

Er. 6.7
653

ISSN 0136-3549
0320-3344

TALLINNA
POLÜTEHNILISE INSTITUUDI
TOIMETISED

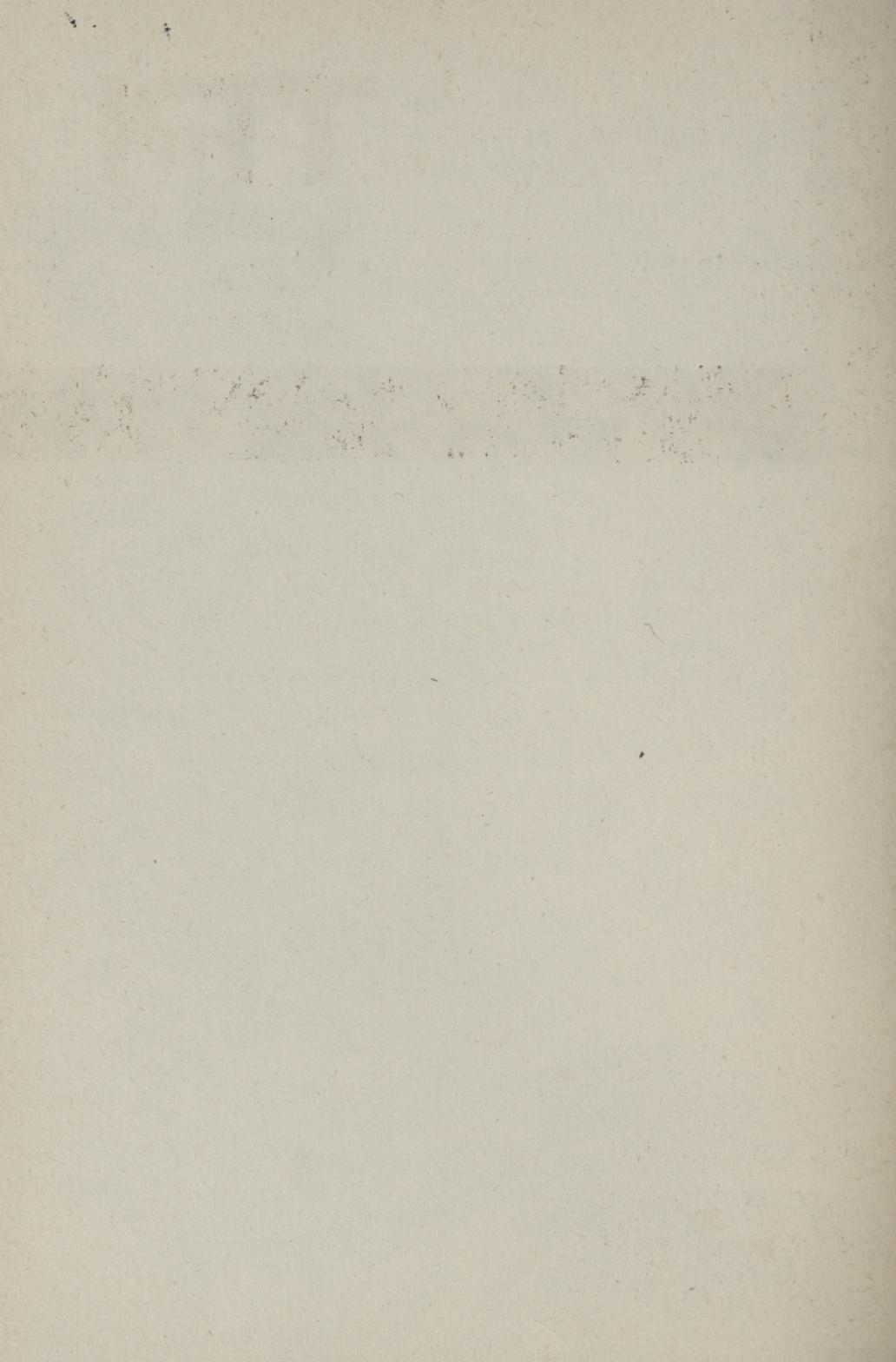
653

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА

ТРИ
'87

АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ПРОЦЕССОВ
МЕХАНИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ





Ep.6.7

653

**ТРИ
'87**

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 681.3+658.512.621.9

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ПРОЦЕССОВ
МЕХАНИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ**

Машиностроение ХХУ

Таллин 1987



ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Труды ТПИ № 653

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
Машиностроение ХХУ

На русском языке

Редактор Г. Гроссшмидт

Техн. редактор М. Тамме

Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ 02.12.87

Подписано к печати 03.02.88

МВ-01631.

Формат 60x90/16

Печ. л. 5,0 + 0,25 приложение

Уч.-изд. л. 4,2

Тираж 300

Зак. № 97

Цена 80 коп.

Таллинский политехнический институт,

200108, Таллин, Эхитаяте тее, 5

Ротапринт ТПИ, 200006, Таллин, ул. Коскла, 2/9

© Таллинский политехнический институт, 1987

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИЯ
СОЗДАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ САПР

Для широкого внедрения автоматизированного проектирования необходимо значительно повысить производительность труда разработчиков САПР при одновременном существенном улучшении живучести, эффективности и других качественных показателей этих систем. Постоянное изменение и расширение проектируемых объектов, методов проектирования, а также изменение ситуации на предприятиях, на которых разрабатываются САПР, выдвигает на первое место требования универсальности, гибкости, легкой модифицируемости программного и информационного обеспечения этих систем. Для удовлетворения вышеназванных требований необходимо разрабатывать технологию и инструментальные средства создания программного и информационного обеспечения (ПО и ИО) САПР, учитывающие специфику САПР данного класса и рационально поддерживающие все этапы жизненного цикла этих систем, а особенно легкую модифицируемость ПО и ИО на этапе эксплуатации.

При решении этих проблем можно выделить следующие аспекты:

- 1) построение парадигмы САПР – абстрактной модели системы, построенной на основе общепринятой в проектировании объектов данного класса понятий и методов проектирования;
- 2) разработка модели процесса построения системы вместе с поддерживающими этот процесс технологией и инструментальными средствами.

Основное внимание уделяется построению парадигмы, являющемуся методологической и организационной основой построения ПО и ИО САПР.

В парадигме должен, в первую очередь, отражаться опыт, накопленный по проектированию объектов и построения САПР данного класса. Парадигма включает в себя модель предметной области, т.е. совокупность описаний (моделей) объектов и понятий и взаимосвязей между ними, правила декомпозиции процесса проектирования на составляющие проектные операции, реализации проектных операций с применением типовых (унифицированных) проектных процедур и т.д. Состояние предметной области определено, если известны существующие в ней объекты, их свойства и отношения между объектами. Под моделью предметной области в самом общем виде понимается некоторый набор:

$$\mathcal{M} = \langle M, \{r_1, r_2, \dots, r_n\} \rangle,$$

где M - множество объектов предметной области САПР, описываемых их свойствами;

r_1, r_2, \dots - отношения на множестве M .

Как множество объектов, так и отношения отличаются для различных САПР, они задают среду, в которой определена задача проектирования. Путем объединения можно разработать единые унифицированные модели $\mathcal{M} = \langle \hat{M}, \{r_1, r_2, \dots\} \rangle$ для целого класса САПР. Первым шагом на пути построения \hat{M} необходимо выделить "родственные" модели M_1, M_2, \dots, M_m , допускающие объединение в общую модель \mathcal{M} . Для этого понадобится понятие сигнатуры [1], различая отношение r_i и название отношения R_i . При этом названию отношения сопоставляется на конкретной модели M само отношение, т.е. существует отображение $\alpha_M(R_i) = r_i$, или модель M имеет сигнатуру $\Omega = \langle R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$, если $\alpha_M(R_i) = r_i$ для всех $1 \leq i \leq n$. Выделение сигнатуры позволяет говорить об одноименных отношениях на моделях предметных областей различных САПР, оно важно и для того, чтобы описывать различные логические формулы с отношениями, входящими в модель. Если модели имеют разные сигнатуры, то они построены по-разному и просто не сравнимы. Итак, построение обобщенной модели \mathcal{M} начинается с построения сигнатуры Ω (словаря наименований отношений). Множество объектов M модели \mathcal{M} получается объединением множеств M_1, M_2, \dots, M_m , составляющих моделей, т.е.

$$M = M_1 \cup M_2 \cup \dots \cup M_m.$$

Для каждой составляющей модели M_i и обобщенной модели \mathcal{M}

должно существовать взаимно однозначное отображение φ между элементами множеств M и M_i , такое что для каждого отношения

$$R_i(x_1, x_2, \dots, x_k) \Rightarrow R_i(\varphi(x_1), \varphi(x_2), \dots, \varphi(x_k)),$$

$$R_i(y_1, y_2, \dots, y_k) \Rightarrow R_i(\varphi^{-1}(y_1), \varphi^{-1}(y_2), \dots, \varphi^{-1}(y_k)),$$

где $x \in M$, $y \in M_i$.

Модель предметной области M является лишь частью парадигмы систем автоматизированного проектирования определенного класса. Чтобы подетальнее описывать понятие парадигмы, вводим логическую конструкцию каркаса [1].

Каркасом называется кортеж $K = \langle M, \Omega_2, \mathcal{A} \rangle$, где M - обобщенная модель, $M = \langle M, \alpha \rangle$ предметной области в сигнатуре, $\Omega_1; \Omega_2$ - сигнатура причинно-следственных отношений, не имеющая общих имен с сигнатурой Ω_1 и описывающая правила вывода проектных решений; $\mathcal{A} = \langle A_1, A_2, \dots, A_l \rangle$ - аксиоматика данной прикладной теории проектирования (множество формул без сводных переменных), в которой используются имена отношений как из Ω_1 , так и из Ω_2 .

Так, например, для специализированных инструментальных средств (ИС) САПР технологических процессов [2] модель M включает в себя три подобласти (подмножества):

- 1) M_1 - подобласть геометрии (конструкторско-технологических элементов деталей);
- 2) M_2 - подобласть технологии;
- 3) M_3 - подобласть нормативно-справочной информации.

Используя Ω_1 , вводятся во все подобласти M_1, M_2, M_3 определенные отношения, при помощи которых можно ввести присущую для данной предметной области иерархию членения и понятий на классы и подклассы с различными уровнями абстракции (см. например, [2], [3]). Отношения в сигнатуре

Ω_2 описывают правила вывода решений (элементов подобласти M_2 , например, операции или переходов) для заданных конструкторско-технологических элементов подобласти M_1 в среде, описываемой подобластью M_3 .

Аксиоматика \mathcal{A} задает обобщенные правила управления процессом вывода решений, контроля их целостности и т.д.

Конструкция каркаса является промежуточной между конструкциями "формальной теории" и моделью [1]. Можно сказать, что каркас, с одной стороны, недоволощенная теория - задано базовое множество, где она будет воплощена, и часть отношений на этом множестве. С другой стороны, каркас - это модель, где часть отношений еще не зафиксирована, но заданы аксиомы, ограничивающие мыслимое многообразие реализации этих отношений. Чем ближе каркас к модели формальной теории, тем универсальнее соответствующие инструментальные средства построения САПР. В пределе такая ИС станет т.н. "универсальным решателем задач". Наоборот, чем ближе каркас к модели, тем больше функции ИС ограничены функциями "банка данных", позволяющая осуществлять лишь поиск известных фактов и существующих элементов предметной области.

Реализацией САПР в введенной символике называем модель $\langle M', \beta \rangle$ в сигнатуре $\Omega' = \Omega_1 \cup \Omega_2$, порожденную на базе каркаса, в которой $M' \subseteq M$ и существует $\Omega \rightarrow \Omega'$, а аксиоматика использована для вывода управляющей программы и определения (проверки) состава САПР.

Технология создания САПР входит в организационное обеспечение и представляется совокупностью методов и документов, устанавливающих правила и порядок выполнения работ, необходимых для достижения требуемой цели - построения САПР с заданными свойствами.

Под инструментальными средствами (инструментальной системой (ИС)) САПР будем понимать совокупность программных и информационных средств, поддерживающих заданную технологию создания и эксплуатации САПР и обеспечивающих адекватное потребностям пользователей и разработчиков САПР операционное окружение. При этом необходимо отметить, что процесс создания САПР не может быть отделен от процесса эксплуатации этой системы. Использование САПР начинается, как правило, раньше, чем завершается создание этой системы и пересекается по времени с развитием и модификацией системы. Усилия, прилагаемые в области создания систем программ, в настоящее время в основном сконцентрированы в следующие направления [4]:

1) более жесткая (основанная на той или иной парадигме) регламентация процесса построения программного и информационного обеспечения;

2) рациональная автоматизация процесса построения программ (генерация или синтез программ по модели предметной области);

3) эволюционный путь построения САПР;

4) интеграция отдельных автономных подсистем.

При этом можно вывести следующие основные концепции и требования построения ПО и ИО САПР:

- структурированное нисходящее проектирование системы по схеме "сверху-вниз";

- автоматизация процессов построения программ, путем их синтеза на основе спецификаций;

- ориентация на т.н. "объектно-ориентированный" стиль программирования при разработке программ функционального накопления;

- необходимость быстрого прототипирования системы и постоянного тестирования в ходе разработки программного и информационного обеспечения;

- поддержка процессов создания САПР с применением соответствующей экспертной системы.

Нисходящее или аналитическое проектирование программы [5], характерное для специальных систем обработки данных, которыми являются САПР. Нисходящее проектирование поддерживает соблюдение принципа эволюционного роста САПР и отказа от полной и точной спецификации программы на первоначальных этапах построения системы. Согласно этому принципу строится начальная версия программ т.н. "зародыш будущей системы", которое тестируется и по которой определяется степень соответствия к цели. После этого проводятся целенаправленные изменения системы.

Автоматизация процесса построения программ, как и поддержка этого процесса с применением экспертной системы связан с представлением и использованием всех аспектов знаний о процессе построения САПР данного класса и о предметной области.

Каркас К, введенный выше, дает расчленение всей предметной области на совокупность объектов, базисную для данного класса САПР. С объектами предметной области могут быть связаны определенные действия [2]. Согласно идеям абстрактных типов данных, как объекты, так и действия являются базисными для данного класса задач проектирования. В рамках традиционного подхода к программированию, как правило отсутствует структуризация программного обеспечения, которая прямо соответствовала бы структуре предметной области. Согласно объектно-ориентированному подходу процесс проектирования определяется как последовательность причинно-связанных взаимодействий объектов. Такой подход соответствует в большей мере традициям прикладных теорий проектирования и дает возможность в полной мере учитывать знания о парадигме САПР и его целесообразно взять за основу построения ИС.

Инструментальные средства используются разработчиками ПО САПР на этапах создания, расширения, совершенствования и изменения конкретной САПР. От наличия и эффективности этих средств в значительной мере зависят трудоемкость, оперативность и стоимость разработки по САПР, а также его надежность.

Обязательной частью ИС являются базовые средства автоматизации процесса разработки и тестирования ПО. Сюда входят такие компоненты, как средства образования моделей предметных областей, средства порождения интерфейсов между потребителями и САПР (языков проектирования, форм диалога, в том числе графического и т.д.), средства порождения интерфейсов между компонентами ПО САПР (например, между различными подсистемами (ПС, БД, БЗ), средства создания функциональных программных модулей ПС (языки и системы программирования) и средства отладки. К этим средствам могут быть добавлены средства поддержки процесса разработки и отладки ПО (например, экспертная система для управления ходом разработки и для обучения разработчиков) специальные средства обслуживания БД и БЗ САПР (в том числе БД, поддерживающей разработку).

Следующим шагом в развитии ИС является включение в них средств автоматизированного обучения конечных пользователей

(специалистов-проектировщиков), сбора статистической информации и анализа поведения ПО и пользователей и др.

Важно отметить, что ИС непосредственно связаны с некоторой единой технологией разработки ПО со строго определенными соглашениями и стандартами.

Так как в разработке объектно-ориентированных ПС должны обязательно участвовать высококвалифицированные специалисты по конкретным предметным областям, задачей которых является определение описанных моделей этих предметных областей и удобных для использования специалистами-практиками (проектировщиками) языков проектирования, то соответствующие компоненты ИС должны быть ориентированы на "непрофессиональных" пользователей вычислительной техники, а не на профессиональных программистов (в отличие от компонентов ИС, предназначенных для разработки функциональных программных модулей ПС).

Основные преимущества применения ИС следующие.

1. Появляется возможность оперативного введения с помощью ИС изменений и расширений в ПО и в языки проектирования САПР, избегая при этом модификации их частей, не подлежащих изменениям.

2. Повышается адаптируемость разработанных в различных организациях ПС и САПР.

3. Использование ИС, учитывающих особенности специалистов, не являющихся профессиональными программистами, позволяет привлекать к разработке ПО САПР инженеров-практиков и уменьшать "пропасть" между разработчиками САПР и проектировщиками.

4. Улучшается возможность планирования и управления процессом построения САПР и предсказания свойств конечного продукта.

Л и т е р а т у р а

1. Шрейдер Ю., Шаров А. Система и модели. - М.: Радио и связь, 1982. - 152 с.

2. Тамм Б., Кюттнер Р. Реализация специализированных инструментальных систем программирования для

САПР-ТП // Автоматизированное проектирование и производство в машиностроении / Под ред. Д.Н. Соломинцева и В.Г. Митрофанова. - М.: Машиностроение, 1986. - С. 230-243.

3. К ю т т н е р Р.А. Проектирование и реализация информационной среды работы САПР-ТП // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. - 1984. - № 584. - С. 15-26.

4. М а р к а в и ч ю с Р. Инструменты программирования концепции и реализация // Программирование ЭВМ. Вып. 9: Методика системного программирования / Ин-т математики и кибернетики АН Лит.ССР. - Вильнюс, 1985. - С. 9-30.

