

**С. В. Сорокин**, канд. техн. наук, доц.  
Брянский государственный технический университет, Россия  
Тел./Факс: +7 (4832) 588220; E-mail: [irb18@yandex.ru](mailto:irb18@yandex.ru)

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СОВРЕМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

*Разработана концептуальная модель системы автоматизации проектирования технологических процессов изготовления деталей на основе метода синтеза для условий современного производства.*

**Ключевые слова:** синтез технологических процессов, автоматизированные системы, технологическая подготовка производства.

**S. V. Sorokin**

## **AUTOMATION OF SYNTHESIS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF PROCESSING OF DETAILS ON THE MODERN EQUIPMENT WITH NUMERICAL CONTROL**

*On the basis of a method of synthesis the conceptual model of system of automation of designing of technological processes of manufacturing of details is developed for conditions of modern manufacture/*

**Keywords:** *Synthesis of the technological processes, the automated systems, technological preparation of manufacture.*

### **1. Введение.**

Технологическая подготовка производства в современных условиях, не может осуществляться без использования средств автоматизации и систем автоматизированного проектирования. Однако отдельное использование этих средств не дает желаемого результата, а иногда создает еще и дополнительные препятствия. В настоящее время вопросы технологической подготовки могут быть решены на качественно новом уровне с использованием интегрированных САПР. Применение этих систем должно быть неразрывно связано с CALS-технологиями – современными технологиями информационной интеграции процессов, выполняющихся в ходе всего жизненного цикла продукции и ее компонентов.

На сегодняшний день использование интегрированных САПР сводится, в основном, к программному объединению CAD/CAM/CAE уже существующих систем, разработанных как отдельные продукты и плохо связанных друг с другом. Особенно это проявляется при переходе от конструкторской (CAD) к технологической подготовке производства (CAM) и выражается в плохой проработке форматов представления технологических данных о проектируемом изделии (геометрическая точность выполняемых размеров, качество, поле допуска, шероховатость, волнистость, отклонения формы, физико-механические, физико-химические свойства поверхностных слоев и другие параметры качества обрабатываемых поверхностей). Необходимые сведения для проектирования представляют собой простую выборку из баз данных, которыми оперирует проектировщик. Большие объемы исходных данных, быстрый рост возможностей станков и инструментов, заставляют рассматривать другие подходы в обработке информации и проектировании изделий в целом.

Целью работы является автоматизация процедуры классификации деталей общемашиностроительного назначения в интегрированных САПР и разработка системы

проектирования технологических процессов изготовления изделий методом синтеза для условий современного производства.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- проводится анализ существующих подходов к формализации и автоматизации технологического обеспечения требуемой точности и качества поверхностей деталей машин при использовании современного многоцелевого оборудования;
- разрабатывается методика автоматизации процедуры классификации технических объектов и построения конструкторско-технологической модели (КТМ) детали в условиях применения интегрированных САПР;
- разрабатываются принципы формализации принятия проектных решений в рамках процесса автоматизации технологического обеспечения требуемой точности и качества поверхностей деталей машин при их изготовлении на основе метода синтеза технологических процессов;
- разрабатывается методика автоматизации процедуры синтеза конструкции установочно-зажимных элементов станочных приспособлений с применением интегрированных САПР для обработки деталей на современном многофункциональном оборудовании.

## **2. Основное содержание и результаты работы.**

Современный этап развития технологии машиностроения заключается в объединении технологий проектирования, изготовления и эксплуатации машин и в разработке научных основ по системному описанию технологических методов, позволяющих обеспечить необходимые эксплуатационные свойства деталей машин. Одним из инструментов решения этих задач является интегральная автоматизация этапов технической подготовки производства (ТПП) путем построения моделей элементов ТПП с применением средств вычислительной техники и программного обеспечения, в том числе систем искусственного интеллекта.

Решения, принимаемые на начальных этапах ТПП определяют конструктивное оформление узлов машин и технологические методы обеспечения эксплуатационных характеристик. Исправление ошибок, допущенных на этой стадии, приводит к значительным временным и материальным затратам, и тем сложнее, чем позже эти ошибки выявляются.

