

**В.Н. Корешков, к.т.н. доц.**

*Госстандарт РБ*

**М.Л. Хейфец, д.т.н., проф.**

**Т.А. Алексеева, ст. преп.**

**А.К. Ляхович, аспирант.**

*Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Беларусь*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SADT-ДИАГРАММ**

*Показано, что автоматизированное проектирование технологических процессов на основе использования SADT-диаграмм заключается в выполнении последовательности этапов: анализа класса задач, подлежащих решению, разработки программных модулей, моделирования динамического объекта, расчёта конкретных параметров модели, анализа результатов моделирования, принятия решения о применимости разработанной системы.*

**Введение.** Технология автоматизированного проектирования технологических процессов (ТП) предназначена для разработки алгоритмов функционирования цифровых систем управления и исследования динамики ТП, последующего возможности реализации отдельного ТП или целого их класса с заданными качественными, точностными и экономическими характеристиками при использовании рассматриваемых технических средств, а также предполагаемого алгоритма управления без натурного моделирования [1, 2].

Важнейшей функцией технологии автоматизированного проектирования является формирование рекомендаций или требований 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 должны 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].

**Структурный синтез систем.** Технология проектирования представляет собой упорядоченную совокупность операций по обработке и анализу экспериментальной и формированию аналитической информации: о цели управления ТП, о системе ЗИПС; о формализации управления ТП. Последняя задача как задача оптимального управления вводится в специальный моделирующий программный комплекс (МПК), либо возможна адаптация уже имеющихся программных модулей к 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 стороны [6].

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

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.

К основным преимуществам SADT-технологии по сравнению с другими подходами к решению сложных задач структурного анализа, синтеза, и 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 оформления результатов, что обеспечивает удобство восприятия и анализа моделей, а также 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 SADT-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 SADT-технологии.

**Проектирование технологических процессов.** 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 собственно технологических процессов изготовления детали. Таким образом в наиболее обобщенной формулировке назначением, полученной с использованием SADT-подхода технологии, является проектирование многофакторных технологических процессов, оптимизируемых по множеству параметров качества.

SADT-диаграмма 0-уровня для разработки технологии автоматизированного проектирования и моделирования технологических процессов рассматривает входные, управляющие данные, средства (механизмы), необходимые для решения поставленной задачи, и выходные данные (рис. 1):

$I_1$  – 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 математической модели (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 (рис. 2–3). SADT-диаграмма уровня  $A_0$  (рис. 2) сформированная на основании традиционного подхода к проектированию подобных процессов, предполагает наличие четырех основных функций-блоков: управление проектированием ( $A_1$ ), разработка варианта ТП ( $A_2$ ), оценка его себестоимости ( $A_3$ ) и оценка его качества ( $A_4$ ).

Наиболее сложной является детализация функции  $A_2$  — "Разработать вариант технологического процесса". Результатом декомпозиции этого блока является SADT-диаграмма уровня  $A_2$  (рис. 3), где для блока  $A_2$  представлены входные ( $I_1$ — $I_3$ ), управляющие — по срокам ( $C_1$ ) проектирования (выход блока  $A_1$ ), и по производительности ( $C_2$ ) данные, необходимые средства (механизмы) ( $M_1$ — $M_6$ ), а также 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 заданной точностью в определенное время.

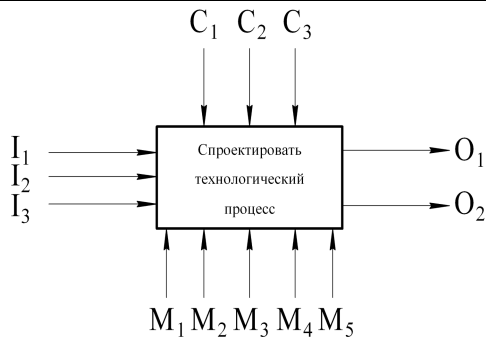


Рис. 1. SADT-диаграмма 0-уровня технологии автоматизированного проектирования ТП

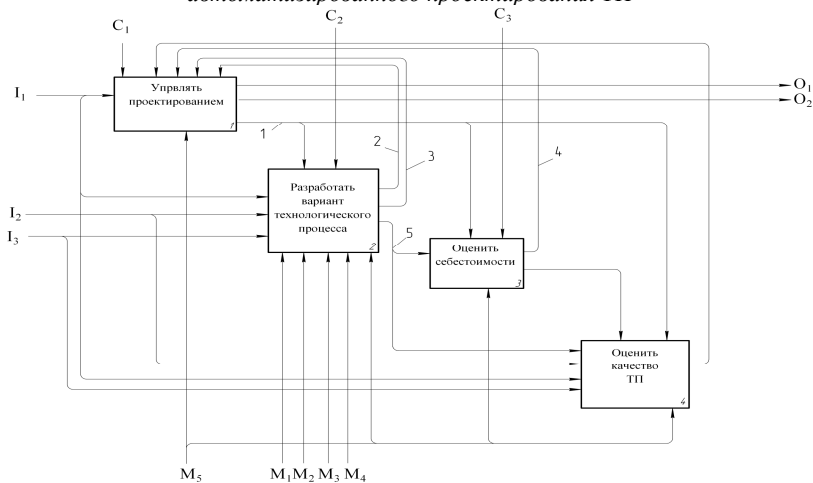


Рис. 2. SADT-диаграмма уровня A0:

