

ГИБКОЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОИЗВОДСТВО (ГАП) МИКРОСБОРОК (МСБ)

А. А. Глушенко, В. М. Курейчик и Д. А. Сеченов

Таганрогский Радиотехнический Институт
имени В. Д. Калмыкова

Поступило 2. VI. 1987 г.

Представлено проф. д-р. А. Амбрози

Abstract

In our days the most important task of technologists consists in elastic automatization of manufacturing processes. Within its frame, preparation of manufacture, the principles and methods of designing technological processes will change significantly, together with the degree of detailing the elaboration of technological decisions.

Since in the case of automated design the quality of decisions connected with the planned technology—particularly in the case of elastic manufacturing systems—must satisfy great demands, the practice of optimization of technological processes must be developed.

The paper deals with some approaches to such optimization.

Важнейшей задачей, стоящей в настоящее время перед технологами, является создание гибкого автоматизированного производства — ГАП (СІМ), предусматривающего возможность оперативной перестройки технологического оборудования при изменении номенклатуры выпускаемых изделий. Для микросборок (МСБ) эта проблема особенно актуальна, так как МСБ имеют широкую номенклатуру при малых сериях.

На Рис. 1 приведена упрощенная структура ГАП. В рамках ГАП происходит интеграция отдельных автоматизированных систем (АС) (АСНИ — автоматизированная система научных исследований, САПР — интегрированная система автоматизированного проектирования, АСТПП — автоматизированная система технологической подготовки производства, один или несколько ГПК — гибких производственных комплексов, АСУТП — автоматизированная система управления технологических процессов (ТП), АСУП — автоматизированная система управления производством, АСКИО — АС контроля и испытаний объекта) в единую систему, приводящую к качественному скачку в характере производства (производительность, гибкость). В настоящее время интеграция представляет собой объединение в единую систему этапов исследования, проектирования и производства изделий, в то время как комплексная автоматизация охватывала только производство

или проектирование. Эффективность обособленных мероприятий по САПР, АСУТП и т. д. оказывается значительно ниже прогнозируемых значений в то время как эффективность интегрированных систем автоматизации поднимается на новый уровень за счет общей, а не частной оптимизации. Нельзя не учитывать и тот факт, что ГАП — новый уровень производительных сил, играющий стратегическую роль в соперничестве различных стран в экономической области.

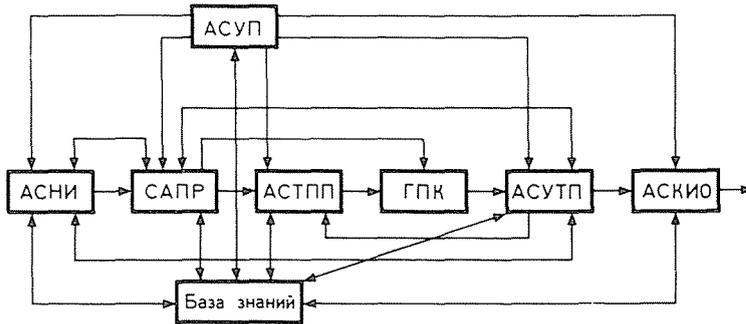


Рис.

Тенденция снижения серийности МСБ сохраняется, растет их разнообразие, сокращаются сроки проектирования и изготовления, растет доля единичного производства. Все это приводит к требованию увеличения гибкости ГАП. Она обеспечивается гибкостью технологического оборудования (ГПК), САПР, роботов — манипуляторов, транспорта, складских устройств, АСУ и т. д. Следует различать базовую гибкость в рамках базовых изделий и технологии и гибкость (назовем ее динамической) при смене технологии или семейства объектов производства. Гибкость обеспечивается за счет переналадки отдельных элементов ГАП без перестройки; частичной перестройки; перестройки с добавлением (или заменой) нового типа оборудования, математического и программного обеспечения. Скорость перестройки ГАП на изготовление нового изделия в значительной мере зависит от уровня автоматизации проектирования и степени интеграции АСНИ, САПР, АСТПП, АСУ. Исходным источником информации для других автоматизированных систем является АСТПП. Это и определяет первоочередность разработки АСТПП и САПРТП в рамках гибкого производства и повышение требований к САПРТП по гибкости, универсальности по сравнению с другими системами. В рамках ГАП технологическая подготовка производства (ТПП), принцип и методы проектирования ТП в значительной степени изменяются. Изменяется степень детализации

проработки технологических решений. Проектирование ТП резко усложняется в связи с возрастающими требованиями к качеству проектных решений.

