ИНФОРМАТИКА

УДК 681.5.01 388.24 658.512

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО И СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА И СИНТЕЗА

канд. техн. наук, доц. В.В. КОРЕШКОВ
(Госстандарт Республики Беларусь, Минск);
д-р техн. наук, проф. М.Л. ХЕЙФЕЦ, Т.А. АЛЕКСЕЕВА, А.К. ЛЯХОВИЧ
(Полоцкий государственный университет)

Показано, что технология автоматизированного проектирования систем управления динамическими объектами на основе использования структурного анализа заключается в выполнении последовательности этапов: определение класса задач, подлежащих решению; разработка программных модулей; моделирование динамических объектов; расчёт конкретных параметров модели; анализ результатов моделирования; принятие решения о применяемости разработанной модели. Отмечено, что использование сочетания статистического и структурного анализа обеспечивает моделирование и управление многофакторных технологических операций по комплексу параметров, определяет и оптимизирует факторы, через которые осуществляется процесс управления и указывает параметры, которые следует контролировать в режиме реального времени.

Введение. Технология автоматизированного проектирования технологических процессов (ТП), предназначена для разработки алгоритмов функционирования цифровых систем управления и исследования динамики ТП, с целью реализации отдельных ТП или целых их классов с заданными качественными, точностными и экономическими характеристиками при использовании рассматриваемых технических средств без натурного моделирования [1, 2].

Важнейшей функцией технологии автоматизированного проектирования является формирование рекомендаций или требований либо к отдельным элементам системы «заготовка – инструмент – приспособление – станок» (ЗИПС) при проектировании новых ТП на существующих технических средствах, либо ко всему комплексу «система управления – ЗИПС» для вновь разрабатываемых технических средств на ранних этапах их проектирования, позволяющих обеспечить технико-экономические показатели при реализации заданного класса ТП [3, 4].

Технология автоматизированного проектирования в единстве с реализующим ее программным комплексом должна представлять собой достаточно удобный и наглядный инструмент для консультаций и подготовки высококвалифицированных специалистов, занимающихся научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами в области автоматического управления динамическими объектами [5, 6].

Технология проектирования – это упорядоченная совокупность операций по обработке и анализу экспериментальной и формированию аналитической информации о цели управления ТП, о системе ЗИПС и формализации управления ТП. Последняя операция как задача оптимального управления вводится в специальный моделирующий программный комплекс или, возможно, адаптируется к уже имеющимся программным модулям по решению сформированной задачи – проведение цикла моделирования, анализ результатов этой технологии моделирования, формирование выводов и оформление их в требуемом заказчику или руководителю проекта виде [5].

Состав и структура информационной технологии в области проектирования определяется ее назначением, составом, структурой и физической сущностью моделируемых элементов, требованиями, предъявляемыми к исследуемой системе и ее элементам, ограничениями, накладываемыми на процесс их функционирования, с одной стороны, а также используемыми для решения поставленной задачи математическими методами, с другой [6].

Основу технологии составляет метод аналитического синтеза замкнутых систем управления, а полученные с его помощью алгоритмы управления в общем виде позволяют обеспечить на этапе синтеза заданные характеристики устойчивости и качества процессов управления, на этапе моделирования заданные либо достижимые показатели точности [3, 4].

Структурный анализ и синтез процессов. Технология автоматизированного проектирования по составу, структуре, форматам входных данных и представленных результатов в определенной степени

может рассматриваться как разновидность SADT-технологии (SADT – Structured Analysis and Design Technique) [6]. При этом технология автоматизированного проектирования выделяется значительным расширением класса решаемых с ее помощью задач и сокращением сроков проектирования как систем управления, так и динамических объектов в целом [7].

Основными преимуществами SADT-технологии, по сравнению с другими подходами, к решению сложных задач структурного анализа и синтеза для последующего моделирования, которые обусловили выбор ее в качестве основного средства при решении рассматриваемой задачи, являются [5, 6]:

1) строгая формализация самого процесса проектирования, а также оформление результатов, что обеспечивает удобство восприятия и анализа моделей, простоту стыковки моделей разных уровней либо полученных разными разработчиками;

2) достаточный компромисс между наглядностью моделей и их информативностью;

3) развитая система редактирования и коррекции как в плане удобства ввода изменений на любом уровне иерархии диаграмм, так и в плане учета их на связанных с редактируемым элементом диаграммы уровнях модели;

4) значительные удобства формирования диаграмм, обеспечивающие графические возможности при формировании блоков на уровне современных программных комплексов и автоматическое изображение дуг любой сложности в соответствии с требованиями технологии.