5. Т у р с к и й В. Методология программирования. - М.: Мир, 1981. - 246 с.

R. Kyttner

Software Tools and Technology for
CAD/CAM Software Development

Abstract

Some approaches to CAD/CAM software development are presented as based on the experience gained by the author. In order to solve this problem a special supporting environment must be elaborated, including high-level supporting software with the corresponding development techniques and tools to meet the requirements of a wide range of integrated CAD/CAM. Based on an analysis of the process planning procedure, a general theoretical framework of CAD/CAM software tools is suggested.

М. Вюркерт

ТРЕБОВАНИЯ К БАЗОВОМУ ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ
ИНТЕГРИРОВАННЫХ САПР

В статье рассматриваются проблемы построения программного обеспечения интегрированных САПР, охватывающих процессы конструирования изделий и технологической подготовки производства.

В связи с актуальностью и сложностью проблемы, а также ее народнохозяйственным значением издается много работ по программному обеспечению (ПО) САПР. Конкретные реализации ПО САПР, как правило, связаны с определенными функциональными ограничениями. Разработанные системы ориентированы, как правило, на узкий класс решаемых задач, на определенный класс деталей (изделий), на проблемно-ориентированные методы проектирования и т.п. В результате этого имеются и различные подходы решения проблемы построения ПО САПР.

Процесс применения САПР

САПР характеризуется сложностью проектируемых объектов и трудоемкостью их разработки. Для эффективной поддержки процесса проектирования необходимо разработать специализированные программные средства. Существующие средства операционных систем, систем управления базами данных и др., как правило, не удобны для их непосредственного применения в САПР и не обеспечивают требуемую эффективность работ.

Разработанные примерно 20 лет назад т.н. "Интегрированные системы программирования" (ISIS, REGENT и др.) предлагали разработчику САПР готовые решения отдельных проблем реализации ПО. Эти системы были, как правило, об-

щего назначения, их возможности превышали требования САПР. На основе накопленного опыта эффективного применения подобных систем целесообразно идти на один шаг дальше по специализации и разработать системы программирования для САПР.

Рассмотрим процесс применения САПР и на его основе некоторые требования к базовому ПО этих систем.

Принято, что САПР используется на конкретном предприятии, а данные, характерные для этого предприятия рассматриваются как постоянные. Данные вышестоящей организации рассматриваются при этом как базовые (ядро БД САПР), дополняемые при настройке базы данных (БД) специфическими данными конкретного предприятия (рис. 1). Базовые средства ПО САПР должны включать как средства выборочного копирования данных вышестоящей организации, так и обслуживания полученных таким образом БД.

Основную роль в реализации САПР играют итеративно вызываемые подпроцессы проектирования. Один из главных - итеративный процесс, связанный с конструированием, т.е. созданием машинной конструкторско-геометрической модели объекта. В ходе процесса проектирования создается (изменяется, дополняется) модель. Развитие модели объекта связано с ее декомпозицией на различные уровни детализации, с различными формами представления, а также параллельным развитием альтернативных вариантов будущего проекта.

Учитывая последнее, существует не одна модель объекта, а целая иерархически упорядоченная система таких моделей, объединенных в БД под понятием "модель объекта". Наличие таких моделей объекта создает предпосылки реализации творческого процесса проектирования, в котором существующие типовые решения будут дополнены новыми идеями, комбинируются стандартные и новые решения и т.д.

При этом целью обычно является не построение модели определенного объекта, а модели целого класса функционально подобных объектов, которые в дальнейшем используются либо как стандартные решения, либо как параметрические модели. Для решения этих задач применяются в основном методы искусственного интеллекта и экспертные системы, обеспечивающие большую поддержку процесса конструирования.

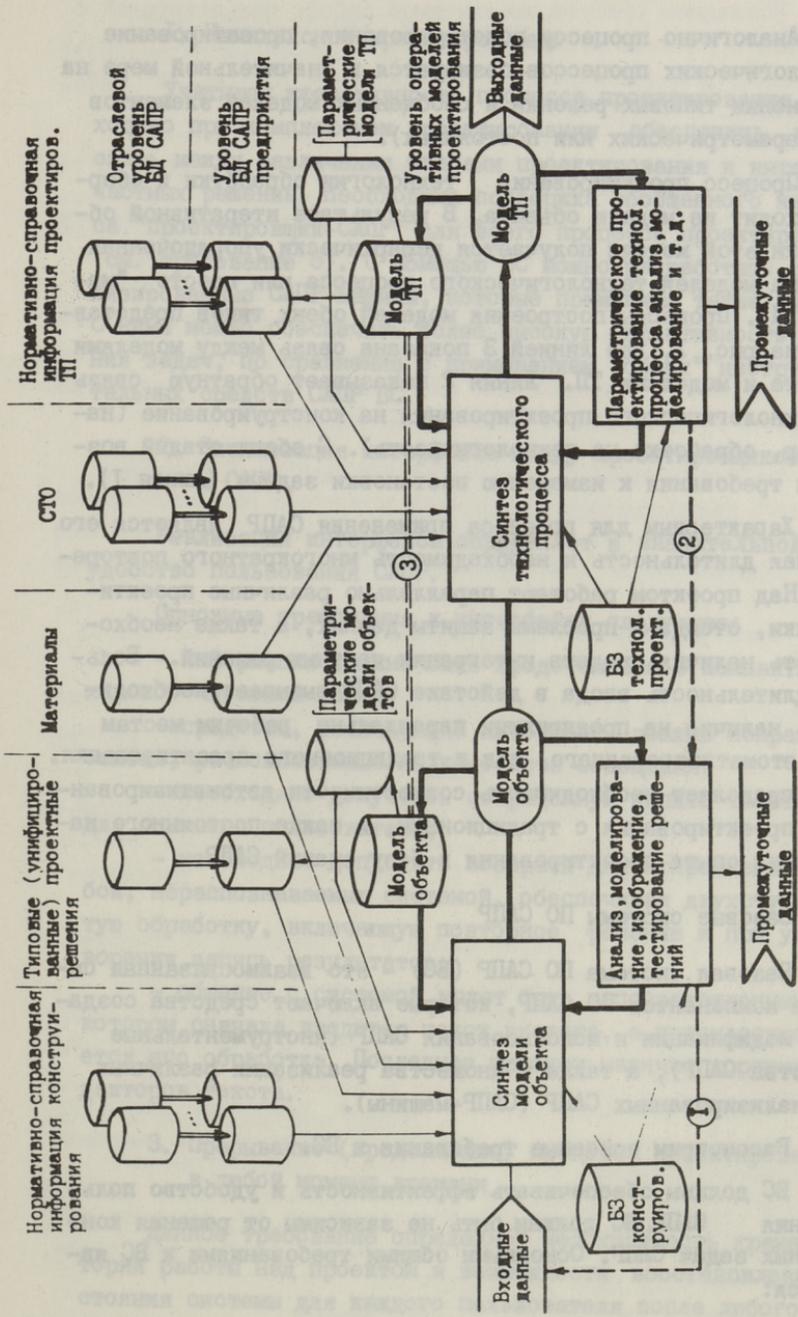


Рис. 1. Процесс применения САПР.

Аналогично процессу конструирования, проектирование технологических процессов базируется в значительной мере на применении типовых решений и обобщенных моделей элементов ТП (параметрических или постоянных).

Процесс проектирования технологии обработки и сборки исходит из модели объекта. В результате итеративной обработки этой модели получается иерархически упорядоченная система моделей технологического процесса или просто "модель ТП". Процессы построения моделей обеих типов представлены на рис. 1, где линией 3 показана связь между моделями объекта и моделями ТП. Линия 2 показывает обратную связь от технологического проектирования на конструирование (например, обработка на технологичность). С обеих стадий возможны требования к изменению постановки задачи (линия 1).

Характерным для процесса применения САПР является его большая длительность и необходимость многократного повторения. Над проектом работают параллельно различные проектировщики, отсюда и проблемы защиты данных, а также необходимость наличия средств интеграции частных решений. Большая длительность ввода в действие САПР вызывает необходимость наличия на предприятии параллельно рабочим местам как автоматизированного, так и традиционного проектирования. Это определяет необходимость совместимости автоматизированного проектирования с традиционным, а также постоянного накопления опыта проектирования в базу знаний САПР.

Базовые системы ПО САПР

Базовая система ПО САПР (БС) - это взаимосвязанная система компонентов ПО САПР, которые включают средства создания, модификации и использования САПР (инструментальные средства САПР), а также и множества реализации различных специализированных САПР (САПР-машины).

Рассмотрим основные требования к БС.

БС должны обеспечивать эффективность и удобство пользования САПР. БС должны быть не зависимы от решения конкретных задач САПР. Основными общими требованиями к БС являются:

1. Комплексное проектирование

Учитывая итеративность процесса проектирования, необходимо при комплексном проектировании обеспечить взаимосвязь между различными этапами проектирования и интеграцию частных решений. Необходима поддержка обобщенного интерфейса "проектировщик-САПР" для всего процесса проектирования (см. требование 5). С помощью БС можно разработать специализированные САПР-машины, которые применимы также вне БС. С ними можно обеспечить более высокую эффективность решения задач, по сравнению с применением "общих" инструментальных средств САПР БС.

2. Оптимизация интерфейса между проектировщиком и САПР

Реализация интерфейса определяет в значительной мере удобство пользования САПР.

Основные требования к интерфейсу следующие:

- информация должна быть представлена в компактной и хорошо читаемой форме;
- средства, реализующие интерфейс, должны исправить ошибки, распознаваемые из контекста сообщения;
- необходимо допустить сокращенную запись сообщений для опытного пользователя;
- необходимо допустить возвраты для исправления ошибок, нераспознаваемых системой, обеспечивая двухступенчатую обработку, включающую повторное решение и при удовлетворении запись результатов;
- общение с системой может быть непосредственным, при котором сначала вводится текст диалога, а потом осуществляется его обработка. Последнее требует наличия хороших редакторов текста.

3. Прерывание (продолжение) процесса проектирования в любой момент времени

Данное требование определяет необходимость хранения истории работы над проектом и возможности восстановления состояния системы для каждого пользователя после любого прерывания.

Последнее требует независимой работы пользователей с данными и наличия локальных (рабочих) БД для каждого пользователя, включая и данные, реферируемые конкретным пользователем.

4. Возможность возврата к предыдущим решениям

Это требование необходимо для организации эффективной работы с альтернативными вариантами проекта. Для реализации возврата необходимо хранение протокола работы и всех ссылок. Необходимо допускать сохранение начального состояния всех важных для конкретного пользователя данных систем. Рекомендуется и сохранение состояния системы после нескольких значительных этапов применения БС.

5. Использование системы различными пользователями для различных целей

Применительно к БС существуют 3 группы их использования:

- Е: непосредственное проектирование объектов или класса объектов;
- V: подготовка и обслуживание информационного обеспечения;
- S: подготовка, расширение и изменение БС, включая развитие специализированных САПР-машин.

По отношению к БС можно выделить четыре группы пользователей:

- NS: системные программисты (согласно цели S), реализующие БС;
- NV: пользователи, которые знают БС и способны обеспечить эффективную работу БС;
- NN: "нормальные пользователи", знающие БС в принципе, решающие практические задачи и использующие справочную информацию;
- NA: начинающие пользователи, знающие некоторые компоненты БС, нуждающиеся в справочной информации и решающие простые задачи.

К сожалению, на группу пользователей NA обращено мало внимания. Учитывая это обстоятельство необходимо определить еще одну цель реализации БС:

- L: изучение системы или ее компонентов.

Связи между целями и группами пользователей показаны на рис. 2.

Базовые системы должны обеспечить рациональное распределение ресурсов между пользователями.

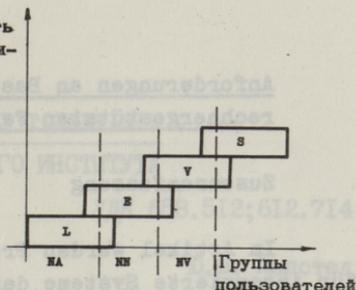


Рис. 2. Связи между целями и группами пользователей.

6. Возможность постоянного дополнения модификации БС

БС должны быть ориентированы на продолжительное использование для различных классов объектов и задач проектирования. Необходимо предусмотреть постоянное развитие системы, включающей средства дополнения и модификации БС.

7. Поддержка существующего ПО, которое не включено в БС

БС должны обеспечить возможность использования информации готовых пакетов прикладных программ (ППП) для расширения БС. При этом особую сложность представляют подключения к БС больших систем программ, таких как системы геометрического моделирования и машинной графики, СУБД и др.

8. Обеспечение адекватной проблемы и быстрой реакции системы.

Пользователь, как правило, ожидает быстрой реакции системы и соответствия времени решения сложности и повторяемости задач. Важно, что для аналогичных задач время решения было одинаковым. Последнее требует соответствующего управления и распределения работ.

Рассматриваемые особенности процесса проектирования и БС САПР должны являться основой реализации соответствующих технологий применения САПР и поддерживающих программных средств.

Anforderungen an Basissysteme der
rechnergestützten Fertigungsvorbereitung

Zusammenfassung

Im Artikel werden Probleme des Aufbaues von Software für integrierte Systeme der rechnergestützten Konstruktion und Fertigungsvorbereitung (CAD-Systeme) betrachtet.

Aus einer Untersuchung von charakteristischen Eigenschaften des Prozesses der Projektierung mit Hilfe von CAD-Systemen werden allgemeine Anforderungen an Basissysteme zur Entwicklung und Nutzung von CAD-Systemen abgeleitet. Wesentlich sind dabei die Unterbrechbarkeit des Prozesses und die Möglichkeit der Fortsetzung auch an einem zeitlich zurückliegenden Punkt der Bearbeitung einer Projektierungsaufgabe, die Anpassung der Systeme an unterschiedliche Nutzungsziele und Nutzergruppen unterschiedlicher Qualifikation, die Unterstützung von Erweiterungen und Veränderung des Systems durch systemeigene Mittel sowie die Möglichkeit der Einbeziehung vorhandener systemfremder Software und der kombinierten Anwendung der konventionellen und automatischen Projektierung.

ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА КОДИРОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ДЕТАЛЕЙ

Качество решений в автоматизированной системе любого уровня полностью зависит от достоверности исходной информации. Традиционная схема: сбор - ручное кодирование - ввод данных деталей сопровождается значительным количеством ошибок, что приводит к дополнительным затратам средств и времени. Это подтверждается опытом, накопленным на кафедре технологии машиностроения Таллинского политехнического института [2].

Поэтому напрашивается решение, при котором выявление принадлежности детали к конкретной классификационной группе, а также кодирование данных деталей возлагается на вычислительную машину.

Такая система реализована на базе ЭВМ СМ4. Блок-схема работы системы представлена на рис. 1. Система реализована по двум принципам: вопрос - ответ и меню. Основной проблемой оказался выбор системы классификации. Если взять за основу существующие системы [1], то диалог для выявления принадлежности детали к конкретной группе деталей занял бы слишком много времени и система оказалась бы нежизнеспособной. Поэтому было принято решение ориентироваться на укрупненные группы деталей. Каждая такая группа соответствует конкретной группе классов 40 и 50 общесоюзного классификатора ОКП. Но общее количество групп меньше, составляя для тел вращения - 24 и для нетел вращения - 29. При этом диалог построен таким образом, что запросы начинаются с наиболее часто встречающихся типов деталей.

Система работает в два этапа. На первом этапе фиксируются конструктивно-технологические данные детали, на

БЛОК-СХЕМА КОДИРОВАНИЯ ДАННЫХ ДЕТАЛИ

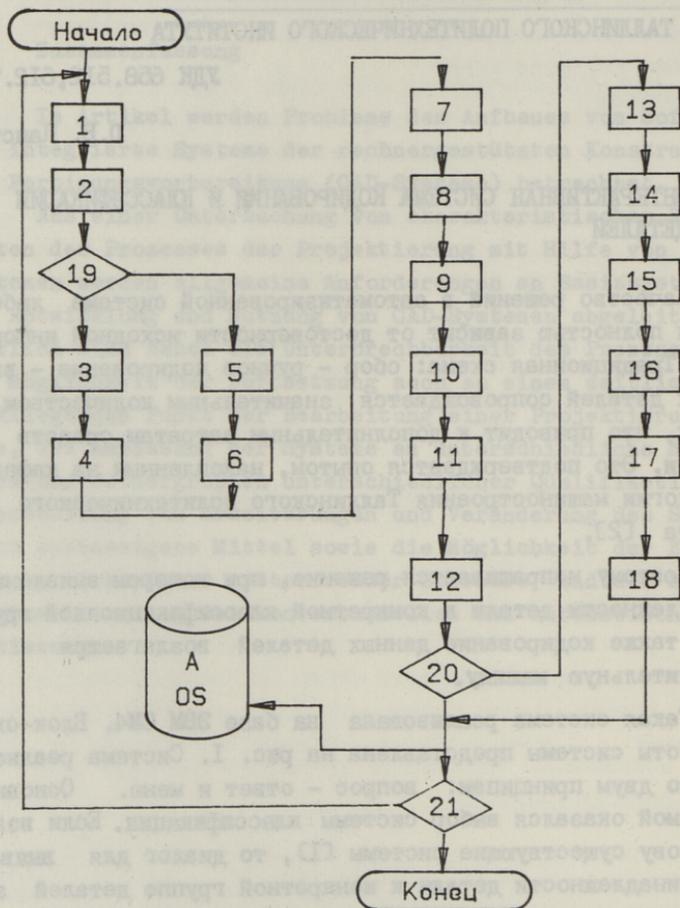


Рис. 1. 1' - ввод нр. детали; 2 - запись твердости детали; 3 - тела вращения; 4 - размеры; 5 - не тела вращения; 6 - размеры; 7 - макс. чистота пов.-ти детали; 8 - макс. точн. размеров; 9 - группа материала; 10 - вид термообработки; 11 - вид покрытия; 12 - вес детали; 13 - КО; 14 - расположение КО; 15 - чист. пов.-ти КО; 16 - точность размеров КО; 17 - размеры КО; 18 - кол. КО с одинаковыми размерами; 19 - тело вращения или не тело вращения; 20 - кодирование КО не требуется; 21 - работа не продолжается.

