the 1st Intern. Conf. of Flexible Manufacturing Systems. Brighton, UK. 20-22 Oct. 1982.- Oxford: JFM (Conf.) Ltd. and Authors, 1982. - P.620-626.
87. Chitta A.K., Shankar K., Jain Vijay K. A decision support system for process planning// Computer Industry, 1990, v.14, N 4. - P.307-318.
88. Davies C.C. CIM-efficiency improved by classification and coding// Int. Conf. Fact. 2000: Integr. Inf. and Mater. Flow. Cambridge. 31 Aug.-2 Sept. 1988.- London: P.P., 1988. - P.317-323.
89. Gervin D. Do's and Dont's of computerized manufacturing// Harvard Business Review, 1982, v.60, N 2. - P.107-116.
90. Hausknecht M. Basistypen flexibler automation// VDI-Z., 1988, b.130, N 12. - s.30-35.
91. Henderson M.R., Musti S. Automated group technology part coding from a three-dimensional CAD database// Transactions ASME: Journal of Engineering for Industry, 1988, v.110, N 3. - P.276-287.
92. Hyer N.L., Wemmerlöv U. Group technology in the US manufacturing industry: a survey of current practices// International Journal of Production Research, 1989, v.27, N 8. - P.1287-1304.
93. Lu Stepheu C.J., Ham L. Machine barming techniques for group technology applications// CIRP Annals, 1989, v.38, N 1. - P.455-459.
94. Petroff J.N. A practical part numbering system// Proc. of the Intern. Conf. AUTOFACT'87. Detroit, Mich., USA. 9-12 Nov. 1987.- Dearborn: IEE, 1988. - P.14-19.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
1. Общая характеристика диссертации	1
1.1. Актуальность темы	1
1.2. Цель исследования	1
1.3. Объект и предмет исследования и разработки	2
1.4. Степень разработанности пробле- мы	2
1.5. Научная новизна результатов и положения, выносимые на защиту	3
1.6. Реализация и научно-практическая значимость исследований	5
1.7. Апробация результатов исследо- ваний	5
2. Основное содержание диссертации	6
2.1. Эффективность экспериментально- го машиностроения	6
2.2. Гибкость производственно-техни- ческих систем	9
2.3. Уровень автоматизации произво- дственно-технических систем	12
2.4. Рациональное соотношение гибко- сти и уровня автоматизации производствен- но-технической системы экспериментального машиностроения	14
2.5. Классификация изделий и процес- сов машиностроения	21
2.6. Организационно - технологические меры обеспечения рационального соотноше- ния гибкости и уровня автоматизации	23
2.7. Практическая реализация метода концептуального проектирования гибкой ав- томатизации экспериментального машиностро- ения	26
2.8. Заключение	30
2.9. Литература	33

Технический редактор С.К. Сведлова

Подписано в печать 20.01.94. Формат 60×84/16

Уч.-изд. л. 2,5. Тираж 109. Заказ 8

Отпечатано в РНЦ «Курчатовский институт»
123182, Москва, пл. Академика Курчатова