Одной из важнейших особенностей применения SADT-технологии при решении рассматриваемого класса задач является возможность, с одной стороны, разработки с ее помощью технологий проектирования технологических процессов, а с другой – использования полученных результатов для проектирования технологических процессов изготовления детали. В наиболее обобщенной формулировке назначением полученной с использованием SADT-подхода технологии является проектирование многофакторных технологических процессов, оптимизируемых по множеству параметров качества.

Декомпозиция блоков модели процесса. SADT-диаграмма 0-уровня (рис. 1) для разработки технологии автоматизированного проектирования и моделирования технологических процессов рассматривает входные (I), управляющие данные (C), средства или механизмы (M), необходимые для решения поставленной задачи, и выходные данные (O):

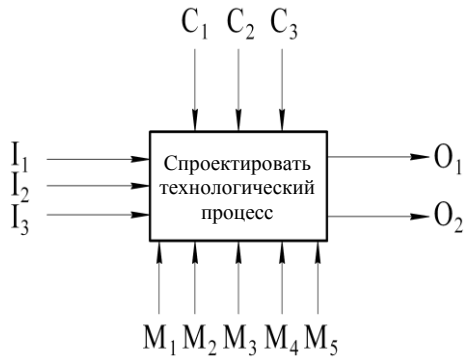

Рис. 1. SADT-диаграмма 0-уровня технологии автоматизированного проектирования технологического процесса

I_1 – конструкторская документация на изделие;

I_2 – тип станка, системы ЧПУ, характеристика инструмента и расчётная схема системы ЗИПС;

I_3 – параметры обрабатываемого материала;

C_1 – сроки проектирования;

C_2 – производительность;

C_3 – себестоимость;

M_1 – комплекс математических моделей (КММ) системы ЗИПС;

M_2 – моделирующий программный комплекс (МПК);

M_3 – база данных (БД) материалов;

M_4 – БД инструмента;

M_5 – персонал отдела САПР;

O_1 – требуемый ТП;

O_2 – требования на корректировку управлений или входов.

Дальнейшая декомпозиция рассматриваемой задачи, произведенная на основе SADT-технологии с учетом особенностей метода, предлагаемых для использования программно-аппаратных средств [5], а также анализа требований, предъявляемых в современных условиях к ТП, позволяет получить комплекс SADT-диаграмм.

SADT-диаграмма уровня A0 (рис. 2), сформированная на основании традиционного подхода к проектированию подобных процессов, предполагает наличие четырех основных функций (блоков):

- управление проектированием (A1);
- разработка варианта ТП (A2);
- оценка его себестоимости (A3);
- оценка его качества (A4).

Наиболее сложной является детализация функции A2 – «Разработать вариант технологического процесса». Результатом декомпозиции этого блока является SADT-диаграмма уровня A2 (рис. 3), где для блока A2 представлены входные (I_1 – I_3), управляющие – по срокам проектирования (C_1 – выход блока A1) и по производительности (C_2) данные, необходимые средства или механизмы (M_1 – M_5), а так-

же выходная информация: либо заданный ТП (без учета его себестоимости), либо требования по корректировке входных или управляющих данных. Последняя ситуация возникает в случае, когда анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод о невозможности в текущей постановке задачи рассчитать параметры алгоритма оптимального управления, реализующего заданный ТП с требуемой точностью в определённое время.