РАСПЕЧАТКА МАССИВА ДАННЫХ ДЕТАЛЕЙ (А)

НР.ДЕТАЛИ : КОД : КОД : ЧИСТ. : ТОЧНОСТЬ : МАТЕРИАЛ
 : ГРУППЫ:РАЗМЕРА: ПОВ. : :
 ЗТЦ-165-1000-016 401 201 320.00 СМ9 С13ПС

:ГРУППА:ТЕРМО-:ОТДЕЛКА:ТВЕРДОСТЬ: РАЗМЕРЫ ДЕТАЛИ : ВЕС:
 : МАТ. :ОБРАБ.:ПОВ.-ТИ: : Д/Н : L :ДРН/Р : :
 0 БТО БПКР 0.0 90.00 195.00 50.00 0.500

Рис. 2.

РАСПЕЧАТКА ДАННЫХ МАССИВА КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ (О)

НР.ДЕТАЛИ :КОД: Р : ЧИСТОТА :ТОЧНОСТЬ: 1. : 2. : 3. : 4. :КОЛ. КО:
 : КО: : ПОВ.-ТИ : :РАЗМЕР:РАЗМЕР:РАЗМЕР:РАЗМЕР:
 ЗТЦ-201-0401-314 27 3 RZ 20.00 C5 115.00 15.00 0.04 0.00 1
 ЗТЦ-201-0401-314 49 0 RZ 40.00 H12 90.00 10.00 0.00 0.00 1
 ЗТЦ-201-0401-314 11 0 RZ 20.00 A5 24.00 70.00 7.00 0.00 1

Рис. 3.

втором этапе - данные о конструктивных особенностях детали (КО) [3]. Ввиду того, что у каждой детали ограниченное число КО, на этом этапе целесообразно пользоваться классификатором для кодирования КО. Компактность классификатора не причиняет неудобств при работе. В дальнейшем, если становятся доступными дигитайзеры, кодирование КО очень удобно реализовать с их помощью.

В результате работы системы создаются два файла: файл конструктивно-технологических свойств деталей и файл данных КО деталей. В дальнейшем можно работать этими файлами самостоятельно, а также можно их включить в состав базы данных предприятия.

Среднее время кодирования одной детали составляет 2,5 мин. Результат кодирования выводится на экран дисплея и при обнаружении ошибок можно тут же исправить.

Содержание записей вышеназванных файлов приводится на рис. 2 и 3 соответственно.

Л и т е р а т у р а

1. Алмазов И.А., Блохин Ю.И. Общесоюзный классификатор продукции и стандартизации // Стандарты и качество. - 1972.- № 1. - С. 20-23.

2. Папстел Ю.В. К вопросу о глубине кодирования формы детали // Тр. Таллинск. колитехн. ин-та. - 1980. - № 495. - С. 37-44.

3. Папстел Ю.В. Обобщенная модель технологического процесса // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. - 1982. - № 536. - С. 81-92.

An Interactive System for Coding and
Classifying Machine Parts

Abstract

In order to minimize the errors of coding and classifying machine parts an interactive system was elaborated. The architecture of the system and the structure of database are described. By means of the described system it is possible to classify machine parts and collect information about the constructive elements (holes, threads, slots etc.) as well. The minicomputer SM4 was used for this system.

ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВАЯ СИСТЕМА КОНЕЧНОГО
ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Естественно, что информацию необходимо собрать на месте ее возникновения. Наибольший эффект дают так называемые дистрибутивные базы данных, в которых информация находится по проблемам (рис. 1).

Рабоче-справочная информация собирается конечным пользователем, например, ОГТ и хранится там же. Необходимые справочные запросы можно сделать тут же, использовав несложную, хотя и не очень быструю систему поиска. Раз в сутки целесообразно "перекачать" новую информацию в информационную базу предприятия. На этом уровне пользуются интегрированной информацией, необходимой для оптимального функционирования предприятия, применяя при этом мощные СУБД, обеспечивающие быстрый ответ на самые разные запросы.

С целью изучения возможности развития подобной системы, на кафедре технологии машиностроения Таллинского политехнического института разработана опытная система конечного пользователя на базе ЭВМ СМ4. Архитектура системы представлена на рис. 2. Структура системы выбрана исходя из потребностей ОГТ. Центральной частью системы является информационная база. Для ввода информации служит поддерживающая система с ППП "Деталь", "Технология 1", "Технология 2" и "Технология 3". Необходимую информацию получают при помощи справочной системы, используя ППП "Поиск 1", "Поиск 2" и "Поиск 3".

При разработке системы были использованы понятия, выдвинутые в [1].

Содержание конструктивной информации в базе данных представлено в [2]. Структуру технологической информации

СХЕМА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

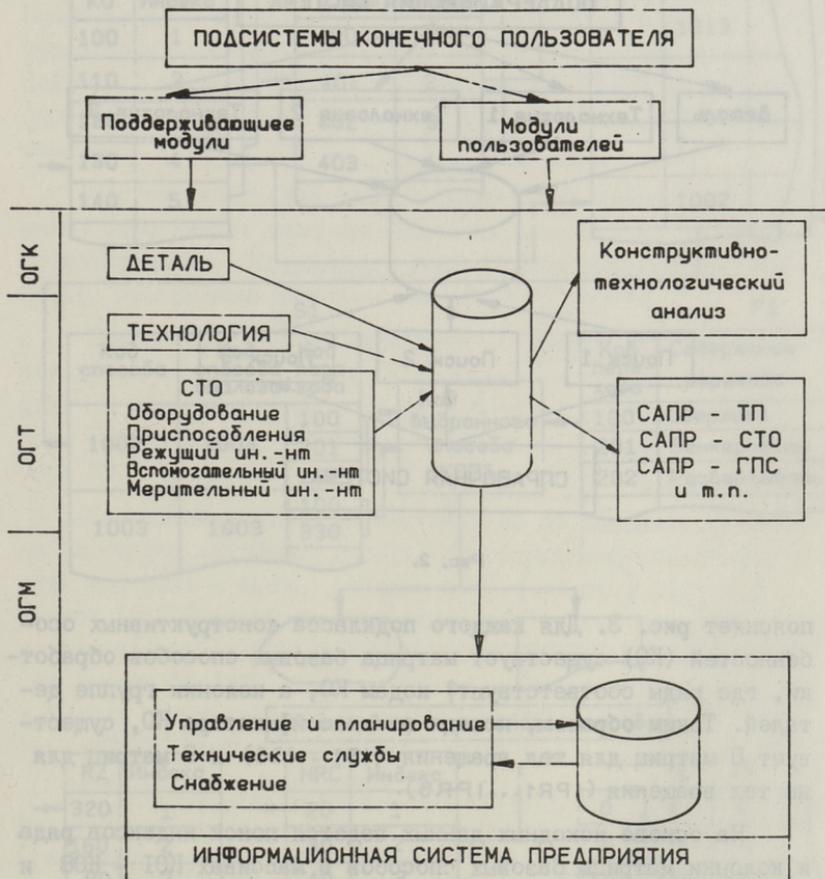


Рис. 1.

ПОДСИСТЕМА КОНЕЧНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ
(ОГТ)

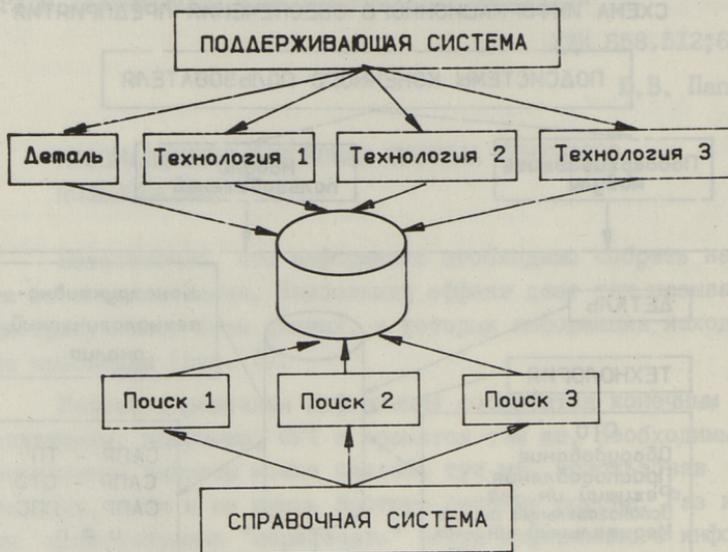


Рис. 2.

поясняет рис. 3. Для каждого подкласса конструктивных особенностей (КО) существует матрица базовых способов обработки, где ряды соответствуют кодам КО, а колонки группе деталей. Таким образом, исходя из классификатора КО, существует 8 матриц для тел вращения (IS1...IS8) и 8 матриц для не тел вращения (IPR1...IPR8).

На основе исходных данных ведется поиск индексов ряда и колонки матрицы базовых способов в массивах KOI - KO8 и GRV или GRP соответственно. Найденный четырехпозиционный код способа обработки дешифрируется следующим образом: 1 позиция - вид КО, 2 позиция - код дополнительного способа обработки, 3 и 4 позиции - порядковый номер способа обработки. Содержание способа обработки находится в массиве S1, где в первой колонке указывается первичный способ обработки относительно последующих, во второй колонке - код способа аналога и в третьей - коды переходов, содержащихся в массиве PI. Содержание способов обработ-

СТРУКТУРА ПОИСКОВОЙ СИСТЕМЫ

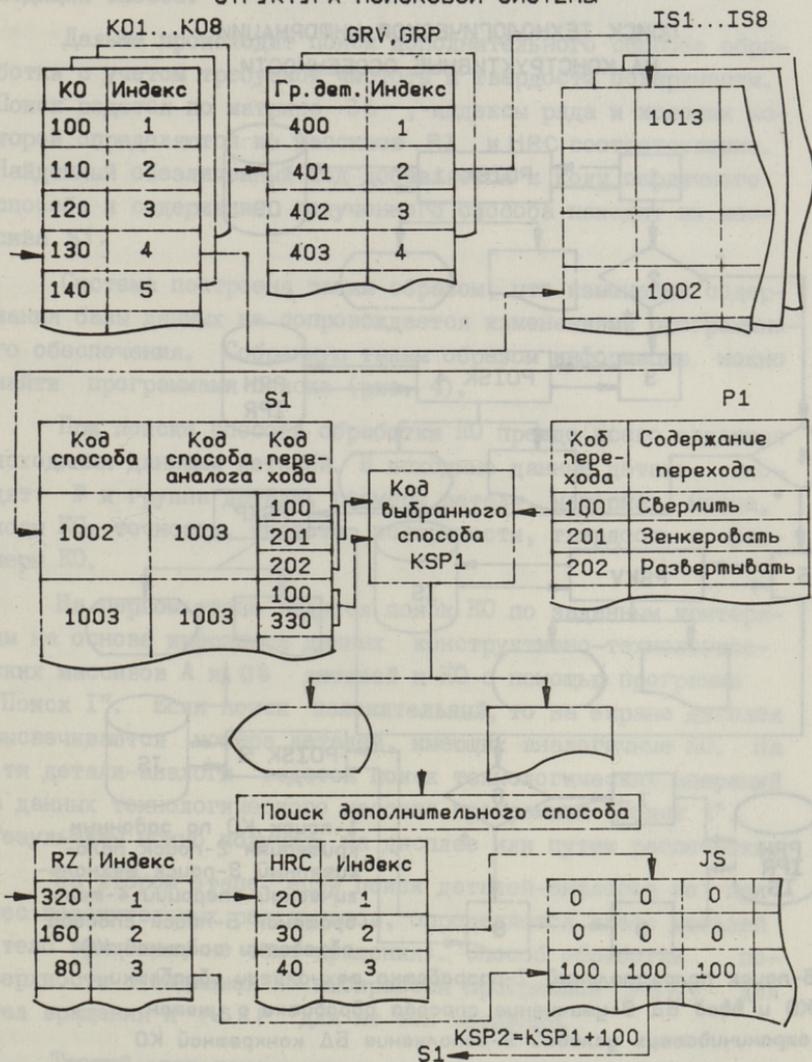


Рис. 3.

ПОИСК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
НА КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

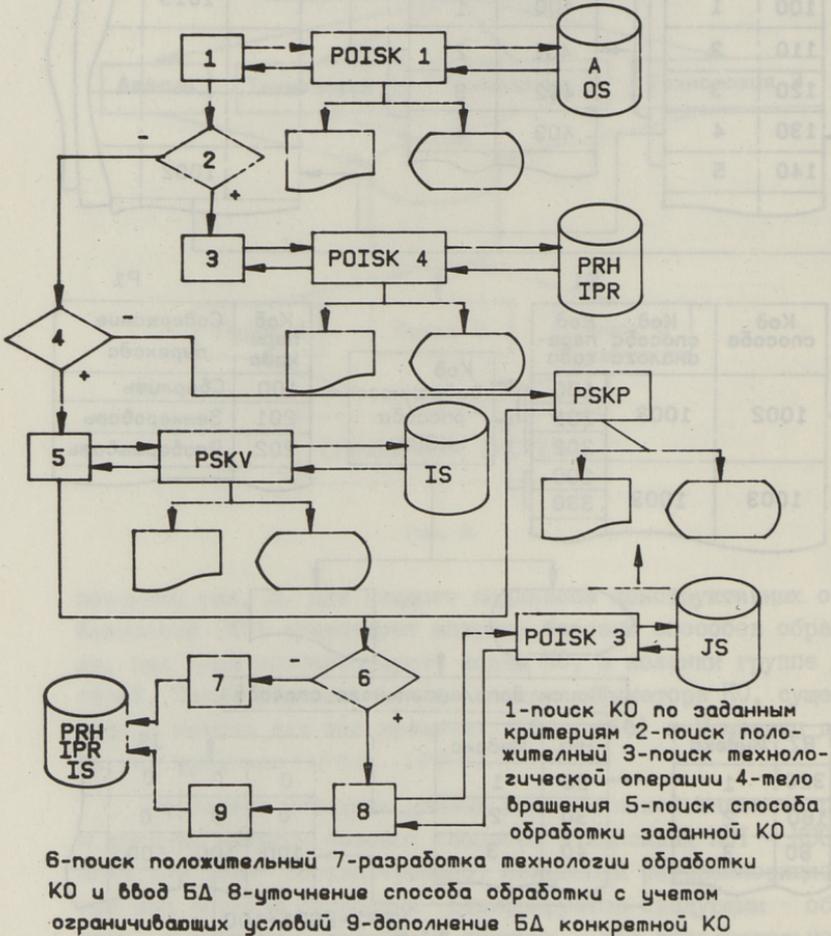


Рис. 4.

ки, соответствующих исходным данным поиска, выводится на экран дисплея, по которому технолог выбирает наиболее подходящий способ.

Дальше происходит поиск дополнительного способа обработки с учетом требуемой чистоты и твердости поверхности. Поиск ведется по матрице JS, индексы ряда и колонки которой определяются из массивов RZ и HRC соответственно. Найденный обезличенный код добавляется к коду первичного способа и содержание полученного способа находят из массива S1.

Система построена таким образом, что изменение содержания базы данных не сопровождается изменениями программного обеспечения. Собранную таким образом информацию можно найти программами поиска (рис. 4).

При поиске способа обработки КО прежде всего задаются исходными данными деталей. В исходные данные детали входят: № и группа детали, размеры детали, материал, масса, коды КО, точность, чистота поверхности, твердость и размеры КО.

На первом этапе ведется поиск КО по заданным критериям на основе имеющихся данных конструктивно-технологических массивов А и OS деталей и КО с помощью программы "Поиск I". Если поиск положительный, то на экране дисплея высвечиваются номера деталей, имеющих аналогичные КО. На эти детали-аналоги ведется поиск технологических операций в данных технологического массива программой "Поиск 4". Результаты можно получить на дисплее или путем распечатки.

На втором этапе, если поиск деталей-аналогов не принес положительных результатов, определяется класс деталей (тело вращения, не тело вращения). Способ обработки поверхности с заданной КО выбирается программой PSKV для тел вращения и PSKP для не тел вращения.