Существует необходимость ускорения процесса разработки теории формализации ТП производства МСБ, РЭА. Эта необходимость обусловлена переходом к автоматизированному проектированию (АП) в рамках САПРТП, ГАП и сильной зависимостью гибкости, степени адаптации АС от уровня формализации, абстракции объекта проектирования — ТП. Другим важным требованием гибкого производства является разработка новой интегральной технологии МСБ. Интегральная технология предполагает совмещение во времени и пространстве технологических операций с использованием программно перестраиваемого технологического оборудования, состоящего из унифицированных блоков. Создаваемая технология МСБ должна удовлетворять требованиям всех АС, элементов ГАП. Необходима разработка системы критериев, оценивающих степень соответствия ТП этим требованиям на основании принципов системного анализа (принципы Эшби, пороговости и т. д.). Проблема сводится к задаче многокритериальной оптимизации

$$Q = f(\psi, \varphi, K, \dots, N), \quad \text{где} \quad (1)$$

$\psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n\}$ — показатели интеграции,

$\varphi = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n\}$ — показатели соответствия системе управления, САПР и т. д.

Следующей важной проблемой создания отдельных АС и всего ГАП является разработка имитационных моделей гибких систем различного производственного назначения для их изучения, прогноза и оптимизации. Поскольку имитационное моделирование перспективно для использования в различных элементах ГАП (АСНИ, САПР, АСУТП и т. д.), особое значение приобретает задача создания универсальной автоматизированной имитационной системы (АИС) с перестраиваемой архитектурой [1], которая могла бы использоваться для решения задач на этапах создания и эксплуатации ГАП, САПР и т. д.

В настоящее время перестройка оборудования и отработка режимов технологических процессов производится путем натуральных экспериментов, занимающих много времени. Это определяет актуальность использования САПР ТП на основе АИС, что позволяет заменить натурные эксперименты экспериментами на имитационных моделях, реализуемых на ЭВМ. При этом существуют значительные трудности в использовании формализованных описаний ТП — математических моделей. Высокая сложность ТП порождает сложность их формального

описания. Вследствие недостаточной изученности физико-химических основ ТП производства МСБ возникают трудности, связанные с аналитическим описанием ТП. Преодоление этих трудностей авторы видят в использовании математического аппарата теории сложных систем. В этом случае многооперационный ТП представляется в виде сложной системы взаимодействующих элементов. В качестве элементов ТП могут приниматься переходы, технологические операции, группы операций и т. д. Связь каждого элемента с другими элементами и внешней средой осуществляется посредством входных \vec{X} , выходных \vec{Y} и управляющих \vec{W} параметров. Формально элемент ТП задается оператором преобразования

$$\vec{X} \times \vec{W} \Rightarrow \vec{Y} \quad (2)$$

Рассматривая процесс проектирования (ТП) МСБ как процесс принятия решений, можно выделить два подхода к решению задач проектирования. Первый подход основан на моделировании объекта проектирования — технологического процесса производства МСБ. Существенными этапами реализации данного подхода являются разработка модели ТП, реализация модели на ЭВМ, анализ поведения технологического процесса путем анализа модели (теоретического и численного), структурный и параметрический синтез ТП — обычно на основе поисковой оптимизации структуры и параметров модели. Достоинством данного подхода является принципиальная возможность получения проектного решения с заданной точностью, а также обоснованность всех этапов проектирования. Недостатком является трудность разработки математических моделей, адекватно описывающих современные технологические процессы производства МСБ.

Второй подход заключается в моделировании деятельности проектировщика. В основе его лежит тот факт, что опытный технолог может проектировать технологический процесс на основании своего опыта и интуиции, не обращаясь к математической модели. Задачей разработчика САПР с использованием данного подхода является обучение ЭВМ тому, что знает опытный технолог. Математической базой данного подхода могут служить методы искусственного интеллекта, теория обучающихся автоматов, нечеткая логика, ситуационное моделирование. Достоинством данного подхода является возможность работы при отсутствии модели технологического процесса. Недостаток данного подхода заключается в принципиальной невозможности принимать более качественные решения, чем опытный технолог.