- 1 – план проектирования ТП; 2 – корректировка по срокам;
- 3 – корректировка по производительности;
- 4 – корректировка по себестоимости; 5 – вариант ТП

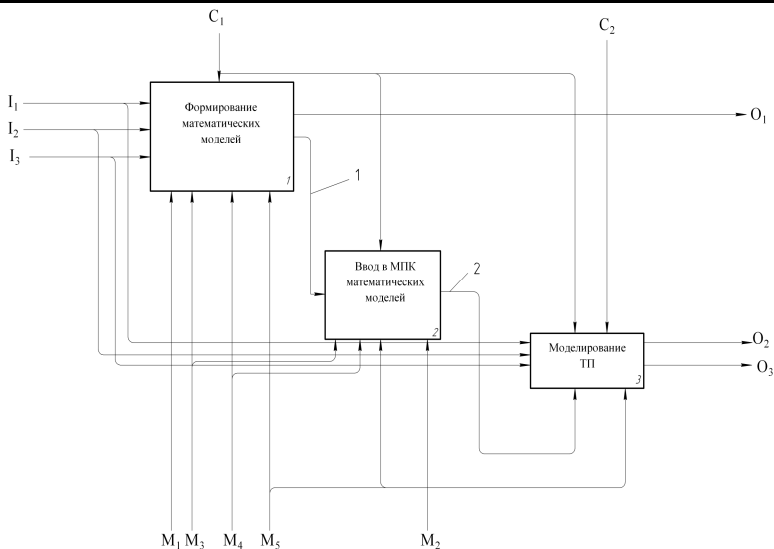


Рис. 3. SADT-диаграмма уровня A2:

1 – совокупность нелинейных 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].

**Выводы.** Анализ рассмотренных SADT-диаграмм (рис. 1–3) показал, что автоматизированное проектирование технологических процессов, заключается в выполнении последовательности этапов [4, 5]:

1. Построение математических моделей, определение ошибки управления, то есть предварительный анализ класса задач, подлежащих решению, выбор системы координат, векторов состояния и управления и формирование в выбранной системе координат математических моделей, а также ошибки управления. Указанные функции в выражениях могут быть заданы аналитически, таблично, либо смешанным образом, поэтому часто возникает необходимость использования методов и соответствующих им алгоритмов аппроксимации. Построенные модели позволяют обратившемуся к базе данных, содержащей разработанные ранее модели, сделать вывод о возможности использования в процессе проектирования готовых программных модулей.

2. Разработка, в случае отсутствия необходимых аналогов, программных модулей, реализующих полученные математические модели и позволяющих в каждый момент времени рассчитать положение границ области, состояние динамического объекта, ошибки управления и ввод их в комплекс математических моделей (КММ) и соответствующие базы данных (БД) или использование уже имеющихся в соответствующей программе при последующем формировании требуемой совокупности моделей.

3. Моделирование динамического объекта, проверка и обеспечение адекватности моделей. Ввод в диалоговом режиме в моделирующий программный комплекс параметров исходного и заданного состояний динамического объекта, начального и конечного моментов времени, а также требуемых характеристик точности и качества процессов управления.

4. Собственно моделирование динамического объекта, в том числе выполнение следующих операций: расчет, конкретных значений коэффициентов всех моделей для данных значений векторов состояния и управления; проверка управляемости линейной нестационарной математической модели динамического объекта и совместности нестационарной математической модели. Проверка условия окончания моделирования и завершение моделирования при его выполнении.

5. Анализ результатов цифрового моделирования и принятия решений либо о применимости разработанной системы управления для решения рассмотренного класса задач, либо о минимальной конфигурации и характеристиках технических и технологических средств самого объекта управления. В комплекс вводятся параметры начального состояния динамического объекта, ошибки управления, рассматриваемый интервал времени, после чего комплекс переходит в автоматический режим моделирования динамического объекта.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. Технологические аспекты конверсии машиностроительного производства / А.С. Васильев, С.А. Васин, А.М. Дальский и др. – М.–Тула: ТулГУ, 2003. – 271 с.
2. Менеджмент качества предприятий машиностроения / В.Н. Корешков, Н.А. Кусакин, Ж.А. Мрочек и др. – Мн.: 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., Зайцева Л.В., Мурашов Д.М.* Управление движущимися объектами. — Препринт. — М.: АН СССР, Научный совет по комплексной проблеме "Кибернетика", 1988. – 52 с.
6. *Окулесский В.А.* Функциональное моделирование – методологическая основа реализации процессного подхода. – М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2001. – 280 с.

КОРЕШКОВ В.Н. – кандидат технических наук, доцент, Госстандарт Республики Беларусь.

Научные интересы:

– статистический анализ при проектировании.

ХЕЙФЕЦ Михаил Львович – доктор технических наук, профессор кафедры технологии и оборудования машиностроительного производства Полоцкого государственного университета, г. Новополоцк, Беларусь.

Научные интересы:

– автоматизация проектирования и производства;

– технология машиностроения;

– процессы комбинированной обработки материалов.

АЛЕКСЕЕВА Татьяна Анатольевна – старший преподаватель кафедры конструирования и технологии радиоэлектронных средств Полоцкого государственного университета, г. Новополоцк, Беларусь.

Научные интересы:

– автоматизация проектирования и производства;

– проектирование технологических операций.

ЛЯХОВИЧ Александр Константинович – аспирант кафедры технологии и оборудования машиностроительного производства Полоцкого государственного университета, г. Новополоцк, Беларусь.

Научные интересы:

– управление технологическими операциями.