Третий этап поиска технологической информации определяется наличием способа обработки заданной КО. В положительном случае приводятся уточнения способа обработки с учетом ограничивающих условий (программа "Поиск 3") дополняется база данных конкретной КО с использованием ТЕНН 2. Если поиск не увенчался успехом, то необходимо заново раз-

ПРИМЕРЫ ПОИСКА

Поиск детали группы 413 (звездочки)

СТР. 1

:НР.:	НР. ДЕТАЛИ	:ГРУП-:	РАЗ-:	МАТ:	ДУН :	L :	ДВНУМ:
:	:	: ПА :	МЕР :	:	:	:	:
1	ЭТЦ-163-2003-018	413	725	1	248.00	108.4	120.00
2	ЭТЦ-163-2004-027	413	705	1	297.20	29.4	110.00
3	ЭТЦ-165-4500-051	413	724	2	291.00	130.0	83.00
4	ЭТЦ-165-7002-004	413	724	2	223.00	90.0	62.00

Поиск детали группы 400 (ступ.валы), 20 и 400

СТР. 1

:НР.:	НР. ДЕТАЛИ	:ГРУП-:	РАЗ-:	МАТ:	ДУН :	L :	ДВНУМ:
:	:	: ПА :	МЕР :	:	:	:	:
1	ЭТЦ-161-0601-12	400	150	1	20.00	377.0	0.00

Поиск детали группы 413 (звездочки), сталь 45, 100 250

СТР. 1

:НР.:	НР. ДЕТАЛИ	:ГРУП-:	РАЗ-:	МАТ:	ДУН :	L :	ДВНУМ:
:	:	: ПА :	МЕР :	:	:	:	:
1	ЭТЦ-201-0400-001	413	514	1	124.00	55.0	52.00
2	ЭТЦ-201-0406-008	413	503	1	124.00	36.0	28.00
3	ЭТЦ-201-0606-001	413	504	1	125.60	42.0	52.00

Все КО группы 400

ГРУППА 400

СТР. 1

:НР.:	НР. ДЕТАЛИ	: КО:	РАЗМЕРЫ КО				: ЧИСТ.:	КОЛ.:
:	:	:	:	:	:	:	ПОР. :	КО :
1	ЭТЦ-165-4600-017	251	5.00	3.00	0.00	0.00	80.00	1
2	ЭТЦ-165-4600-017	710	12.00	1.25	0.01	15.00	40.00	1
3	ЭТЦ-165-4600-058	412	8.00	16.00	0.00	0.00	2.50	1

Распечатка технологических данных детали-аналога

НР.ДЕТАЛИ=ЭТЦ-201-000401-031 КОД ПЕР.-ДА=902 КОД ОБОР.=05320
 КОД ПРИСП.=7532-7008 КОД ИНСТР.=2510-0120-0000
 КОД ВСП.ИНСТР.=6224-0143
 КОЛ.ПР.-ОВ= 1 V= 24.3 S= 2.00
 ГЛ.РЕЗ.= 0.0 СОЖ= 0 ТШТ= 0.02 ТПЗ= 0.62

Рис. 5.

работать технологию обработки КО и ввести ее в базу данных с использованием ТЕНН2 и ТЕНН3.

Кроме поиска информации о КО возможен и поиск деталей-аналогов, а соответственно и технологии и документации на применяемые средства технологического оснащения.

Данная система допускает 14 различных запросов. Возможные запросы выводят на экран в виде меню, и технолог может среди них выбирать подходящий. Некоторые примеры результатов запросов приведены на рис. 5.

Опробирование показало, что подобную систему целесообразно использовать для формирования конструкторско-технологической информации, а также для получения справочной информации для проектирования технологии обработки в случае разработки технологии вручную.

Л и т е р а т у р а

1. Папстел Ю.В. Об одном подходе к созданию области допустимых решений при проектировании технологии обработки // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. - 1984. - № 584. - С. 55-61.

2. Папстел Ю.В. Интерактивная система кодирования и классификации деталей // См. наст. сб. с. 19-23.

J. Papstel

The Entry/Query System of the End User

Abstract

In this paper an experimental entry/query system is described. It's an interactive system and provides the end user with information about the parts and their constructive elements. The parts layout is accessible as well.

This system is effective for production analysis and manual process planning.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

На этапе выбора технически приемлемых приспособлений выделяется множество допустимых вариантов и требуется дать оценку качества и упорядочить технически допустимые приспособления на основе технико-экономических критериев. Выбор оптимального приспособления является многокритериальной задачей. Эффективность применения одного приспособления из многих технически допустимых оценивается следующими общими критериями:

- максимальная производительность обработки;
- минимальная себестоимость обработки;
- минимальный срок технологической подготовки производства;
- требуемая точность обработки.

Эти общие критерии учитываются при помощи приоритетов μ_j , $j = 1, 2 \dots l$. Для выбранных критериев значения приоритетов высчитываются при помощи приближенных зависимостей, исходя из набора данных приспособления, заготовки, организационно-плановых показателей и оборудования, доступных при проектировании приспособления на операцию [1, 2]. Например, для определения приоритета по производительности обработки пользуются выражением [1]:

$$\mu_1 = \frac{t_{y_i} + t_{z_i} + t_{n_i} + t_0 \cdot K_{0_i}}{n_i},$$

- где t_{y_i} - вспомогательное время на базирование и снятие заготовки;
- t_{z_i} - вспомогательное время на закрепление и открепление заготовки;
- t_{n_i} - вспомогательное время на управление приспособлением;
- n - число одновременно устанавливаемых заготовок;

t_0 - основное время, определяемое по приближенным зависимостям;

K_{oi} - коэффициент увеличения основного времени (определяемый относительно ранее выбранного эталонного приспособления).

На основании разработанных функций приоритетов μ_j [I] получают множество оценок $\mu = \{\mu_j(PP_n)\}$ эффективности обработки данной заготовки в i -м ($i=1,2,\dots,n$) приспособлении.

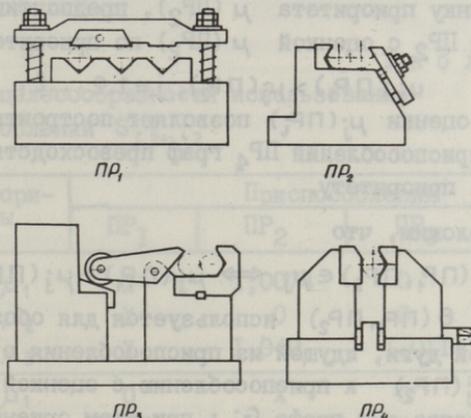


Рис. 1. Технически приемлемые приспособления для операции фрезерования торца валика: $PP_1 \dots PP_4$ - обозначения приспособлений.

В качестве примера на рис. 1 приведены приспособления, технически пригодные для выполнения операции фрезерования торца заготовок типа вала [3, 4, 5]. В таблице I приведены значения приоритетов по трем критериям (определенных по методике, приведенной в [II]), на основе которых производится выбор оптимального приспособления.

Т а б л и ц а I

Значения приоритетов по трем критериям

Обозначение приоритетов	Приспособления			
	PP_1	PP_2	PP_3	PP_4
μ_1	0,408	0,411	0,363	0,447
μ_2	4966	4598,8	4512,2	5127,6
μ_3	0,667	0,7	0,675	0,5

В таблице: μ_1 - обозначение приоритетов производительности;

μ_2 - обозначение приоритета себестоимости;

μ_3 - обозначение приоритета, учитывающего затраты на технологическую подготовку производства.

Следующей задачей является упорядочение полученных оценок. Предполагается, что полученные оценки $\mu_j(PP_i)$ вполне достоверно характеризуют качество приспособления по одному из приведенных критериев. Тогда приспособление PP_1 , имеющее оценку приоритета $\mu(PP_2)$, предпочтительнее приспособления PP_2 с оценкой $\mu(PP_2)$ по приоритету μ_j , если:

$$u_j(PP_1) > \mu_j(PP_2), j = 1, 2 \dots l.$$

Полученные оценки $\mu_j(PP_i)$ позволяют построить на исходном множестве приспособлений PP_4 граф превосходства $G_j(PP_i, \mu_j)$ по каждому приоритету.

Предположим, что

$$\theta(PP_1, PP_2) \in \mu_j \iff \mu_j(PP_1) > \mu_j(PP_2),$$

где символ $\theta(PP_1, PP_2)$ используется для обозначения ориентированной дуги, идущей из приспособления с оценкой приоритета $\mu_j(PP_2)$ к приспособлению с оценкой $\mu_j(PP_1)$, а U_j - множество дуг графа G_j ; при этом ориентированная дуга направлена от приспособления, имеющего более низкую оценку приоритета, к приспособлению с более высокой оценкой. Равенство оценок приоритетов для двух приспособлений влечет за собой наличие двух противоположно направленных дуг $\theta(PP_2, PP_1)$ и $\theta(PP_1, PP_2)$.

В качестве примера на рис. 2 приведены графы упорядочения исходного множества приспособлений, приведенных на рис. 1, по приоритетам производительности, себестоимости и времени технологической подготовки производства.

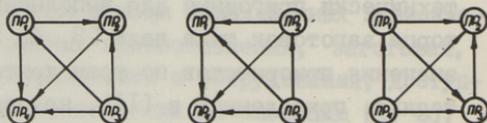


Рис. 2. Графические решения выбора оптимального приспособления с использованием одного приоритета.

Для преодоления трудности несоизмеримости критериев и получения сравнительных результатов о предпочтении того или другого приспособления определяются для каждого

приспособления оценки целесообразности, выражающиеся относительными величинами в виде

$$S_{j i_1, i_2} = \frac{\mu_j(\text{ПР}_{i_2})}{\mu_j(\text{ПР}_{i_1})}, \quad \text{при } \mu_j(\text{ПР}_{i_2}) > \mu_j(\text{ПР}_{i_1}),$$

в противном случае, если $\mu_j(\text{ПР}_{i_2}) \leq \mu_j(\text{ПР}_{i_1})$, то $S_{j i_1, i_2} = 0$,
 i_1, i_2 - индексы сравнительной пары приспособлений;
 $i_1, i_2 = 1, 2 \dots n$.

Т а б л и ц а 2

Оценки целесообразности использования приспособлений $S_{j i_1, i_2}$

Приспособления	Приоритеты	Приспособления			
		ПР _I	ПР ₂	ПР ₃	ПР ₄
ПР _I	μ_1	X	1,0074	0	1,096
	μ_2	X	0	0	1,033
	μ_3	X	1,049	1,011	0
ПР ₂	μ_1	0	X	0	1,096
	μ_2	1,079	X	0	1,032
	μ_3	0	X	0	0
ПР ₃	μ_1	1,12	1,13	X	1,23
	μ_2	1,1	1,019	X	1,136
	μ_3	0	1,037	X	0
ПР ₄	μ_1	0	0	0	X
	μ_2	0	0	0	X
	μ_3	1,334	1,4	1,35	X

В таблице 2 приведены оценки целесообразности использования приспособлений, приведенных на рис. 1. Оценки целесообразности в таблице указывают, по скольким приоритетам и в какой степени данное приспособление лучше другого. Например, приспособление ПР₃ обеспечивает приблизительно в 1,136 раза меньшую себестоимость обработки, чем ПР₄.

На основе данных, приведенных в таблице 2, получены последовательности целесообразности приспособлений по одному критерию (табл. 3). Для расчета используется зависимость:

$$VS_{j i_1} = \sum_{i_2=1}^n S_{j i_1, i_2}$$

Т а б л и ц а 3

Последовательность приспособлений по одному критерию

Производительность обработки		Себестоимость обработки		Затраты на технологическую подготовку производства	
приспособление	суммарная оценка	приспособление	суммарная оценка	приспособление	суммарная оценка
ПР ₃	3,48	ПР ₃	3,255	ПР ₄	4,084
ПР ₁	2,103	ПР ₂	2,111	ПР ₁	2,06
ПР ₂	1,096	ПР ₁	1,033	ПР ₃	1,037
ПР ₄	0,0	ПР ₄	0,0	ПР ₂	0,0

Как видно из таблицы, по разным критериям наиболее эффективными являются разные приспособления. Целесообразно ввести понятие комплексного приоритета, учитывающее влияние всех критериев. В реальных условиях производства необходимо также учитывать относительную важность различных приоритетов. Существует много методик для определения коэффициентов значимости приоритетов в задачах принятия решения [6, 7]. Мера относительной значимости приоритетов должен задавать пользователь, хорошо знающий условия конкретного производства.

Эту задачу можно решить заданием коэффициентов $K_j, j = 1, 2, \dots, l$, которые могут быть любыми действительными положительными числами. При одинаковых значимостях всех приоритетов $K_j = 1$ и $\sum_{j=1}^l K_j = l$.

Остальные ситуации можно описать при помощи системы уравнений, по которым вычисляются коэффициенты важности. Например, при оценке себестоимости в два раза выше, чем остальных критериев, получается система уравнений:

$$\begin{cases} K_1 + K_2 + K_3 = 3 \\ K_1 + K_3 = \frac{1}{2} K_2 \end{cases}$$

решение которой дает $K_1 = K_3 = 0,75$ и $K_2 = 1,5$.

Для получения оценки предпочтения PR_{i_1} над PR_{i_2} по всем критериям, учитывая относительную важность приоритетов и количество критериев, по которому PR_{i_1} лучше PR_{i_2} , вводится индекс согласия $C(PR_1, PR_2)$, который определяется:

$$C(PR_1, PR_2) = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^l C_j \cdot K_j,$$

где C_j - показатель наличия превосходства по оценкам целесообразности PR_1 над PR_2 по j -му приоритету;

$$C_j = 1; 0;$$

K_j - мера относительной важности j -го приоритета;

C - сумма всех C_j .

Для нашего примера "матрица согласий" $C|C_{i_1, i_2}|$ в порядке $(m \times m)$ по таблице 2 имеет вид:

$$C = \begin{vmatrix} X & 0,5 & 0,25 & 0,75 \\ 0,5 & X & 0 & 0,75 \\ 0,75 & 1 & X & 0,75 \\ 0,25 & 0,25 & 0,25 & X \end{vmatrix}$$

В какой степени одно приспособление лучше другого, учитывается при помощи суммы значений всех критериев, относящихся к рассматриваемой паре приспособлений:

$$V(PR_{i_1}, PR_{i_2}) = \sum_{j=1}^l S_{j, i_1, i_2}.$$

Чтобы ввести значения оценки целесообразности использования в общую оценку, достаточно перемножить матрицу согласий C с матрицей значений $V(PR_{i_1}, PR_{i_2})$. В результате получается матрица с комплексными показателями оценок целесообразности использования приспособлений. Для рассматриваемого примера эта матрица имеет вид:

$$Q = \begin{vmatrix} X & 1,028 & 0,252 & 1,598 \\ 0,539 & X & 0 & 1,596 \\ 1,665 & 3,185 & X & 1,774 \\ 0,333 & 0,35 & 0,337 & X \end{vmatrix}$$

Окончательные комплексные оценки последовательности приспособлений получают при помощи суммарной оценки из матрицы Q по аналогии с определением оценки по одному критерию.

Комплексные оценки для рассматриваемого примера приведены в таблице 4.

Последовательность приспособлений по комплексной оценке

Приспособления	Значение комплексной оценки
PR ₃	6,624
PR ₁	2,876
PR ₂	2,135
PR ₄	1,02

Данная методика позволяет сравнивать приспособления по каждому критерию отдельно или совместно по многим критериям при помощи комплексной оценки. При получении неоднозначного результата окончательное решение принимает пользователь.

Л и т е р а т у р а

1. М е с и л а Р.А., Т а м м А.Л. Разработка приоритетов при выборе приспособлений // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. - 1982. - № 536. - С. 49-60.
2. Т а м м А.Л. Определение погрешности установки перенаалаживаемых приспособлений // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. - 1982. - № 536. - С. 39-48.
3. А н с е р о в М.А. Приспособления для фрезерных станков. - М.-Л., 1953. - 253 с.
4. Г л а д к о в К.М. Станочные приспособления в текстильном машиностроении. - М.: Машгиз. - 1963. - 215 с.
5. Б е л о у с о в А.П. Проектирование станочных приспособлений. - М.: Высшая школа. - 1980. - 240 с.
6. П о д и н о в с к и й В.В. Коэффициенты важности критериев в задачах принятия решений. Порядковые или ординальные коэффициенты важности // Автоматика и телемеханика. - № 10. - 1978. - С. 130-141.
7. Р и й в е с Ю.Э. Применение множества приоритетов для выбора модели станка // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. - 1980. - № 495. - С. 45-50.

Choice of the Most Rational Versions of Fixtures

Abstract

The article deals with the problem of choosing the most rational versions of fixtures. Criteria for the choice are given. The most rational variant of fixture is found out by one single criterion or by using many criteria together.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Требование обеспечения высокого уровня технической и экономической эффективности гибких производственных комплексов (ГПК) предполагает проведение уже на первых стадиях их проектирования (техническое задание, техническое предложение, эскизный проект) всестороннего анализа всех альтернативных вариантов. Многовариантность возникает из-за необходимости комплексного решения задач оптимального построения ГПК, разработки технологии и планирования.

Перед разработкой методики автоматизированного анализа ГПК были проведены теоретические исследования [1] с целью:

- выявить влияние элементов ГПК (станки, элементы транспортной системы и т.д.) и их параметров (время смены деталей, скорость транспортирования и т.д.) на оптимальную работу комплекса (внутриструктурный анализ),
- выявить связи между элементами системы и технологическими критериями (межструктурный анализ).

Анализ ГПК на первых стадиях их проектирования состоит в определении оптимальной совокупности элементов ГПК, соединенных временными и пространственными связями и оптимального набора технологических маршрутов. Исходя из заданной номенклатуры деталей решаются следующие задачи (рис. 1):

- выбор альтернативных структурных вариантов построения ГПК,
- проектирование и оценка альтернативных технологических процессов,

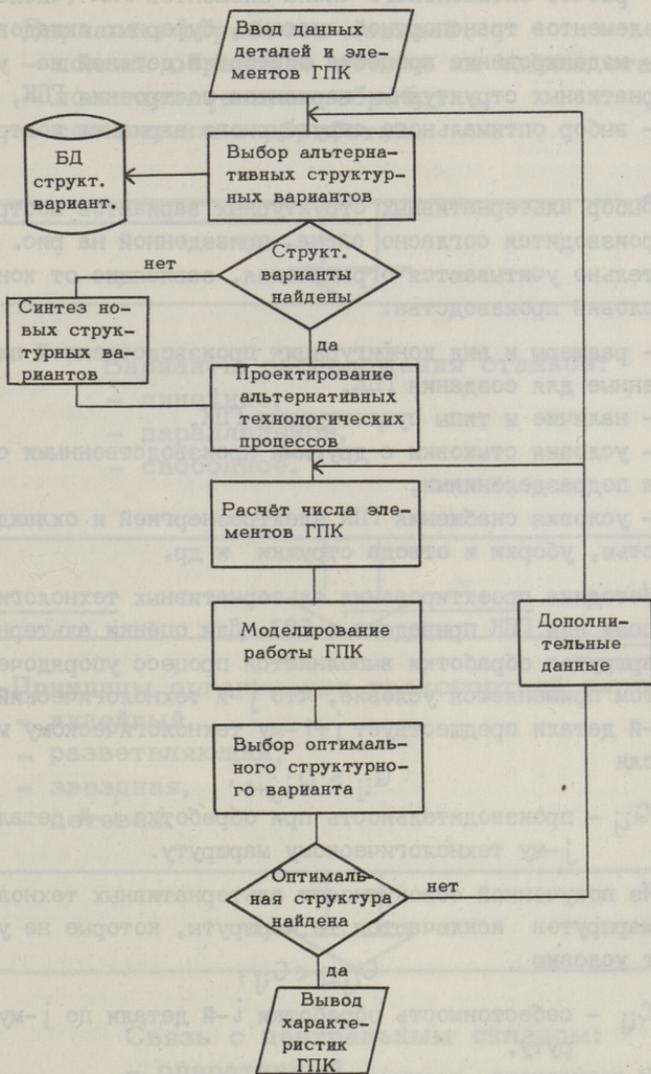


Рис. 1. Блок-схема анализа ГПК.