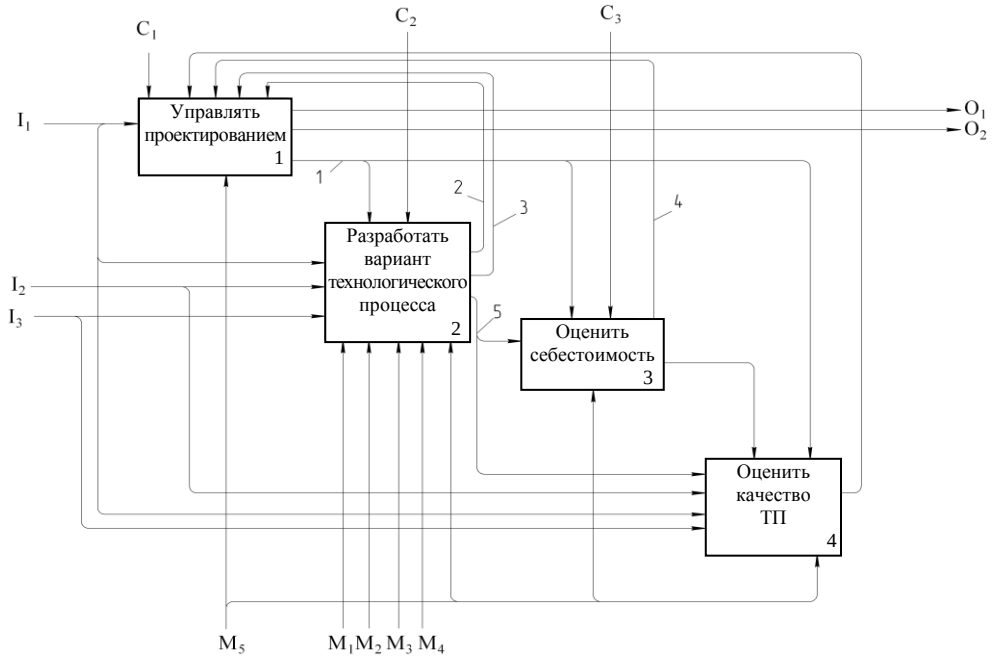

Рис. 2. SADT-диаграмма уровня А0:
1 – план проектирования ТП; 2 – корректировка по срокам;
3 – корректировка по производительности; 4 – корректировка по себестоимости; 5 – вариант ТП

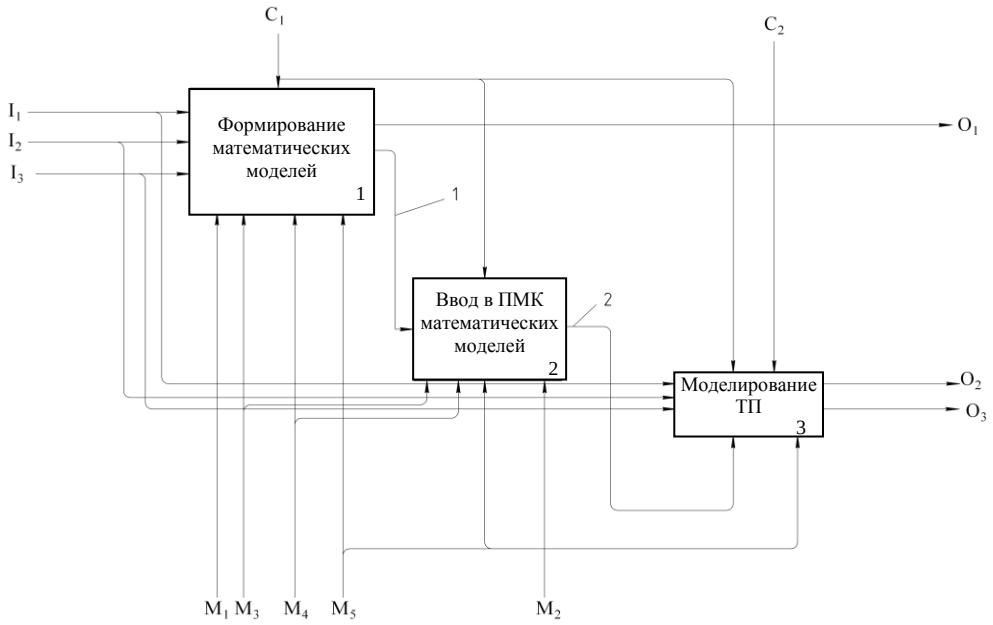

Рис. 3. SADT-диаграмма уровня А2:
1 – совокупность математических моделей; 2 – МПК

Необходимо отметить, что SADT-технология распространяется не только на проектирование непосредственно процессов обработки, но и на процессы их подготовки, обеспечения и межоперационные переходы [1, 6].