В качестве примера моделирования деятельности технолога рассмотрим математическую модель формализации проектных решений и основанный на ее использовании нечеткий интерактивный алгоритм,

позволяющий производить моделирование и проектирование технологического оборудования. При проектировании и моделировании технологического оборудования традиционная формальная постановка задачи в виде оптимизации целевой функции по конструктивным параметрам оборудования в условиях ограничений является малоэффективной ввиду многокритериальности, многофакторности и сходимости решения по большинству факторов к заданным ограничениям. Предлагаемый алгоритм проектирования технологического оборудования основан на многокритериальной оценке различных вариантов оборудования и определении путей улучшения вариантов в режиме диалога человека с ЭВМ. Представим требования к технологическому оборудованию в виде n условий:

$$f_i(a_i)b_iF_i, \quad i = 1, \dots, \dots n, \quad (3)$$

где $\vec{a}_i \subset \vec{A}_i$,

\vec{A} — вектор конструктивных параметров оборудования;

b_i — нечеткое бинарное отношение;

F_i — нечеткая цель.

Пусть функция принадлежности μ_i отражает степень выполнения бинарного отношения b_i и изменяется в диапазоне $0 \leq \mu_i \leq 1$. Установим взаимно однозначное соответствие между диапазонами изменения величины μ_i и совокупностью Q_i элементарных действий q по модернизации технологического оборудования, ведущих к увеличению μ_i

$$\begin{aligned} \forall e \in \{1, \dots, n\}, \quad \mu_i = 1 \rightarrow Q_i \sim 1 \\ \mu_{i1} \leq \mu_i < 1 \rightarrow Q_i \sim \bigvee_{j=1}^{\tau_i} q_{ji1}, \quad (4) \\ 0 \leq \mu_i \leq \mu_{i(m-1)} \rightarrow Q_i \sim \bigvee_{j=1}^{\tau_i} q_{ji(m-1)} \end{aligned}$$

где $1 > \mu_1 > \mu_2 \dots > \mu_{m-1} > 0$

$$\forall y_i: \bigvee_{j=1}^{\tau_i} q_{ij e} \sim q_{1ie} \vee q_{2ie} \vee \dots \vee q_{jie}.$$

Для эффективной работы оборудования необходимо выполнить ограничения (3) одновременно для всех Q_i :

$$Q_i \sim \bigwedge_{i=1}^n Q_i. \quad (5)$$

Представление выражения (5) с учетом (4), (3) в дизъюнктивной форме является формальным перечислением различных вариантов выбора и модернизации технологического оборудования. Алгоритм проектирова-

ния технологического оборудования основан на использовании рассмотренных преобразований и заключается в следующем.

1. Ввод в ЭВМ требований к оборудованию (3) и логических выражений (4).

2. Ввод в ЭВМ данных о конструктивных параметрах оборудования.

3. Получение логического выражения для Q и приведение его к дизъюнктивной форме.

4. Оценка степени выполнения условий (производится по величине

$$\mu = \bigwedge_{i=1}^n \mu_i).$$

5. Вывод из ЭВМ на экран дисплея предложений о пути модернизации оборудования в соответствии с полученным логическим выражением.

6. Принятие решения о характере модернизации оборудования в соответствии с рекомендациями ЭВМ (выполняется проектировщиком).

7. Переход к п. 3.

Окончание работы алгоритма производится в случае достаточной близости μ к единице, либо в случае, когда действия по модернизации оборудования не приводят к заметному увеличению μ .

Процесс проектирования технологических процессов производства МСБ с использованием современных САПР должен основываться на следующих принципах:

— Принцип многоуровневости — предполагает представление ТП в виде иерархической структуры, включающей в себя этапы проектирования принципиальной схемы ТП, маршрутов, технологических операций, управляющих программ для роботов, управляющих ЭВМ и технологических модулей. Первый уровень имеет наибольшую степень абстракции; для него характерно определение лишь некоторых принципиальных особенностей процесса. На первых двух уровнях проектирования целесообразно использовать подход, заключающийся в моделировании деятельности проектанта. Решения, полученные на каждом уровне, являются исходными данными для следующих уровней; при этом происходит все большая детализация ТП и на двух последних уровнях уже появляется необходимость в разработке достаточно сложных математических моделей технологических операций и элементов ТП;

— принцип неокончателности решений заключается в том, что на каждом этапе принимается не одно, а несколько приемлемых решений. Окончательный вариант ТП уточняется на последующих уровнях;

— принцип итерационности предполагает возможность возврата от каждого этапа проектирования к любому предыдущему. Это обуслав-

ливают необходимость использования на первых шагах простых и экономичных моделей;

— принцип диалога проектанта с ЭВМ (согласно этому принципу каждый этап проектирования может быть осуществлен как ЭВМ в автоматическом режиме, так и непосредственно человеком, т. е. ЭВМ выступает в роли советчика, а право принятия окончательного решения остается за человеком);

— принцип возможности пополнения базы данных САПР ТП вновь спроектированными вариантами ТП;

— использование как отдельно восходящего и нисходящего проектирования, так и наиболее перспективного подхода с совместным использованием восходящего и нисходящего проектирования.