- расчет оптимального числа элементов ГПК (число станков, элементов транспортной системы, буферных складов и т.д.)
- моделирование процесса обработки деталей на уровне альтернативных структурных вариантов построения ГПК,
- выбор оптимального структурного варианта построения ГПК.

Выбор альтернативных структурных вариантов построения ГПК производится согласно схеме, приведенной на рис. 2. Дополнительно учитываются ограничения, зависящие от конкретных условий производства:

- размеры и вид конфигурации производственной площади, выделенные для создания ГПК,
- наличие и типы существующих ГПК,
- условия стыковки с другими производственными системами и подразделениями,
- условия снабжения ГПК электроэнергией и охлаждающей жидкостью, уборки и отвода стружки и др.

Методика проектирования альтернативных технологических процессов для ГПК приведена в [2]. Для оценки альтернативных маршрутов обработки выполняется процесс упорядочения их. При этом применяется условие, что j -й технологический маршрут i -й детали предшествует $j+1$ -му технологическому маршруту, если

$$Q_{ij} > Q_{i,j+1},$$

где Q_{ij} - производительность при обработке i -й детали по j -му технологическому маршруту.

Из полученной совокупности альтернативных технологических маршрутов исключаются те маршруты, которые не удовлетворяют условию

$$C_{i,j+1} < C_{ij},$$

где C_{ij} - себестоимость обработки i -й детали по j -му маршруту.

В результате возникает новый ряд технологических маршрутов, в котором первый маршрут обеспечивает максимальную производительность, а последний - минимальную себестоимость обработки данной детали. Затем задают каждому альтернативному технологическому маршруту оценку, которая выражается отношением

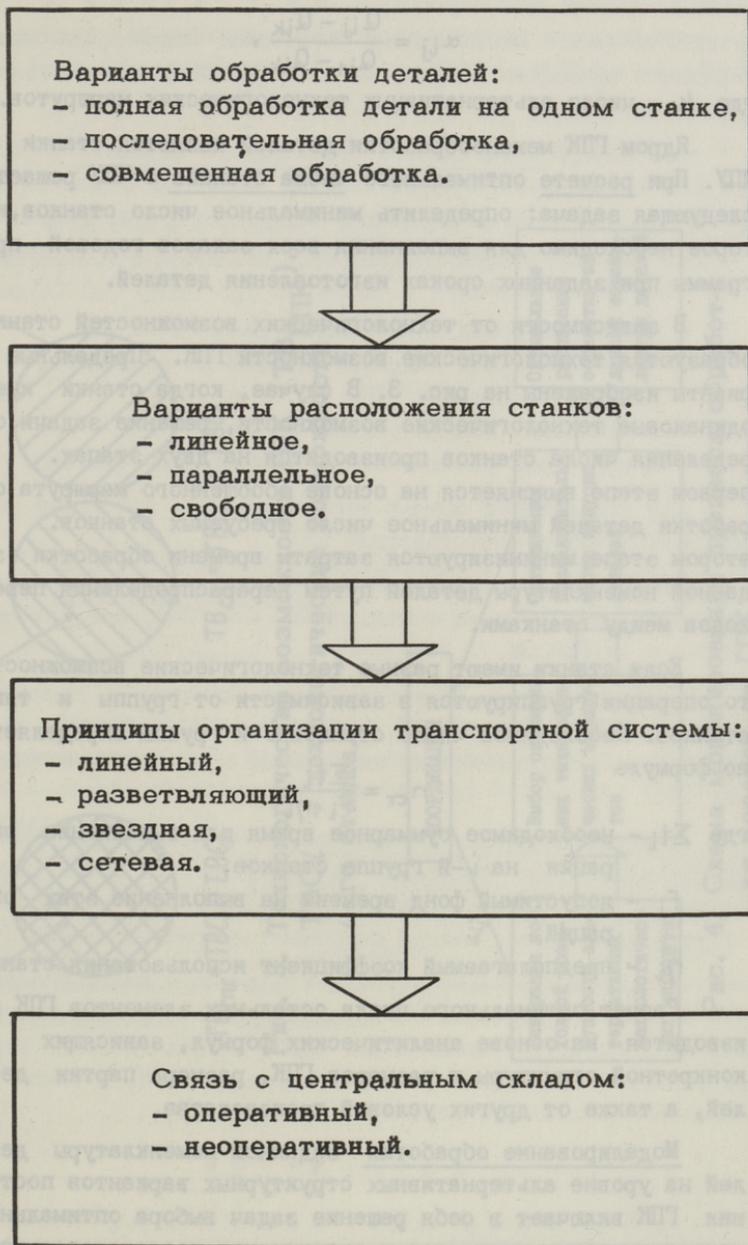


Рис. 2. Схема выбора альтернативных структурных вариантов построения ГПК.

$$\alpha_{ij} = \frac{Q_{ij} - Q_{ik}}{Q_{i1} - Q_{ik}},$$

где k - число альтернативных технологических маршрутов.

Ядром ГПК механообработки деталей являются станки с ЧПУ. При расчете оптимального числа станков с ЧПУ решается следующая задача: определить минимальное число станков, которое необходимо для выполнения всех заказов годовой программы при заданных сроках изготовления деталей.

В зависимости от технологических возможностей станков образуются технологические возможности ГПК. Предельные варианты изображены на рис. 3. В случае, когда станки имеют одинаковые технологические возможности, решение задачи определения числа станков производится на двух этапах. На первом этапе выясняется на основе обобщенного маршрута обработки деталей минимальное число требуемых станков. На втором этапе минимизируются затраты времени обработки заданной номенклатуры деталей путем перераспределения переходов между станками.

Если станки имеют разные технологические возможности, то операции группируются в зависимости от группы и типов станков. Необходимое число станков i -й группы определяется по формуле

$$n_{ст} = \frac{\sum t_i}{F_i \cdot \eta_i},$$

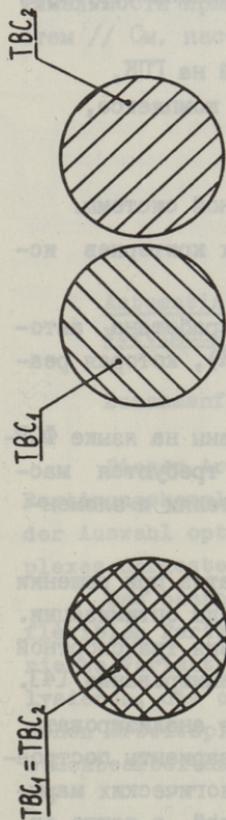
где $\sum t_i$ - необходимое суммарное время для выполнения операции на i -й группе станков,

F_i - допустимый фонд времени на выполнение этих операций,

η_i - предполагаемый коэффициент использования станков.

Расчет оптимального числа остальных элементов ГПК производится на основе аналитических формул, зависящих от конкретной структуры и размеров ГПК, размера партии деталей, а также от других условий производства.

Моделирование обработки заданной номенклатуры деталей на уровне альтернативных структурных вариантов построения ГПК включает в себя решение задач выбора оптимальных технологических маршрутов и оптимизации последовательности запуска деталей. Выбранные технологические маршруты обработки должны обеспечить обработку заданной номенклатуры



$$TV_{ГПС} = TV_{C1} \cap TV_{C2}$$

$$TV_{ГПС} = TV_{C1} \cup TV_{C2}$$

Рис. 3. Технологические возможности ГПК ($TV_{ГПК}$).
 TV_{C1} — технологические возможности i -го станка.

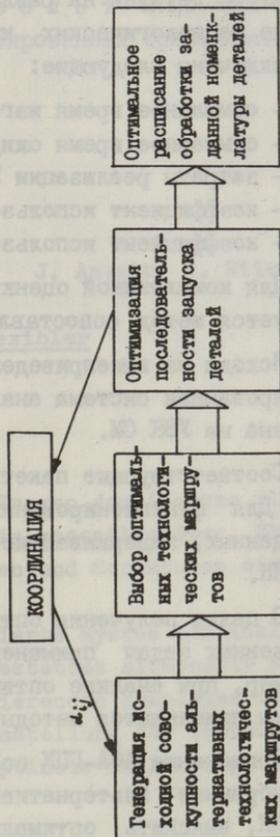


Рис. 4. Схема моделирования процесса обработки деталей на ГПК.

деталей в срок с минимальными затратами. Общая сумма моделирования приведена на рис. 4, а соответствующая методика в [2].

При выборе оптимального структурного варианта построения ГПК анализируется эффективность обработки заданной номенклатуры деталей на различных вариантах структурного ГПК. В число технологических критериев, определяющих структуру ГПК, включены следующие:

- суммарное время изготовления деталей на ГПК,
- суммарное время ожидания деталей на комплексе,
- затраты реализации ГПК,
- коэффициент использования станков,
- коэффициент использования транспортной системы.

Для комплексной оценки технологических критериев используется метод сопоставления [3].

Исходя из вышеприведенной методики разработана автоматизированная система анализа ГПК (АСА-ГПК), которая реализована на УВК СМ.

Соответствующие пакеты программ написаны на языке ФОРТРАН. Для функционирования данной системы требуются массивы данных, задерживающие информацию о деталях и элементах ГПК.

С целью получения оптимальных результатов при решении приведенных задач применены различные методы оптимизации. Например, при анализе оптимального применения транспортной системы применяются методы поточного программирования [4].

Применение АСА-ГПК позволяет полностью анализировать все выбранные альтернативные структурные варианты построения ГПК, выяснить оптимальный выбор технологических маршрутов обработки заданной номенклатуры деталей, а также оптимальное расписание обработки этих деталей.

Л и т е р а т у р а

1. К ю т т н е р Р.А., Р и й в е с Ю.Э., А н - в е л ь т Д.Д. Математическое моделирование структур гибких производственных систем и анализ их применимости // Вестник машиностроения. - 1987, - № 5.

2. Анвельт Д.Д. Проектирование технологически процессов для гибкого автоматизированного производства // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. - 1984. - № 584. - С. 49-55.

3. Groover M.P. Automation, Production Systems and Computer Aided Manufacturing // Englewood Cliffs. - N.Y. - 1980. - 601 p.

4. Рийвес Ю.Э., Анвельт Д.Д. Анализ оптимальности применения автоматизированных транспортных систем // См. наст. сб. с. 48-58.

J. Anvelt, J. Riives

Automatisierte Analyse flexibler
Fertigungskomplexe

Zusammenfassung

Dieser Artikel behandelt Fragen der Analyse flexibler Fertigungskomplexe. Es werden die wesentlichsten Etappen der Auswahl optimaler Komponenten und Strukturen eines Komplexes dargestellt.

Das bearbeitete automatisierte System der Analyse des flexiblen Fertigungskomplexes gestattet alternativ strukturierte Varianten des zu projektierenden Komplexes zu analysieren, die optimale Zusammenstellung der technologischen Arbeitspläne, sowie die optimale Reihenfolge der Werkstückbearbeitung zu bestimmen.

УДК 658.566:658.52.011.56.012.3

Ю.Э. Рийвес, Ю.Ю. Анвельт

АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Ритмичность работы гибкой производственной системы (ГПС), ее технологическая гибкость, а также возможности хранения и своевременной доставки материалов (заготовки, полуфабрикаты, детали) в большей степени зависят от используемой транспортно-складской системы (ТСС). В процессе определения наиболее целесообразной транспортной системы для конкретного варианта построения ГПС (полная обработка детали на одном станке или последовательная обработка на нескольких станках), необходимо исходить из следующих основных целей:

- минимизация времен ожидания деталей в ГПС;
- минимизация цикловых времен изготовления деталей;
- минимизация стоимости реализаций транспортной системы;
- унификация уровней гибкости транспортной системы и автоматизированной производственной системы.

Транспортная система должна обеспечить передвижение материалов в предусмотренных объемах своевременно в точки прицела. Объем транспортирования зависит от установленных задач на общую производительность автоматизированной системы, от разработанных маршрутов обработки и принципов построения производственной системы.

Распределение решаемых задач при проектировании, анализе, или моделировании автоматизированных транспортно-складских систем приведено на рис. I. Составление акцента на одну или другую задачу зависит, в первую очередь, от поставленной производственной цели. Возможно выделить две основные цели:

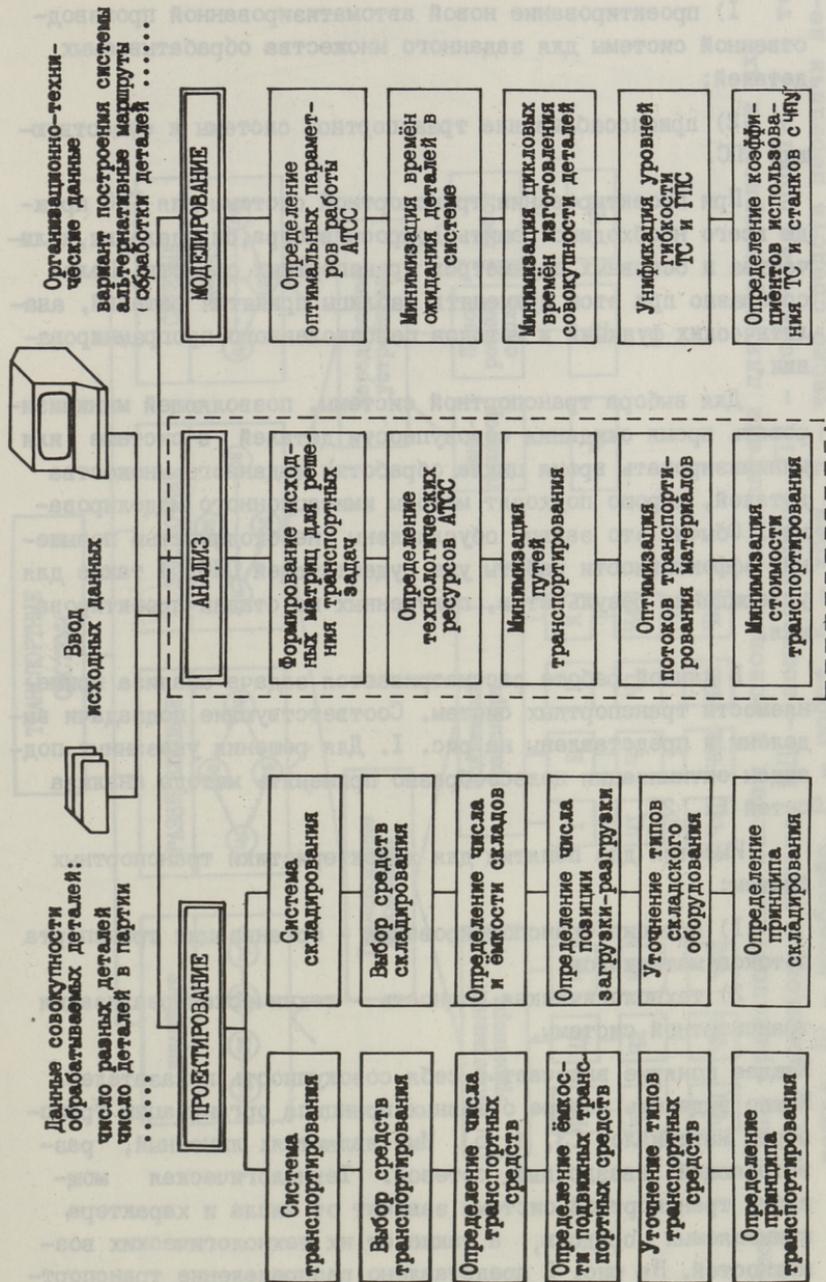


Рис. 1. Задачи оптимизации автоматизированных транспортно-складских систем.

1) проектирование новой автоматизированной производственной системы для заданного множества обрабатываемых деталей;

2) приспособливание транспортной системы к существующей ГПС.

При проектировании транспортной системы для ГПС прежде всего необходимо решить вопросы выбора, определения, количества и основных параметров транспортных средств. Целесообразно при этом применять таблицы принятия решений, аналитических функций и методов целочисленного программирования.

Для выбора транспортной системы, позволяющей минимизировать время ожидания совокупности деталей в системе или минимизировать время цикла обработки заданного множества деталей, хорошо подходят методы имитационного моделирования. Обычно это задачи обусловлены необходимостью повышения эффективности работы уже существующей ГПС, а также для утверждения результатов, полученных на стадии проектирования.

В данной работе рассматривается задача анализа применимости транспортных систем. Соответствующие подзадачи выделены и представлены на рис. 1. Для решения указанных подзадач оптимизации целесообразно применять методы анализа сетей [1, 2].

Имеется два понятия для характеристики транспортных систем:

1) принцип транспортирования - организация транспорта потоков материалов;

2) технологическая мощность - техническая реализация транспортной системы.