При разработке технологии проектирования подробному анализу и структуризации подвергаются функции «Формирование математических моделей» (А21) и «Моделирование ТП» (А23), результатом чего являются SADT-диаграммы уровней А21(рис. 4) и А23 (рис. 5).

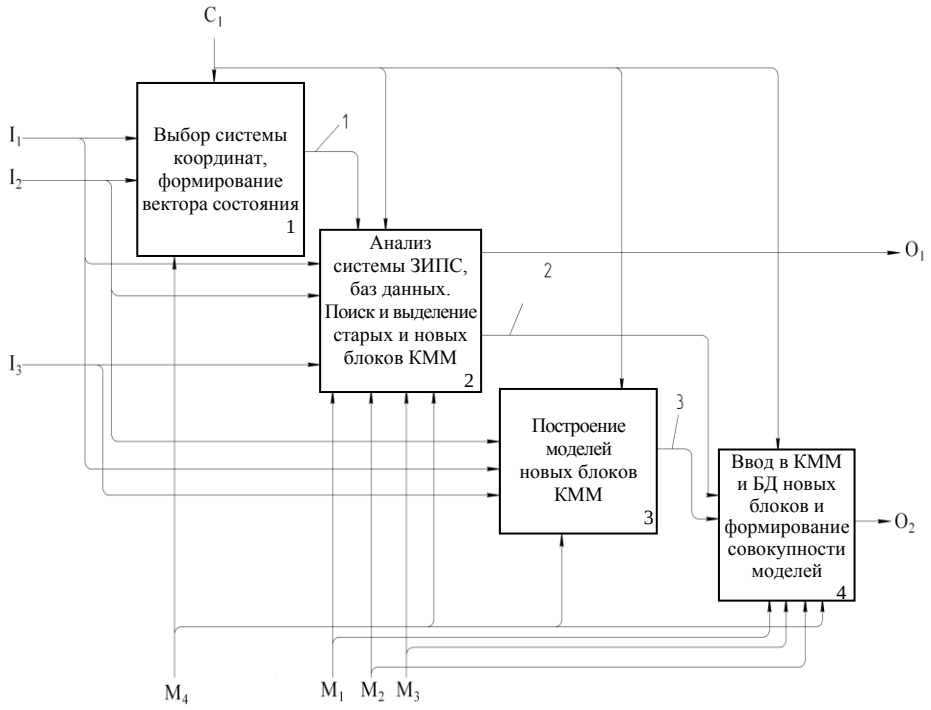

Рис. 4. SADT-диаграмма уровня А21:
1 – система координат вектора состояния и управления;
2 – имеющиеся в КММ блоки; 3 – новые блоки