При построении программного обеспечения САПР ТП используются три метода проектирования: метод типовых и групповых (унифицированных) ТП, метод преобразования аналога и многоуровневый итерационный метод [2]. Метод унифицированных технологических процессов (УНТП) основан на использовании типовых и групповых технологий, к которым можно отнести ТП коммутационных плат, полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, производство пассивной части МСБ. При этом последовательность технологических операций (маршрут), как правило, отработана заранее и процесс проектирования заключается, в лучшем случае, в уточнении некоторых технологических режимов и материалов. Метод преобразования аналога заключается в поиске в базе данных процесса-аналога и его изменении путем устранения или добавления отдельных операций. В случае многоуровневого итерационного метода проектирование расчленяется на совокупность проектных операций, итерационно взаимосвязанных между собой и осуществляющих поиск решений-аналогов, преобразование процессов-аналогов, синтез различных вариантов технологии, имитационное моделирование ТП, анализ и оценка результатов моделирования, оптимизация и отбор наиболее рациональных вариантов.

Вследствие высокой сложности формализации ТП современные САПР решают лишь задачи автоматизированного проектирования технологической документации, возлагая проектные работы на технолога. Это определяет актуальность создания САПР ТП с перестраиваемой архитектурой, дающей в условиях гибкого производства возможность оперативной перестройки оборудования при изменении номенклатуры выпускаемых изделий. Гибкость САПР ТП обеспечивается рациональным распределением функций между АСНИ, интегрированной САПР и АСУ ТП; перестраиваемостью архитектуры системы; возможностью решения проектных задач на различном уровне сложности и точности.

Система автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) МСБ представляет собой одну из подсистем интегрированной САПР с перестраиваемой архитектурой. Назначение системы — проектирование технологических процессов (ТП), обеспечивающих заданные значения конструктивных (\vec{X}_k , \vec{Y}_k) и эксплуатационных (\vec{Y}_k) параметров проектируемых изделий. Задачи САПР ТП — разработка структурной схемы ТП; проектирование технологических маршрутов; расчет оптимальных режимов ТП; выдача рекомендаций по возможному изменению некоторых конструктивных параметров (\vec{x}_k); выпуск технологической документации; разработка управляющих программ для технологических модулей ГАП. Исходной информацией для САПР ТП являются заданные в ТЗ значения эксплуатационных параметров проектируемых МСБ; значения конструктивных технологически управляемых (\vec{Y}_k) и неуправляемых (\vec{x}_k) параметров, поступающих на вход системы САПР конструирования; данные об унифицированных технологических процессах и операциях, оснастке, оборудовании и материалах, хранящиеся в базе данных системы.

Прикладное программное обеспечение САПР ТП состоит из подсистем: имитационного моделирования ТП, анализа ТП, синтеза ТП, преобразования входной информации, базы данных, а также монитору-управляющей программы, координирующей работу системы (рис. 2). Подсистема имитационного моделирования (ИМ) [3]. Использование ИМ обусловлено требованием точной и достоверной оценки характеристик ТП с целью выбора оптимальных параметров. Среди задач, решаемых с помощью ИМ — определение поведения технологических процессов в различных условиях, определение взаимосвязей ТП, прогнозирование технологии, синтез ТП, структурная и параметрическая оптимизация ТП и т. д. В состав АИС входят подсистемы: библиотека типовых моделирующих модулей; подсистема производственных погрешностей; подсистема преобразования входной информации; подсистема статистического анализа; монитор.