Каждое понятие включает в себя совокупность показателей. Можно выделить четыре основных принципа организации транспорта материалов [3, 4, 5]. Ими являются: линейный, разветвляющийся, звездочный, сетевой. Технологическая мощность транспортной системы зависит от числа и характера применяемых средств, а также от их технологических возможностей. На рис. 2 представлено распределение транспортных систем на основе принципа транспортирования. Там же приведены показатели для общей характеристики системы транспортирования деталей.

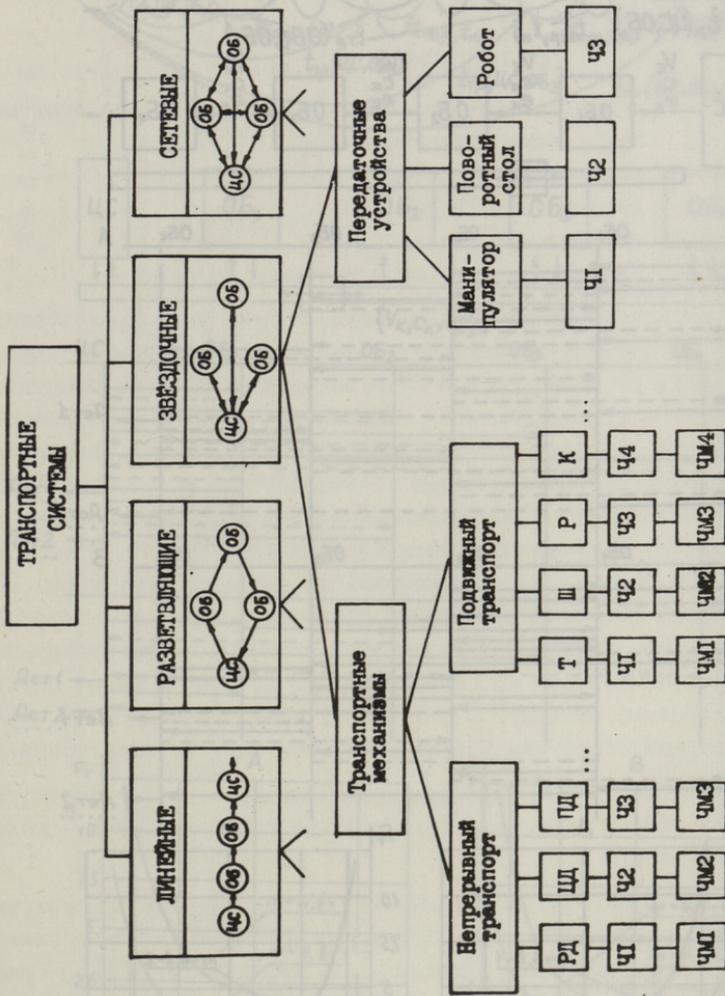


Рис. 2. Типы транспортных систем и основные показатели для характеристики их:
 РД - роликотная дорога, ЦД - цепная дорога, ПД - подвесная дорога, Т - тележка, Ш - штабелёр, Р - робот, К - кран, Ч - число средств передачи де-талей, число транспортных средств, ЧМ - количество мест на каждом носи-теле.

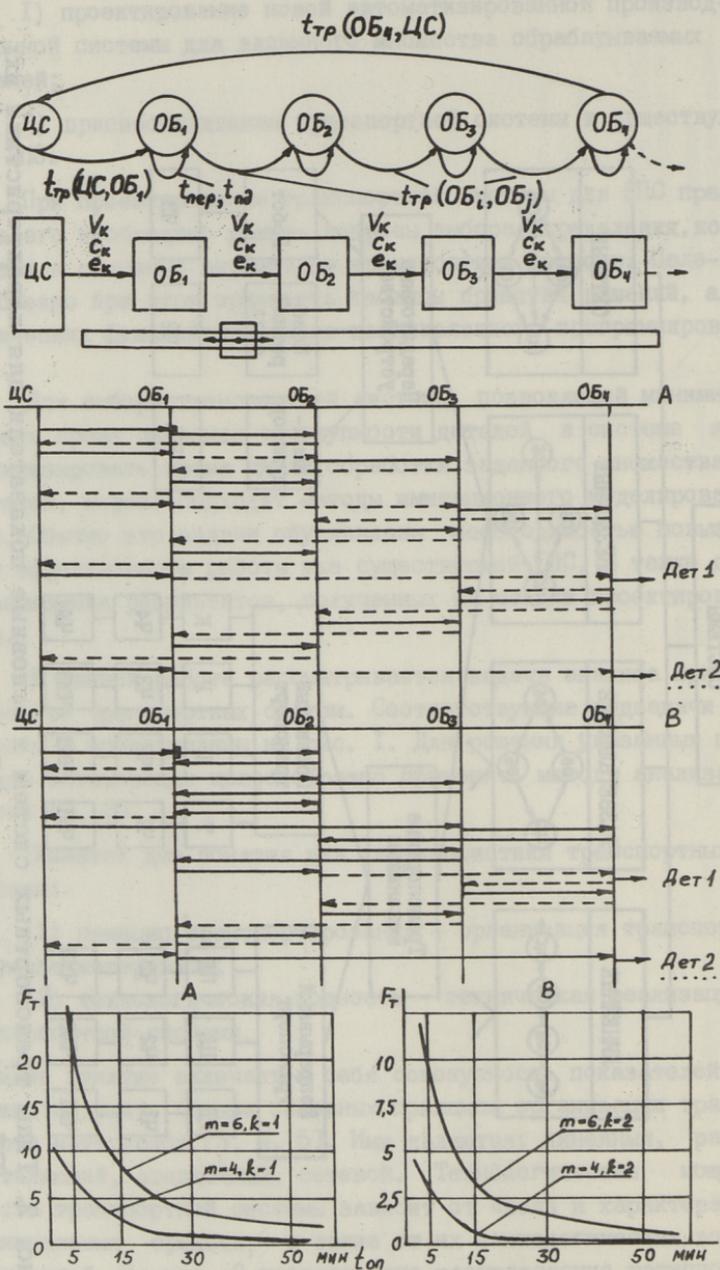


Рис. 3. Значимость транспортирования при последовательной обработке детали в ГПС с линейной структурой и жесткой ТС.

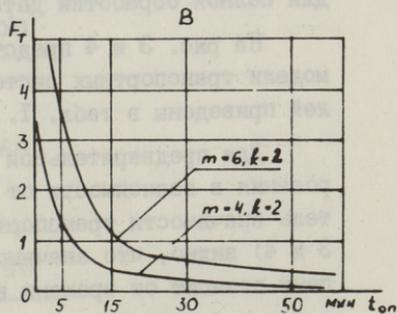
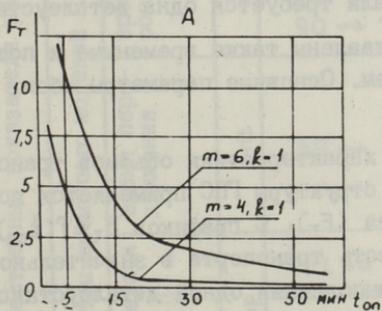
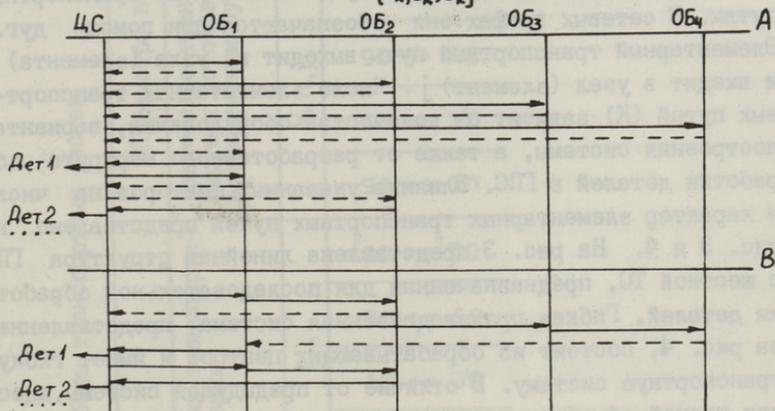
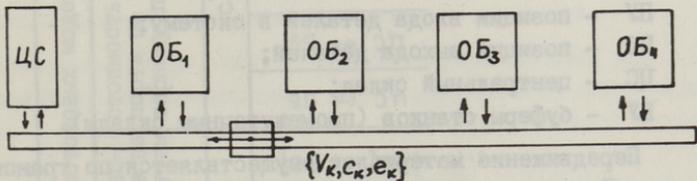
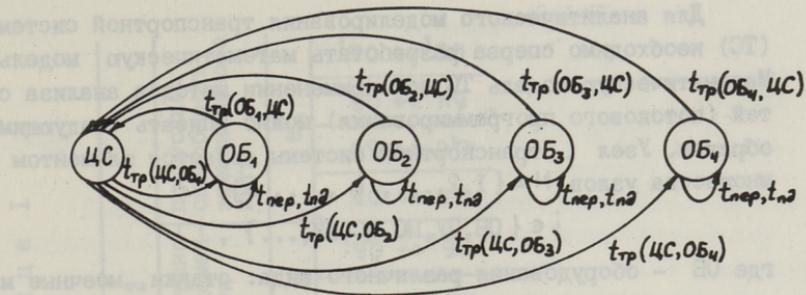


Рис. 4. Значимость транспортирования при одноступенчатой обработке деталей в ГПС с линейной структурой и гибкой ТС.

Для аналитического моделирования транспортной системы (ТС) необходимо сперва разработать математическую модель. Математическую модель ТС при применении методов анализа сетей (потокowego программирования) можно описать следующим образом. Узел i транспортной системы является элементом множества узлов $N = \{1, 2, \dots, i, \dots, n\}$,

$$i \in \{OB, ПУ, ПО, ЦС, БУ, \dots\},$$

где ОБ - оборудования различного вида: станки, моечные машины, измерительные машины;

ПУ - позиции входа деталей в систему;

ПО - позиции выхода деталей;

ЦС - центральный склад;

БУ - буферы станков (промежуточные склады).

Передвижение материалов осуществляется по транспортным путям. В сетевых графах они обозначаются при помощи дуг. Элементарный транспортный путь выходит из узла (элемента) i и входит в узел (элемент) j . Число элементарных транспортных путей (K) зависит от количества оборудования, варианта построения системы, а также от разработанного маршрута обработки деталей в ГПС. Влияние указанных факторов на число и характер элементарных транспортных путей представлено на рис. 3 и 4. На рис. 3 представлена линейная структура ГПС с жесткой ТС, предназначенная для последовательной обработки деталей. Гибкая производственная система, представленная на рис. 4, состоит из обрабатывающих центров и имеет гибкую транспортную систему. В отличие от предыдущей системы, здесь для полной обработки детали требуется одна деталиустановка.

На рис. 3 и 4 представлены также временные и потоковые модели транспортных систем. Основные параметры обеих моделей приведены в табл. I.

Для предварительной характеристики объемов транспортирования в зависимости от структуры ГПС применяется показатель значимости транспорта (F_T). С графиков $F_T = f(t_{on})$ (рис. 3 и 4) видно, что значимость транспорта в значительной степени зависит от времени выполнения одной деталиустановки (t_{on}).

Значимость транспорта вычисляется из выражения:

Т а б л и ц а I

количественные показатели работы транспортных систем

Параметры временных моделей		время транспортирования	Параметры потоковых моделей				количество транспортных потоков по элементарным путям	стоимость транспорта по элементарному пути	пропускная способность элементарного пути			
время передачи	время передвижения		t_{np}		t_{tp}					$V_k(i,j)$		C_k
$\text{ЧС} \leftrightarrow \text{ТС}$	$\text{ТС} \leftrightarrow \text{БЧ}$	$\text{БЧ} \leftrightarrow \text{БЧ}$	$\text{ЧС} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{БЧ} \leftrightarrow \text{БЧ}$	$\text{БЧ} \leftrightarrow \text{БЧ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ТС} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{БЧ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$
$\text{ТС} \leftrightarrow \text{БЧ}$	$\text{БЧ} \leftrightarrow \text{БЧ}$	$\text{БЧ} \leftrightarrow \text{БЧ}$	$\text{ЧС} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{БЧ} \leftrightarrow \text{БЧ}$	$\text{БЧ} \leftrightarrow \text{БЧ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ТС} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{БЧ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$
$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ТС}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ТС}$	$\text{БЧ} \leftrightarrow \text{БЧ}$	$\text{ЧС} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{БЧ} \leftrightarrow \text{БЧ}$	$\text{БЧ} \leftrightarrow \text{БЧ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ТС} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{БЧ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$
$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ТС}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ТС}$	$\text{БЧ} \leftrightarrow \text{БЧ}$	$\text{ЧС} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{БЧ} \leftrightarrow \text{БЧ}$	$\text{БЧ} \leftrightarrow \text{БЧ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ТС} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{БЧ} \leftrightarrow \text{ОБ}$	$\text{ОБ} \leftrightarrow \text{ОБ}$

$$F_T = \frac{m}{t_{on} \cdot k} \cdot \left(\frac{\sum L}{v} + t_{nep} + t_{nd} \right),$$

где m - число станков в системе;

k - число транспортных средств (число мест на транспортных средствах);

$\sum L$ - длина транспортирования, м;

v - скорость транспортирования, м/мин;

t_{nep} - время передачи детали, мин;

t_{nd} - время передвижения, мин (учитывается только в тех случаях, если не совпадает с другими действиями).

При обработке деталей $t_{on} \leq 5$ мин правильное построение системы транспортирования (принцип транспортирования, технологические параметры) имеет особое значение. В зависимости от принципа транспортирования, количества оборудования в системе, числа транспортных средств и др. параметров, значимость транспорта (F_T) может измениться в значительной степени (см. рис. 3, график А и рис. 4 график В). Для определения наиболее целесообразных показателей принципа транспортирования хорошо подходят методы потокового программирования. Их применение позволяет решать следующие задачи:

1) задача обеспечения максимальных потоков транспортирования ($\max \sum v$) с источника p (центрального склада заготовок) в сток q (центральный склад готовых деталей);

2) задача обеспечения минимальной суммарной стоимости ($\min \sum C$) передачи потока деталей по транспортной системе;

3) задача обеспечения минимальной длины транспортирования ($\min \sum L$).

При решении вышеприведенных задач оптимизации необходимо учитывать три показателя: поток деталей по дуге k из узла (элемента) i в узел (элемент) j , (f_k), стоимости транспорта деталей по элементарному транспортному пути (по дуге) k (c_k), пропускной способности элементарного транспортного пути k (e_k). Вышеприведенные показатели f_k, c_k, e_k непосредственно зависят от применяемого принципа транспортирования.

В случаях гибких транспортных систем оказывается возможным изменить величину потока f_k передвижения деталей по транспортным путям, то есть $f'_k = a_k f_k$,

где f_k - поток в начале транспортного пути,
 f'_k - поток в конце транспортного пути,
 $\alpha_k = \begin{cases} < I, & \text{если поток уменьшается,} \\ = I, & \text{если поток не меняется (жёсткая ТС),} \\ > I, & \text{если поток увеличивается.} \end{cases}$

Пропускная способность определяет верхнюю границу передвижения материалов в единице времени по элементарному транспортному пути k . Сравнительную загруженность элементарных транспортных путей показывают схемы транспортировки деталей на рис. 3 и 4.

Основные задачи потокового программирования для выбора принципа транспортирования сформулируются следующим образом.

1. Задача обеспечения максимальных потоков:

найти $\max V$

при ограничениях:

$$\begin{aligned} \sum_{k \in L_i} f_k - \sum_{k \in L_j} f_k &= 0, \\ \sum_{k \in L_i} f_k - \sum_{k \in L_j} f_k - V &= 0, \\ \sum_{k \in L_i} f_k - \sum_{k \in L_j} f_k + V &= 0, \\ 0 \leq V &\leq V_d, \\ 0 \leq f_k &\leq e_k, \end{aligned}$$

где L_i - транспортные пути, выходящие из элемента ТС,
 L_j - транспортные пути, входящие в определенный элемент ТС,

V_d - максимально допустимый общий поток деталей.

2. Задача обеспечения минимальной стоимости:

найти $\min \sum_{k=1}^l c_k f_k$, $l = L_i + L_j$;
 при ограничениях

$$\begin{aligned} \sum_{k \in L_i} f_k &= \sum_{k \in L_j} f_k = b_i, \quad i = 1, 2, \dots, n-1; \\ f_k &\leq e_k, \\ f_k &\geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, l, \end{aligned}$$

где b_i - фиксированная требуемая величина потока деталей.

3. Задача поиска кратчайшего пути формируется как задача о потоке минимальной стоимости. При этом параметр длины необходимо трактовать как стоимость передвижения потока по элементарному транспортному пути. Решение этой задачи приведено в литературе [1].

Для решения поставленных задач определения оптимального варианта транспортирования имеется соответствующее программное обеспечение, описанное на языках программирования FORTRAN и PASCAL.

Л и т е р а т у р а

1. Йенсен П., Барнес Д. Потокосвое программирование. - М.: Радио и связь, 1984. - 390 с.

2. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. - М.: Мир, 1981. - 323 с.

3. Гибкое автоматическое производство / Под общей ред. С.А. Майорова, Г.В. Орловского, С.Н. Халкипова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, 1985. - 454 с.

Y. Riives, Y. Anvelt

An Analysis of Optimal Utilization of the Automated Material Handling Systems

Abstract

The article deals with the problems of planning, analysis and modelling of the material handling systems. The decision stages for planning and the role of simulation in design are considered. The main accent has been laid on the analysis of the relative importance of the transportation of workpieces in the case of various structures of flexible manufacturing systems (FMS).

Time and workpiece flow models of the material handling system are described. On the basis of these models the tasks of optimizing the material handling systems are presented. The methods of network flow programming are used for solving these problems.