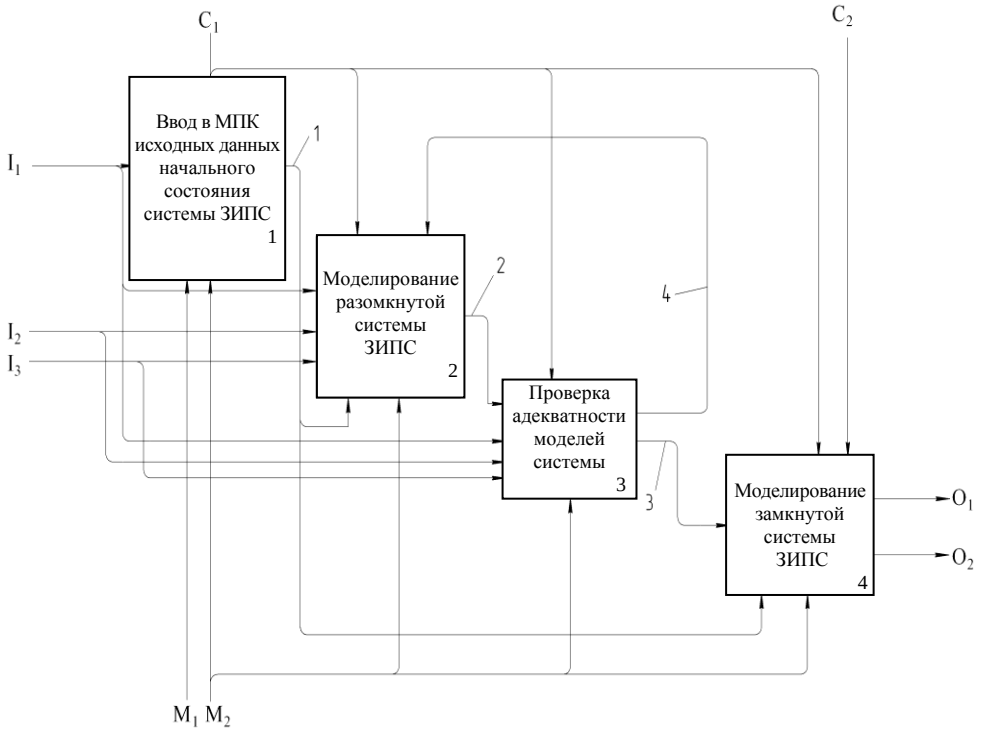

Рис. 5. SADT-диаграмма уровня А23:
1 – МПК; 2 – переходные процессы; 3 – модель адекватна;
4 – требования корректировки условий моделирования

Управление многофакторной операцией обработки. Моделирование управления на технологической операции в замкнутой системе ЗИПС (блок А234) рассмотрим на примере операции комбинированной обработки поверхностного слоя детали [8].

Операция совмещает термообработку с удалением дефектного поверхностного слоя резанием и упрочняющим деформированием обрабатываемой поверхности [9].

Для временного снижения прочности дефектного слоя используется плазменный нагрев, а для удаления припуска и деформирования поверхности применяется режущий инструмент [7].

В качестве статистической модели комбинированной обработки целесообразно применять квадратичные функции, а для их построения и оценивания использовать дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализ [10].

При использовании структурного анализа [8] комбинированной термомеханической обработки для детализации на SADT-диаграмме технологической операции резания с предварительным плазменным нагревом удаляемого слоя целесообразно разделять группы физико-механических и геометрических параметров качества (рис. 6).

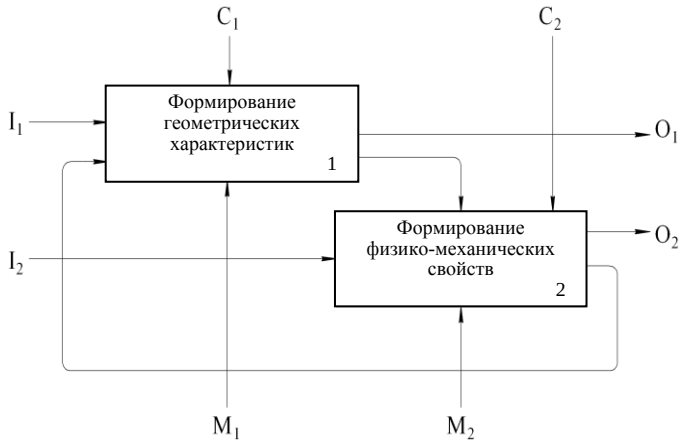

Рис. 6. SADT-диаграмма уровня А234
для операции комбинированной обработки

Управлять операцией целесообразно с помощью наиболее влиятельных и наименее коррелированных с другими факторов, поэтому для обеспечения требуемых параметров наилучшим образом подходят следующие технологические факторы [7]:

C_1 – движение инструментов (*L* – расстояние от пятна нагрева до режущей кромки инструмента; *S* – скорость подачи инструмента);

C_2 – термомеханические факторы (*I* – сила тока плазменной дуги; *V* – скорость главного движения).