Библиотека типовых моделирующих модулей содержит набор программ, соответствующих различным типовым способом задания операторов (2): в виде степенных полиномов, экспоненциальных рядов, систем линейных уравнений, таблиц и графиков (с вычислением значений функций методами линейной интерполяции) и т. д. Типовые модули настраиваются на моделирование элементов путем задания необходимых констант. В случае если ни один из типовых модулей не является удобным для моделирования элемента, предусмотрена возможность задания оператора в виде подпрограммы. Модуль моделирования производственных погрешностей включает в себя программы генерации псевдослучайных чисел с различными типовыми законами

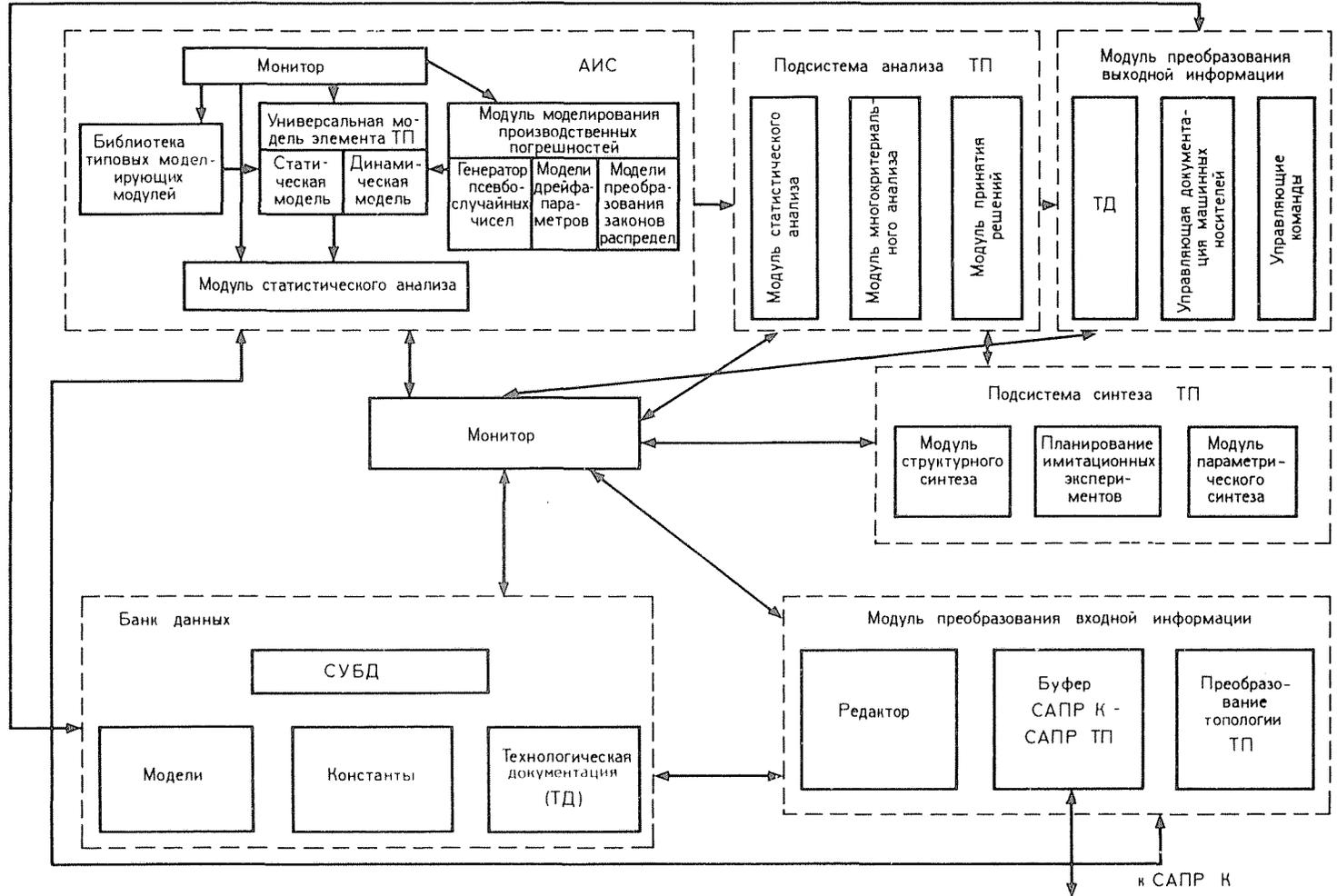


Рис. 2

распределения, а также программы моделирования медленного дрейфа параметров и преобразования законов распределения. Информация о сопряжении элементов ТП задается многоуровневой схемой сопряжения в каноническом виде. Модуль преобразования схемы сопряжения элементов осуществляет преобразование многоуровневой схемы сопряжения в одноуровневую и т. д. Модуль «Универсальная модель элемента ТП» состоит из двух программных модулей: статической и динамической моделей элемента. Модуль «статическая модель элемента» предназначен для моделирования элементов, входные, выходные и управляющие параметры которых не зависят от времени. Моделирование элемента осуществляется путем вызова соответствующей программы из библиотеки типовых моделирующих модулей и настройки параметров на моделируемый элемент. Модуль «Динамическая модель элемента» предназначен для моделирования динамических систем с дискретным вмешательством случая, описываемых системами обыкновенных дифференциальных уравнений. При построении структурной схемы ТП исходная система уравнений преобразуется к системе уравнений первого порядка, каждое уравнение которой считается элементом ТП. Моделирование динамических элементов ТП производится в дискретном времени, квантованном с шагом Δt .

Монитор осуществляет координацию работы всех модулей: вызов необходимых типовых моделирующих моделей, настройку универсальной модели элемента ТП, обмен сигналами между элементами, синхронизация процесса моделирования элементов. В соответствии с формализованным заданием, АИС настраивается на реальный технологический процесс путем настройки типовых моделирующих модулей на моделирование элементов технологического процесса и осуществления связей между модулями посредством ЭВМ.

Подсистема анализа ТП предназначена для анализа результатов имитационного моделирования. В ее состав входят — модуль статистического анализа, осуществляющий расчет моментных характеристик выходных параметров ТП, вероятности выхода годных изделий, коэффициентов корреляции между параметрами ТП, коэффициентов влияния различных факторов на выходные параметры; анализ вида закона распределения выходных параметров ТП; построение гистограмм; модуль многокритериального анализа, позволяющий осуществить переход от нескольких критериев оптимизации к обобщенному критерию, либо определить стратегию последовательного анализа по каждому из критериев; модуль принятия решений, устанавливающий соответствие или несоответствие анализируемого процесса ТЗ и принимающий решение о дальнейшей стратегии проектирования.