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ВЫБОРА МЕТОДОВ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ

Современное производство нуждается в работоспособных системах автоматизированного принятия технологических решений. Такая система значительно повышает и качество работы технолога, обеспечивает оптимальность принимаемых технологических решений за счет возможности одновременно учитывать большое количество различных технологических факторов, анализировать и сравнивать по каким-то критериям альтернативные варианты, использовать математические методы ускорения поиска решений. Систему целесообразно использовать и в работе конструктора. С ней можно уже на уровне конструирования новых изделий оперативно оценивать созданные конструктивные решения с точки зрения их рационального изготовления.

Система автоматизированного принятия технологических решений должна иметь ряд свойств, чтобы ее внедрение было практически полезным и работа с ней оказалась удобной, не требующей дополнительных затрат времени на обучение. В данной работе выделено шесть таких свойств.

1. Качество принимаемых решений. Это должно быть не ниже уровня высококвалифицированного технолога.

2. Эргономичность системы. Система должна быть удобной для пользователя. Она должна быть в состоянии управлять ходом работы, дать информацию о предметной области, объяснить и оправдать свои действия при принятии решений, учитывая при этом различный уровень знаний пользователей.

3. Экономичность работы системы. Объем используемой базы знаний и диалог для введения требуемых исходных данных (количество и сущность представленных вопросов и объ-

яснений) должно быть гибко связано с решаемой задачей. Механизм выбора и принятия решений должен использоваться методами ускорения поиска решений.

4. Механизм выбора и принятия решений в системе должен занимать минимальный объем машинной памяти, чтобы большая часть осталась для введения различных данных и знаний о предметной области решаемой задачи.

5. Система должна обеспечивать возможность через различные запросы максимально использовать введенные знания. При этом количество различных запросов станет критерием оценки "мудрости" системы.

6. Система должна быть легко дополнена и иметь способность к развитию.

Работа, проведенная раньше [1], и обзор литературы [2, 3, 4, 5] показывают, что целесообразно реализовать одновременно все вышеизложенные свойства в одной системе, а именно в виде экспертной системы, используя при этом принципы теории искусственного интеллекта.

Экспертная система — это рабочая программа ЭВМ, основанная на новом подходе в технике программирования, использующая совокупность декларативных знаний, логического механизма принятия решений (процедурные знания) и имеет способность в данной предметной области эффективно заменить эксперта-человека.

В данной работе предметной областью экспертной системы является выбор методов отделочной обработки элементарно обрабатываемых поверхностей (в дальнейшем — выбор методов обработки). Под элементарно обрабатываемой поверхностью мы понимаем геометрическую поверхность или комбинацию геометрических поверхностей, которые можно обработать с однотипным инструментом во время одной операции.

Общий алгоритм автоматизированного выбора методов обработки базируется на теории выбора и принятия решений [6] и сводится к решению следующих задач:

1. Описание исходной детали по элементарно обрабатываемым поверхностям.
2. Составление исходного множества методов обработки.

3. Выбор возможных и допустимых альтернативных последовательностей методов обработки.

4. Оценка полученных альтернативных последовательностей методов обработки.

5. Экспертный анализ эффективности внедрения новых прогрессивных методов обработки.

Содержание этих задач описывается на примере разработанной экспертной системы.

Экспертная система выбора методов обработки состоит из базы экспертных знаний и планировщика последовательностей методов обработки.

База экспертных знаний содержит описания понятий, используемые при выборе методов обработки и их структурные связи, а также модели методов обработки.

Представление в системе структурных связей между понятиями дает возможность более эффективно оперировать с ними. Проводим упрощенный пример. Имеется понятие "материал" и его отношение с другими понятиями:

содержит(материал, ([сталь,
чугун,
цветные материалы])).
содержит(сталь, ([конструкционная сталь,
инструментальная сталь,...])).
содержит(инструментальная сталь, ([У7,...,У12,...,9ХС,...])).

Если, например, в модели метода обработки (модель метода обработки описывается в дальнейшем) описан круг обрабатываемых материалов с понятием "инструментальная сталь"; тогда система, используя вышеизложенные отношения, знает, что деталь из материала У12 годна для обработки данным методом.

Модели методов обработки, разработанные на базе обобщенных данных изготовления деталей, представлены в работах различных авторов (Д.В. Чарнко, В.П. Фираго, П.И. Ящерицын, А.А. Маталин, Э.В. Рьжов, В.И. Аверченков, Ю.Г. Шнейдер, А.М. Дальский и т.д.) и справочной литературе. Технологические возможности методов обработки в модели представлены в пределах от экономически целесообразного до техниче-

ски допустимого. Модель метода обработки содержит следующие данные:

обеспечивает(Метод,
 обрабатываются_материалы([LISTMAT]),
 обрабатываются_размеры_детали([длина(PIKDE,
 PIKDL),
 ширина(LAIDE,
 LAIDL),
 диаметр(LABDE,
 LABDL),
 глубина(KORDE,
 KORDL)]),
 обеспечиваются_параметры_поверхности(
 обозначение_поверхности(NX),
 типы_поверхности([LISTPT]),
 размеры([длина(PIKE,PIKL),
 ширина(LAIE,LAIL),
 диаметр(LABE,LABL),
 глубина(KORE,KORL)]),
 точность_размера(MOTAPE,MOTAPL),
 шероховатость([Rq(RAE,RAL),
 Rz(RZE,RZL),
 Rmax(RMAXE,RMAXL),
 Sm(SME,SML),
 S(SE,SL),
 Tp(TPE,TPL)]),
 волнистость([Wz(WZE,WZL),
 Wmax(WMAXE,WMAXL),
 Sw(SWE,SWL)]),
 наклеп([uh(ИНЕ,УНЛ),
 hh(ННЕ,ННЛ),
 игр(УГРЕ,УГРЛ)]),
 остаточные_напряжения(__(JAPIIE,JAPIIL),
 __(JAPIZE,JAPIZL),
 __(JAPIZE,JAPIZL))))

где,
[LISTMAT] - список материалов, обрабатываемых данным методом
 обработки;
PIKDE,LAIDE,LABDE,KORDE - минимально обрабатываемые габарит-
 ные размеры детали;

PIKDL, LAIDL, LABDL, KORDL - максимально обрабатываемые габаритные размеры детали;

NX - обозначение обрабатываемой поверхности;

[LISTPT] - список поверхностей обрабатываемых данным методом обработки;

PIKE, LAIE, LABE, ..., JAPI2E, JAPI3E - экономически целесообразные технологические параметры метода обработки;

PIKL, LAIL, LABL, ..., JAPI2L, JAPI3L - технически допустимые технологические параметры метода обработки;

База экспертных знаний универсальная, ее можно использовать для решения и других видов технологических задач, где требуются подобные знания.

Экспертная система использует исходными данными геометрическое, точностное и качественное описание детали по элементарно обрабатываемым поверхностям. Поверхность представляется в двух состояниях: начальном - это состояние заготовки и конечном - это состояние готовой детали. Исходные данные можно представить в диалоге или в виде модели.

Задача составления исходного множества методов обработки вызвана потребностью ограничить круг возможных альтернативных вариантов решения. Это значительно экономит время на поиск решений. Исходное множество методов обработки составляется исходя из технологических возможностей станков, имеющих, например, на гибком производственном участке механической обработки предприятия.

Выбор возможных и допустимых альтернативных последовательностей методов обработки проводится с целью устранить от дальнейшего точного (и довольно работоемкого) анализа все принципиально негодные методы обработки. Дальнейшему рассмотрению должны подвергаться только те методы обработки, которые обеспечивают заданную поверхность с требуемыми геометрическими, точностными и качественными параметрами. Для решения этой задачи разработана соответствующая система планирования (планировщик).

Работа планировщика основана на принципе генерирования технологических решений, т.е. система не имеет готовых ответов, а используя логические процедуры выбора, отбирает возможные и допустимые решения для поставленной задачи. При возможности генерируются альтернативные решения. Планировщик универсальный, он может решать задачи различных предметных областей. Только представленные знания об этой предметной области должны иметь форму "понятой" планировщиком.

Работа планировщика при выборе методов обработки начинается с конечного состояния поверхности $S_{дет}$, т.е. планируются альтернативные методы отделочной обработки. Для этого проверяется, может ли метод обработки M_0 (последовательно активизируются модели методов обработки) обеспечить геометрические, точностные параметры и физико-механические свойства поверхности готовой детали. Когда выясняется, что рассматриваемый метод отделочной обработки M_0 не в состоянии формировать конечное состояние поверхности $S_{дет}$, начиная с состояния заготовки $S_{заг}$ система ищет дополнительно метод более грубой обработки M_{0-1} . Для этого находится промежуточное состояние поверхности $S_{пр}$ (достигаемое с помощью метода M_0). При этом характеристики состояния $S_{пр}$ более грубые, чем у состояния $S_{дет}$. Промежуточное состояние поверхности $S_{пр}$ берется как исходное и процесс выбора повторяется. Выбор последовательных методов обработки продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто начальное состояние поверхности $S_{заг}$. Кроме того, проверяется совместимость последовательных методов обработки и учитывается явление технологической наследственности. Это обеспечивается использованием базы технологических правил, которые дополнительно ограничивают использование того или иного метода обработки совместно с другим методом или для обработки рассматриваемой поверхности вообще. Примером технологического правила является:

если Метод == шлифование,

то (после него) нет Метод = токарная или

то (после него) нет Метод = фрезерная.

Результатом работы планировщика является множество альтернативных последовательностей возможных и допустимых методов обработки описанной поверхности (поверхностей) детали:

$$\Omega_{M_i} = M_{0-n}, \dots, M_{0-1}, M_0,$$

где Ω_{M_i} - i последовательность методов обработки;
 M_{0-n} - метод грубой обработки;
 M_{0-1} - метод промежуточной обработки;
 M_0 - метод отделочной обработки.

Задачу оценки полученных альтернативных последовательностей методов обработки планируется разработать как подсистему ранжирования, где полученные последовательности методов обработки сравниваются по обобщенному критерию (вычисляемому для каждого отдельного случая). Обобщенный критерий содержит оценки по производительности, себестоимости и ожидаемой точности использования метода обработки.

Экспертный анализ эффективности внедрения новых прогрессивных методов обработки осуществляется путем использования технологических моделей, разработанных по экспертным оценкам использования этих методов обработки. При желании пользователя система активизирует эти модели. Результатом работы данной подсистемы являются данные о возможности использования рассматриваемых методов при обработке исходной поверхности и ожидаемого эффекта внедрения их.

Кроме вышеизложенного в системе реализована подсистема запросов. Имеются следующие виды запросов:

- помощи!, объясняется, как отвечать на вопросы, какими понятиями можно оперировать, а также можно сделать запросы через всю предметную область;
- как?, объясняется, как получен ответ;
- почему?, оправдывается действие системы.

Как показывает разработанная экспертная система, вышеизложенная методика позволяет довольно основательно автоматизировать человеческую деятельность при выборе методов обработки.

Л и т е р а т у р а

1. К а н н е л ь м я з Ю.Э. Оптимальный выбор методов отделочной обработки и оптимизация их параметров // Тр. Таллинск. политехн. ин-та. - 1984. - № 584.
2. А л е к с е е в а Е.Ю., С т е ф а н ю к В.Л. Экспертные системы - состояние и перспективы // Техническая кибернетика. - 1984. - № 5.

3. Michael sen R.H., Michie D., Boulanger A. The technology of expert systems // Byte, April 1985.

4. Hayes - Roth P. The knowledge-based expert system: A tutorial // Computer, September 1984.

5. Nau D.S. Expert computer systems // Computer, February 1983.

6. Теория выбора и принятия решений: Учебное пособие. - М.: Наука. 1982.

U. Kannelmäe

Expert System for Process Selection

Abstract

The purpose of the paper is to introduce an expert system for process selection. The expert system uses as input a representation of each machinable surface of the part given in drawings and consists of an expert knowledge base and a planner.

Knowledge is represented by structures of concepts used in process selection, models of the processes and technological rules.

The planner will proceed to the solution by eliminating the useless processes using the data from models of the processes and the constraints described in the input model of the machinable surfaces. To find out the sequences of the processes the planner has to generate a current state of the surface, take this state as a new input model and start the selection process from the beginning. In order to exclude the impossible sequences of the processes the technological rules are used.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

В настоящее время под экспертной системой (ЭС) понимают программу для ЭВМ или специализированное устройство, владеющее способностью накапливать и обобщать знания, имеющие эмпирический опыт высококвалифицированного специалиста (эксперта) в какой-либо проблемной области и способное работать советчиком при рядовом специалисте.

Активное внедрение таких экспертных систем в повседневную практику дает возможность решить важную социальную задачу - значительно повысить качество принимаемых решений. Основная идея ЭС для любой предметной области одинаковая - передать машине знания опытного специалиста для того, чтобы потом этими знаниями могли пользоваться другие.

Для обеспечения высокого уровня принимаемых решений идеальная ЭС должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) способность к накоплению знаний;
- 2) способность к выдаче рекомендаций;
- 3) способность к объяснению рекомендаций;
- 4) способность к автоматическому обобщению знаний;
- 5) способность к обучению на примерах.

В большинстве ЭС, существующих в настоящее время, реализованы три первых требования.

На рис. 1 приведена принципиальная схема ЭС.

Блок интерфейса с пользователем (блок ввода/вывода и/или процессор естественного языка) позволяет пользователю общаться с системой.

Блок логического вывода осуществляет поиск и объяснение решений, используя для этого знания из базы знаний и входные данные.

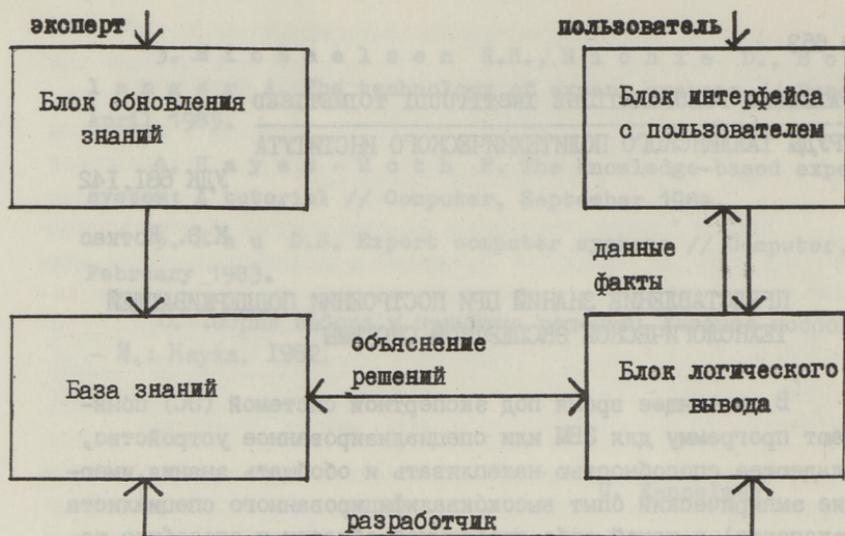


Рис. 1. Структура экспертной системы.

В базе знаний хранятся все знания системы: справочные и нормированные знания о предметной области, о себе. Основу этих знаний составляют извлеченные из экспертов и рафинированные знания.

Блок обновлений знаний необходимый в тех случаях, когда знания о проблемной области быстро меняются или возникает необходимость их оперативного обновления. В готовой системе этот блок может и отсутствовать. ЭС целесообразно создавать для такой предметной области, где отсутствуют формальные модели, или где их использование по каким-либо причинам не эффективно. Такой областью, где отсутствуют адекватные формальные модели, может служить проектирование технологических процессов.

В настоящее время на кафедре технологии машиностроения ТПИ разрабатывается поддерживающая технологическая экспертная система, предназначенная для проектирования технологического процесса механической обработки.

Средства для реализации технологической ЭС. При разработке этой ЭС используется язык логического программирования PROLOG. Этот язык хорошо подходит для построения ЭС, поскольку он владеет достаточной мощностью и гибкостью и имеет встроенную в него способность делать выводы. Это

большое преимущество, если занимаются проблемой, нуждающейся в большом количестве анализа.

Способ извлечения и представления знаний в системе.

При данной предметной области целесообразно извлечь знания в основном методом изучения литературы, в некоторых случаях методом интервьюирования опытного специалиста.

Все извлеченные знания, а также все понятия предметной области и справочные и нормированные знания будут храниться в базе знаний (БЗ). Реальным объектам и компонентам технологического процесса соответствуют в базе знаний понятия. Все основные понятия, как операция, станок, переход, инструмент, приспособление, вспомогательный инструмент и т.д. представлены в виде дерева, видо-родовых отношений (см. рис. 2). Исследование языка PROLOG позволяет представить эти понятия для БЗ логическими исчислениями.

В простейшем случае запись факта имеет вид:

$$P(x, y, z, \dots).$$

P - отношение;

x, y, z, ... - объекты, на которые оно задано.

Приведенная на рисунке 2 иерархия абстракции понятия "операция", представленная для БЗ логическим исчислением, имеет вид:

состоит_из(операция, [строгание,
фрезерование,
сверление,
точение,
шлифование,
расточивание]);

состоит_из(точение, [точение_на_многолезцовом_станке,
точение_на_универсальном_станке,
точение_на_автомате,
точение_на_револьверном_станке,
точение_на_карусельном_станке]),

состоит_из(точение_на_автомате, [точение_на_специализированном_автомате,
точение_на_одношпиндельном_автомате,
точение_на_многошпиндельном_автомате]);

и т.д.