Исходные параметры:

I_1 – геометрические (S_m – волнистость; *Ra* – шероховатость);

I_2 – физико-механические (*HRC* – твердость; $U_н$ – степень упрочнения);

Малоизменяющиеся характеристики:

M_1 – размещение концентрированного источника энергии (h_c – удаление сопла плазмотрона от обрабатываемой поверхности; *t* – глубина резания при удалении дефектного слоя);

M_2 – электромагнитные факторы ($G_в$ – расход плазмообразующего газа; *Uн* – напряжение плазменной дуги);

Требуемые выходные параметры:

O_1 – геометрические (*Sm, Ra*);

O_2 – физико-механические (*HRC*, $U_н$).

В результате проведённого статистического анализа [7, 8] установлено, что для управления геометрическими параметрами следует использовать факторы размещения и движения инструмента, а для управления физико-механическими параметрами – термомеханические факторы (рис. 7).

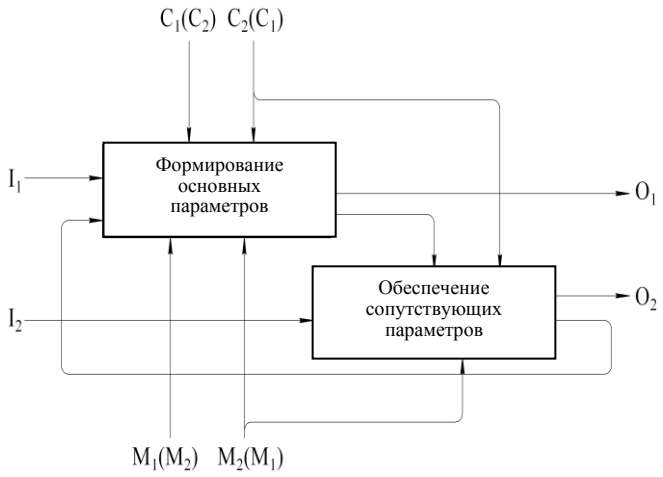

Рис. 7. SADT-диаграмма уровня A2341 (A2342) для операции комбинированной обработки

На основании статистического и структурного анализа и синтеза технологических систем, особенностей автоматизированного проектирования технологических процессов и специфики управления комплексом параметров оптимизации многофакторной технологической операции можно сделать следующие **выводы**: сочетание статистического и структурного анализа обеспечивает управление многофакторными технологическими операциями по комплексу параметров; указывает и оптимизирует факторы, через которые следует осуществлять процесс управления, и параметры, которые необходимо контролировать в режиме реального времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологические аспекты конверсии машиностроительного производства / А.С. Васильев [и др.]. – М.–Тула: ТулГУ, 2003. – 271 с.
2. Менеджмент качества предприятий машиностроения / В.Н. Корешков [и др.]. – Минск: Экономика и право, 2003. – 224 с.
3. Информационные технологии в наукоемком машиностроении: компьютерное обеспечение индустриального бизнеса / под общ. ред. А.Г. Братухина. – Киев: Техника, 2001. – 728 с.
4. Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития / под общ. ред. М.Л. Хейфеца и Б.П. Чемисова. – Новополоцк: ПГУ, 2002. – 268 с.
5. Акаев, А.Б. Управление движущимися объектами / А.Б. Акаев, Л.В. Зайцева, Д.М. Мурашов. – М.: АН СССР, Науч. совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1988. – 52 с. – (Препринт).
6. Окулесский, В.А. Функциональное моделирование – методологическая основа реализации процессного подхода / В.А. Окулесский. – М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2001. – 280 с.
7. Корешков, В.Н. Использование структурного анализа для управления и контроля операцией комбинированной обработки / В.Н. Корешков, М.Л. Хейфец, Т.А. Алексеева // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фундаментальные науки. – 2008. – № 3. – С. 53 – 59.
8. Корешков, В.Н. Управление операцией комбинированной обработки на основе её статического и структурного анализа / В.Н. Корешков, М.Л. Хейфец, Т.А. Алексеева // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С. Фундаментальные науки. – 2008. – № 9. – С. 86 – 92.
9. Хейфец, М.Л. Проектирование процессов комбинированной обработки / М.Л. Хейфец. – М.: Машиностроение, 2005. – 272 с.
10. Хейфец, М.Л. Математическое моделирование технологических процессов / М.Л. Хейфец. – Новополоцк: ПГУ, 1999. – 104 с.

Поступила 29.01.2009