Подсистема синтеза ТП позволяет проектировать единичные технологические процессы в случае, если унифицированные процессы, записанные в базе данных, не удовлетворяют требованиям ТЗ. Подсистема состоит из модулей:

— структурного синтеза (модуль, в котором осуществляется синтез структурных схем ТП, технологических маршрутов, выбор оборудования, оснастки и материалов);

— параметрического синтеза (модуль, состоящий из ряда программ поиска локальных и глобального экстремумов функции и предназначенного для оптимизации режимов технологического процесса);

— модуля планирования имитационных экспериментов, включающего в себя программы аппроксимации модели удобными типовыми математическими выражениями; программы определения стратегий поиска оптимума и определения необходимого объема выборки; программ отсеивающих экспериментов; программы генерации псевдослучайных чисел, использующие методы понижения дисперсии оценки (МПД).

Подсистема преобразования входной информации предназначена для осуществления связи по данным системы с другими подсистемами интегрированной САПР, с базой данных, а также для обеспечения возможности ввода в систему задания на проектирование в различной форме. В подсистему входят следующие программные модули — модуль стыковки по данным с САПР К; модуль преобразования технологических схем ТП, осуществляющий преобразование многоуровневой схемы попряжения заданного вида к виду, используемому при работе управляющей программы; редактор входной информации.

База данных (БД) предназначена для хранения данных об унифицированных ТП, операциях, оборудовании, оснастке, материалах и состоит из трех разделов: модели, константы и технологическая документация. Заполнение БД при разработке САПР ТП и ее пополнение при эксплуатации САПР ТП осуществляется на основе данных автоматизированных систем научных исследований (АСНИ), автоматизированных систем производственных исследований (АСПИ), а так же справочников, научных статей и т. д. Координация работы подсистемы осуществляется системой управления базой данных (СУБД).

Высокие требования к качеству принимаемых проектных технологических решений при автоматизированном проектировании, особенно в условиях ГАП, приводят к необходимости разработки инженерной методики оптимизации технологических процессов. Решение данной задачи затрудняется отсутствием теории синтеза (оптимизации) сложных систем. Рассмотрим некоторые подходы при решении проблем оптимизации.

При оптимизации технологических процессов (ТП) производства МСБ весь технологический процесс можно разложить на группы операций (технологических цепочек) жестко связанных между собой и оптимизировать эти группы операций отдельно. При оптимизации следует применять тот математический аппарат, который наиболее просто и вместе с тем с достаточной полнотой может охватить, причинные связи, выражаемые математическими формулами, или логическими алгоритмами. Для оптимизации многостадийных технологических процессов на наш взгляд наиболее предпочтительным являются два подхода:

1. Метод динамического программирования;
2. Дискретный принцип максимума (ДПМ) [4].