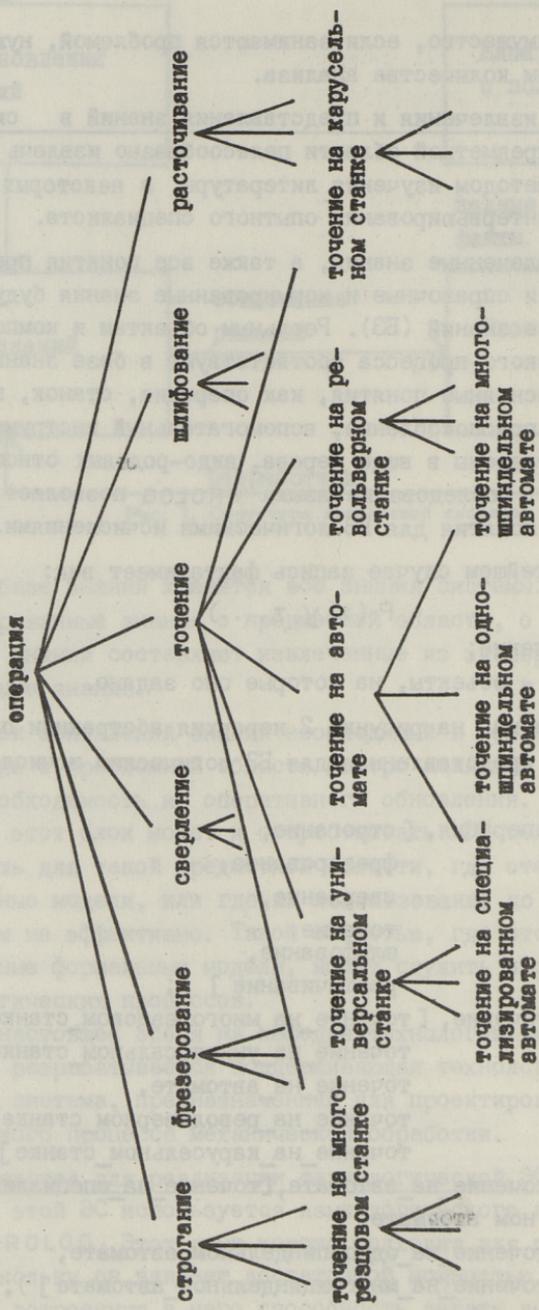


Рис. 2. Структура понятия "операция".

Такое представление системы понятий по уровням детализаций обеспечит базе данных системность, наглядность и удобность к добавлению знаний.

Важным компонентом БЗ являются знания о связях между конкретными понятиями в данной предметной области. Эти связи должны отражать степени абстракции в дереве видо-родовых отношений. На высших уровнях эти связи имеют обобщенный вид. Так, например, надо связать процесс проектирования операции с понятиями станок, переход, приспособление, норма времени и т.д. В данной ЭС это делается в декларативном виде:

связь (операция, переход, станок, приспособление, ...)

На низких уровнях связь представлена в виде аксиом:

связь (точение, токарный станок)

связь (сверлить, сверло)

связь (фрезерный станок, фрезеровать)

и т.д.

Причинно-следственные отношения между знаниями в БЗ представлены в виде продукционных правил.

Общая форма записи отношений:

ЕСЛИ <перечень условий> ТО <перечень действий> .

В такой интерпретации работа системы состоит в том, что левая часть (антецедент) оценивается по отношению к базе знаний, и, если эта оценка в определенном смысле соответствует логическому значению "истина", то выполняется действие, заданное в правой части (консеквенте) правила.

На множество правил задается отношение порядка, потому что просмотр правил при работе системы производится по порядку правил.

Пример представления отношений в виде продукционных правил:

Правило I.

Если

операция точение

и

станок входит в список [токарный_автомат, многорезцовый_токарный, токарно-револьверный, универсальный_токарный, карусельный_токарный]

и

переход сверление
то
инструмент сверло

Применение правил продукции как способа представления отношений дает БЗ мобильность. Это большое преимущество позволяет легко добавить или исключить отношения из БЗ. В каждом из отношений можно производить изменения, не затрачивая при этом содержимого других отношений.

Последним компонентом БЗ являются знания о конкретных объектах, участвующих в процессе производства изделий (режущий и вспомогательный инструмент, оборудование). При описании этих объектов заданы основные характеристики и код объекта. Например:

сверло (d8, l100, код).

Л и т е р а т у р а

И. М и к у л и ч Л.И. Проблемы создания экспертных систем. // Тр. Тартуского университета. - 1985. - № 714. - С. 87-115.

K. Kotkas

Presentation of Knowledge in an Expert System of Technology

Abstract

A short description of the theory of building expert systems and the presentation of knowledge for an expert system of technology is presented in this paper. The knowledge base of the expert system of technology includes four kinds of knowledge:

1. basic conceptions presented as trees of hierarchy of abstractions;
2. ties between basic conceptions;
3. production rules;
4. knowledge about real objects in the production process.

In describing knowledge a language of logical programming is used.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭВМ ПРИ РАСЧЕТЕ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ
РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Нормальная работа машины зависит от правильного взаимного положения деталей, их элементов, точности размеров. Размерные связи в изделии рассматриваются при расчетах, как ряд размерных цепей, имеющих последовательные параллельные и комбинированные связи.

Как ряд взаимосвязанных размерных цепей можно рассматривать изменяющиеся размерные связи при обработке деталей, например, изменение длины ступеней у вала по мере смены операций или переходов.

Взаимосвязанные размерные цепи встречаются при рассмотрении вопросов базирования при механической обработке, смене технологических баз, расчетах на точность.

Для решения плоских, взаимно связанных размерных цепей создана программа, которая имеет алгоритмы решения, как прямых, так и обратных задач методами полной и неполной взаимозаменяемости. Общая схема программы приведена на рис. 1.

Программа работает в диалоговом режиме. Исходные данные заносятся с пульта дисплея.

Всем звеньям анализируемых размерных цепей присваиваются номера, используемые в программе как метки. Например, три размерные цепи со звеньями A_1, A_2, A_3, A_Δ ; B_1, B_2, B_3, B_Δ и C_1, C_2, C_3, C_Δ имеют общие звенья A_Δ и B_2, A_3 и B_3, A_1 и C_1, B_1 и C_2 . Общим звеньям, независимо от того, в какую размерную цепь они входят, присваивается одна метка. Допустим, для звеньев A_Δ и $B_2 - 4$, для A_3 и $B_3 - 5$ и т.д.

Структурная схема программы расчета компенсирующих
звеньев

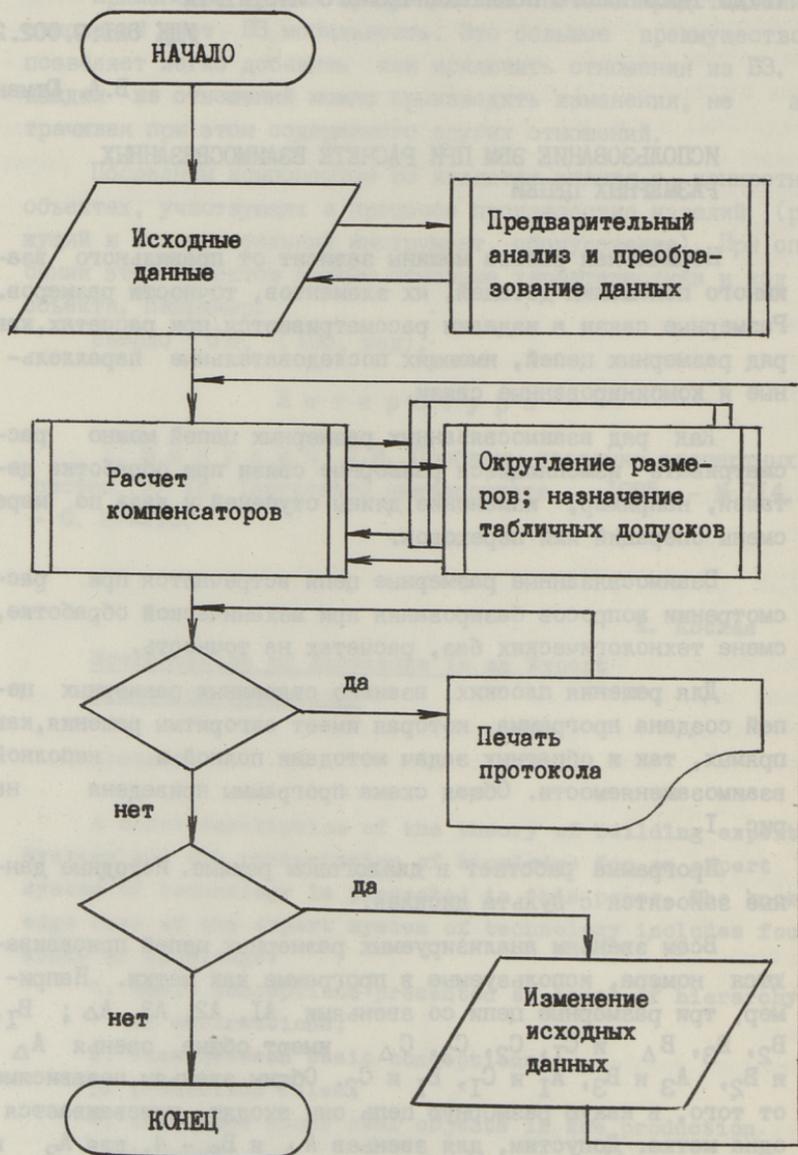


Рис. 1.

После соответствующего запроса, появляющегося на экране дисплея, метки общих звеньев заносятся в ЭВМ.

Каждая размерная цепь решается самостоятельно, после внесения необходимых данных о составляющих звеньях. Рассчитанные допуски округляются до табличных значений. Данные же об общих звеньях записываются в специальный массив и используются при расчете последующих цепей.

Программа написана на фортране. При ее составлении использована структура с перекрытиями, что позволяет в случае необходимости расширить или дополнить ее без изменения ранее разработанных частей.

V. Jutman

Benutzung der EDVA bei Berechnung der miteinanderverbundenen Ausmaßketten

Zusammenfassung

Es werden die möglichen Lösungen der miteinander verbundenen ebenen Ausmaßketten im Dialogregime beschrieben. Das Strukturschema des Berechnungsprogrammes ist dargelegt. Das Programm kann beim Lösen konstruktiver und technologischer Aufgaben benutzt werden. Es wird die Kurzbeschreibung der Arbeit mit diesem Programm gegeben.

РАСЧЕТ КОМПЕНСИРУЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ В ДИАЛОГОВОМ РЕЖИМЕ

Метод регулирования широко используется в машиностроении для достижения заданной точности замыкающего звена. Роль компенсатора выполняет специальное звено в виде прокладки, регулируемого упора, клина. Часто в качестве компенсатора используется набор сменных прокладок. Если размер компенсирующего звена достаточно велик, то вводится постоянное промежуточное звено или прокладка и набор сменных прокладок. Сменные прокладки могут быть равной толщины. В этом случае необходимую точность замыкающего звена получают соответствующим набором одинаковых прокладок. Есть варианты, когда сменные прокладки изготавливаются разных размеров через определенный шаг. Возможен смешанный вариант, т.е. сочетание прокладок постоянной и переменной толщины.

При расчете компенсирующего звена из набора прокладок необходимо установить их количество, толщину каждой прокладки, допуски на них.

В начальной стадии проектирования нет точного представления о размерах компенсирующего звена. Поэтому приходится определить предельные отклонения замыкающего звена и решать, каким методом осуществлять компенсацию возможных отклонений: методом регулирования, снятием дополнительного слоя металла или при помощи сменных прокладок.

Для ускорения процесса проектирования, а также контроля правильности назначенных компенсирующих элементов, разработана специальная программа, структурная схема которой приведена на рис. 1. Программа работает в диалоговом режиме. При ее разработке за основу был взят ГОСТ 16319-80. Данные расчета запрашиваются ЭВМ через дисплей.

Схема построения программы расчета взаимосвязанных размерных цепей

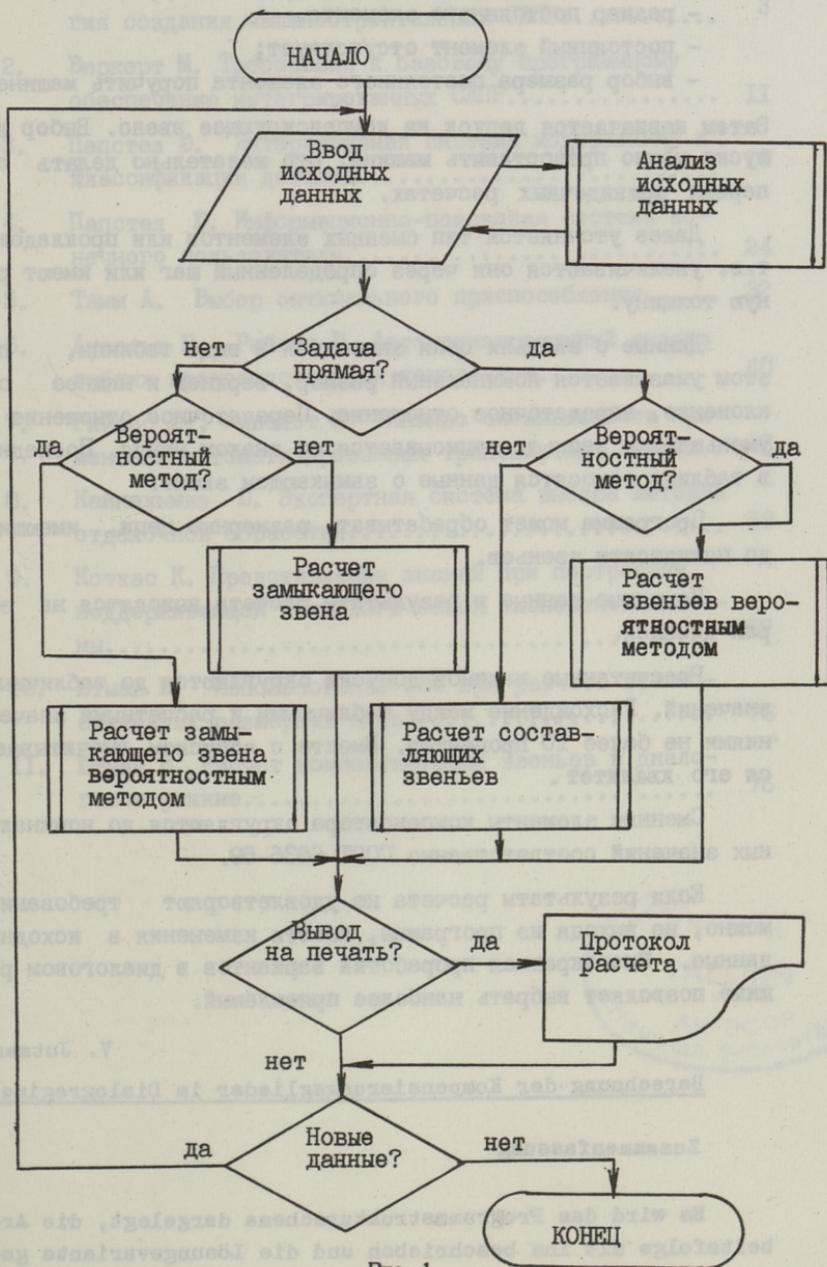


Рис. 1.

Первой задается толщина постоянного элемента компенсатора, при этом возможно задавать:

- размер постоянного элемента,
- постоянный элемент отсутствует;
- выбор размера постоянного элемента поручить машине.

Затем назначается допуск на компенсирующее звено. Выбор допуска можно предоставить машине. Это желательно делать при первых прикидочных расчетах.

Далее уточняется тип сменных элементов или прокладок, т.е. увеличиваются они через определенный шаг или имеют равную толщину.

Данные о звеньях цепи заносятся в виде таблицы, при этом указывается номинальный размер, верхнее и нижнее отклонение, передаточное отношение. Передаточное отношение уменьшающих звеньев записывается со знаком минус. Последними в таблицу заносятся данные о замыкающем звене.

Программа может обрабатывать размерные цепи, имеющие до пятидесяти звеньев.

Исходные данные и результаты расчета выводятся на экран дисплея.

Расчитанные машиной допуски округляются до табличных значений. Расхождение между табличными и расчетными значениями не более 10 процентов. Вместе с допуском высчитывается его качество.

Сменные элементы компенсатора округляются до номинальных значений соответственно ГОСТ 6636-69.

Если результаты расчета не удовлетворяют требованиям, можно, не выходя из программы, внести изменения в исходные данные. Многократная проработка вариантов в диалоговом режиме позволяет выбрать наиболее приемлемый.

V. Jutman

Berechnung der Kompensierungsglieder im Dialogregime

Zusammenfassung

Es wird das Programmstrukturschema dargelegt, die Arbeitsfolge mit ihm beschrieben und die Lösungsvariante gezeigt.

С о д е р ж а н и е

I.	Кюттнер Р. Инструментальные средства и технология создания машиностроительных САПР.....	3
2.	Вюркерт М. Требования к базовому программному обеспечению интегрированных САПР.....	II
3.	Папстел Ю. Интерактивная система кодирования и классификации деталей.....	19
4.	Папстел Ю. Информационно-поисковая система конечного пользователя.....	24
5.	Тамм А. Выбор оптимального приспособления.....	32
6.	Анвельт Ю., Рийвес Ю. Автоматизированный анализ гибких производственных комплексов.....	40
7.	Рийвес Ю., Анвельт Ю. Анализ оптимальности применения автоматизированных транспортных систем..	48
8.	Каннельмяэ Ю. Экспертная система выбора методов отделочной обработки.....	59
9.	Коткас К. Представление знаний при построении поддерживающей технологической экспертной системы.....	67
10.	Ютман В. Использование ЭВМ при расчете взаимосвязанных размерных цепей.....	73
II.	Ютман В. Расчет компенсирующих звеньев в диалоговом режиме.....	76



EESTI AKADEEMILINE RAAMATUKOGU



1 0200 00082402 3

Цена 80 коп.