Рассмотрим многостадийный ТП производства МСБ, который упрощенно может быть представлен в виде ряда последовательных операций (рис. 3).

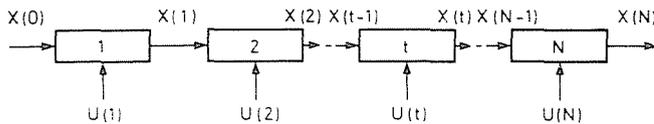


Рис. 3

Состояние каждой ступени при каждом t характеризуется вектором состояния $x(t) \in X$ и управляющим вектором $u(t) \in U$. Предполагается, что уравнение преобразования состояния имеет вид

$$x(t) = f[x(t-1), U(t)], \quad (6)$$

Рассмотрим использование дискретного принципа максимума (ДПМ). При решении задачи оптимизации требуется найти такие управляющие векторы $U(t)$, $t = \overline{1, N}$, которые обеспечивали бы \min (\max) целевой функции, часто имеющей следующий вид

$$Q = \Phi(x(N)) \quad (7)$$

Более общий вид целевой функции

$$Q = \Phi(x(N)) + \sum_{t=1}^N \varphi_t(x(t-1), U(t)) \quad (8)$$

Формирование базы данных САПР ТП в рамках ГАП осуществляется с помощью АСНИ или АСПИ (АС производственных исследований — эксперимента) [1]. Следует ожидать, что в первую очередь будут внедрены системы типа АСПИ. Поэтому модели элементов ТП часто имеют вид уравнений регрессионного типа, сплайнов.

Рассмотрим уравнение преобразования (2) в форме

$$\begin{aligned} x_1(\kappa) &\equiv f_1(x(\kappa-1), U(\kappa)) = a_{11}x_1(\kappa-1) + a_{12}x_2(\kappa-1) + \\ &\quad + C_{11}U_1^2(\kappa) + C_{12}U_2^2(\kappa) + d_{11}U_1(\kappa) + d_{12}U_2(\kappa) + d_{11}, \\ x_2(\kappa) &\equiv f_2(x(\kappa-1), U(\kappa)) = a_{21}x_1(\kappa-1) + d_{22}x_2(\kappa-1) + \\ &\quad + C_{21}U_1^2(\kappa) + C_{22}U_2^2(\kappa) + d_{21}U_1(\kappa) + d_{21}U_1(\kappa) + \\ &\quad + d_{22}U_2(\kappa) + d_{22}. \end{aligned} \tag{9}$$

Здесь $x(\kappa) = (x_1(\kappa), x_2(\kappa))$ — двумерный вектор, характеризующий K -ю ступень процесса; $U(\kappa) = (U_1(\kappa), U_2(\kappa))$ — двумерный вектор управления K -й ступени.

При начальных условиях

$$x(0) = \gamma_0 = \{x_{10}, x_{20}\} \tag{10}$$

требуется максимизировать функцию

$$Q = \Phi(x(N)) = dx_1(N) + \beta x_1(N). \tag{11}$$

Введем двумерный сопряженный вектор $Z(\kappa) = \{Z_1(\kappa_1), Z_2(\kappa_2)\}$. Затем сторим функцию Гамильтона $H(K)$

$$\begin{aligned} H(\kappa) &= (Z(\kappa), X(\kappa)) = Z_1(\kappa) \cdot x_1(\kappa) + Z_2(\kappa) \cdot x_2(\kappa) = \\ &= (Z_1(\kappa)f_1(\cdot) + Z_2(\kappa) \cdot f_2(\cdot)). \end{aligned} \tag{12}$$

Сопряженный вектор выражается через $H(K)$

$$\begin{aligned} Z_1(\kappa-1) &= a_{11}Z_1(\kappa) \\ Z_2(\kappa-1) &= a_{22}Z_2(\kappa) \end{aligned} \quad \text{и} \quad \begin{cases} Z_1(N) = \alpha \\ Z_2(N) = \beta \end{cases} \tag{13}$$

Используя рекурентные соотношения (13) для $\kappa = \overline{1, N}$, получим

$$Z_1(N-1), Z_2(N-1), \dots, Z_1(\kappa), Z_2(\kappa), \dots, Z_1(0), Z_2(0),$$

именно

$$\begin{cases} Z_1(\kappa) = \alpha a_{11}^k & \dots & Z_1(0) = \alpha \cdot a_{11}^N \\ Z_2(\kappa) = \beta a_{22}^k & \dots & Z_2(0) = \beta \cdot a_{22}^N \end{cases} \tag{13a}$$

Из условия экстремума (11) получим

$$\begin{aligned} \frac{\gamma H(\kappa)}{\gamma U_1(\kappa)} = 0 &= Z_1(\kappa)[2C_{11}U_1(\kappa) + d_{11}] + \\ &\quad + Z_2(\kappa)(2C_{21}U_1(\kappa) + d_{21}), \end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned} \frac{\gamma H(\kappa)}{\gamma U_2(\kappa)} = 0 &= Z_1(\kappa)[2C_{12}U_2(\kappa) + d_{12}] + \\ &\quad + Z_2(\kappa)(2C_{22}U_2(\kappa) + d_{22}). \end{aligned}$$

Учитывая (13а) паходим

$$\begin{aligned}
 U_1(K) &= - \frac{\alpha \cdot d_{11} \cdot a_{11}^{N-K} + \beta \cdot d_{21} \cdot a_{22}^{N-K}}{2\alpha \cdot C_{11} \cdot a_{11}^{N-K} + 2C_{21} \cdot a_{22}^{N-K}}; \\
 U_2(K) &= - \frac{\alpha \cdot d_{12} \cdot a_{11}^{N-K} + \beta \cdot d_{22} \cdot a_{22}^{N-K}}{2\alpha \cdot C_{12} \cdot a_{11}^{N-K} + 2\beta \cdot C_{22} \cdot a_{22}^{N-K}}, \quad (15)
 \end{aligned}$$

где $K = 1, 2 \dots N$.

Из формулы (9), используя (15), находим $x(1), x(2), \dots, x(N)$. Получив $x(N) = (x_1(N), x_2(N))$, используя (11), находим $\max \Phi(x(N))$.

Существенным недостатком ДПМ является то, что условия оптимальности для технологических процессов в общем случае имеют лишь локальный характер. Однако ДПМ может быть использован и тогда, когда целевая функция не аддитивна. Следует отметить перспективность использования ДПМ при наличии автоматизированной системы производственных исследований, а также совместное использование ДПМ с динамическим программированием.

В заключении авторы хотели бы подчеркнуть основные проблемы создания ГАП МСБ:

- разработка интегральной технологии;
- разработка теории и принципов построения САПР с перестраиваемой архитектурой;
- создание теории формализации объекта проектирования технологического процесса;
- синтез и оптимизация многостадийных технологических процессов;
- разработка АИС для ГАП.

Резюме

Важнейшей задачей, стоящей в настоящее время перед технологами, является создание гибкого автоматизированного производства — ГАП. В рамках ГАП технологическая подготовка производства (ТПП), принцип и методы проектирования ТП в значительной степени изменяются. Изменяется степень детализации проработки технологических решений.

Высокие требования к качеству принимаемых проектных технологических решений при автоматизированном проектировании, особенно в условиях ГАП, приводят к необходимости разработки инженерной методики оптимизации технологических процессов. Рассмотрим некоторые подходы при решении проблем оптимизации.

Литература

1. Глушенко, А. А., Иванцов, В. В., Курейчик, В. М.: Имитационное моделирование технологии производства радиоаппаратуры. — В кн.: XXXIX Всесоюзная научная сессия, посвященная Дню радио. — М., 1984.
2. Цветков, В. Д.: Методы автоматизации проектирования технологических процессов. — В кн.: ЭВМ в проектировании и производстве. Л., 1983.
3. Глушенко, А. А., Иванцов, В. В., Курейчик, В. М.: Принципы автоматизированного проектирования гибкой технологии в условиях интегрированных производственных систем. — В Кн.: X Всесоюзная научная сессия, посвященная Дню радио. — М., 1985.
4. Пропой, А. М.: Элементы теории оптимальных дискретных процессов. М., 1973 г.

Александр Алексеевич ГЛУШЕНКО
Виктор Михайлович КУРЕЙЧИК
Д. А. СЕЧЕНОВ

Таганрогский Радиотехнический
Институт имени В. Д. Калмыкова
347915 Таганрог, Ростовская
область, ул. Чехова 22.