В настоящее время задачи проектирования деталей машин могут быть решены на качественно новом уровне за счет интеграции процессов автоматизации начальных этапов ТПП с последующим использованием полученных результатов на этапе автоматизированного проектирования с применением интегрированных САПР (CAD/CAM/CAE-систем). Применение этих систем неразрывно связано с CALS – современными информационными технологиями для интеграции процессов, выполняющихся в ходе всего жизненного цикла продукции и ее компонентов. В основе CALS лежит использование комплекса единых информационных моделей, стандартизация способов доступа к информации и ее корректная интерпретация на всех этапах жизненного цикла изделия. Поэтому очевидно, что автоматизированное определение параметров качества, эксплуатационных характеристик поверхностных слоев деталей, являясь одной из задач подготовки производства, должно также рассматриваться в контексте применения CALS-технологий.

Технологическая подготовка производства заключается в проектировании технологических процессов, выборе их параметров, оборудования и средств технологического оснащения для проведения этих процессов. Генеративный подход к разработке

технологии подразумевает автоматический синтез стратегии обработки на основании геометрической конфигурации и технических требований, предъявляемых к детали, с указанием сведений о материале, особенностях обработки и предлагаемых методиках контроля изделия.

На первом этапе разработки плана производства новой детали в генеративном подходе технические требования вводятся в компьютерную систему. Для этого необходимо, чтобы автоматизированная система могла распознавать конструктивно-технологические элементы детали (КТЭ), требующие машинной обработки. Реализация этой процедуры значительно упрощается, если при моделировании детали используется объектно-ориентированный подход. Однако, даже КТЭ, реализованные в системе объектно-ориентированного моделирования, могут потребовать дополнительного преобразования, с целью формализации исходной технологической информации. Так, например, большинство 3D моделей САД-систем не содержат сведений о допусках, материалах, твердости отдельных поверхностей и их приходится вводить вручную. Схема кодирования должна определять все геометрические элементы и их параметры, в частности положение, размеры и допуски, а также сведения о форме заготовки.

На втором этапе закодированные данные и текстовая информация преобразуются в подробный технологический план производства детали. На этом этапе определяется оптимальная последовательность операций, условия их выполнения, проводится синтез средств технологического оснащения (подбирается и проектируется инструмент, измерительные приборы, выбирается схема базирования и закрепления заготовки, анализируются кинематические схемы формообразующих движений исполнительных органов станков). Для построения столь подробного плана производства деталей требуется переработка больших объемов входной информации и сложная логическая система преобразования данных, поэтому автоматизированный подход к синтезу технологических процессов изготовления изделий строится на формализованном описании различных классов деталей с фиксированным набором элементарных поверхностей.

В рамках выполняемой работы рассматриваются следующие основные направления:

1. Классификация конструкторско-технологических элементов деталей машин. Анализ необходимости, дополнения и переработки классификатора конструкторско-технологических элементов, в соответствии с современными возможностями инструмента и станков.

2. Проведение анализа кинематических возможностей современных многофункциональных станков.

3. Выделение основных типов компоновок современного оборудования; анализ видов движений станков и их связь с деталью и инструментом.

4. Проведение анализа возможностей и классификация современного лезвийного инструмента.

5. Разработка концептуальной модели системы автоматизации проектирования технологических процессов изготовления деталей на основе метода синтеза для условий современного производства.

6. Разработка подходов к формализации процедуры классификации и анализа конструкторско-технологических элементов, используемых в процессе проектирования, формирования КТМ детали и синтеза конструкций станочных приспособлений.

Проектирование маршрута обработки элементарной поверхности на этапах автоматизированного конструирования следует начинать с представления поверхности детали в виде набора элементарных поверхностей, для которых легко подобрать все

возможные способы обработки, и, проведя последовательно анализ всех этих вариантов, выбрать самый приемлемый, то есть задача состоит в построении конструкторско-технологической модели (КТМ) детали.

Проанализировав существующие подходы к формализации описания совокупностей элементарных поверхностей, можно определить набор частных КТЭ необходимых для описания КТМ деталей различных классов. В данной работе за основу была принята классификация, разработанная В.Д. Цветковым [1]. В ней выделяется следующие классы КТЭ: 1) плоские поверхности; 2) поверхности вращения; 3) винтовые поверхности; 4) линейчатые поверхности; 5) зубчатые поверхности.

Рассматривая каждый из представленных классов КТЭ необходимо отметить, что для каждого КТЭ могут быть характерны следующие признаки:

- конструктивное положение КТЭ (наружное или внутреннее);
- конструкторско-технологическое положение КТЭ (открытое, полуоткрытое, закрытое).

Приведем в качестве примера классификацию КТЭ группы поверхностей вращения (рис. 1).

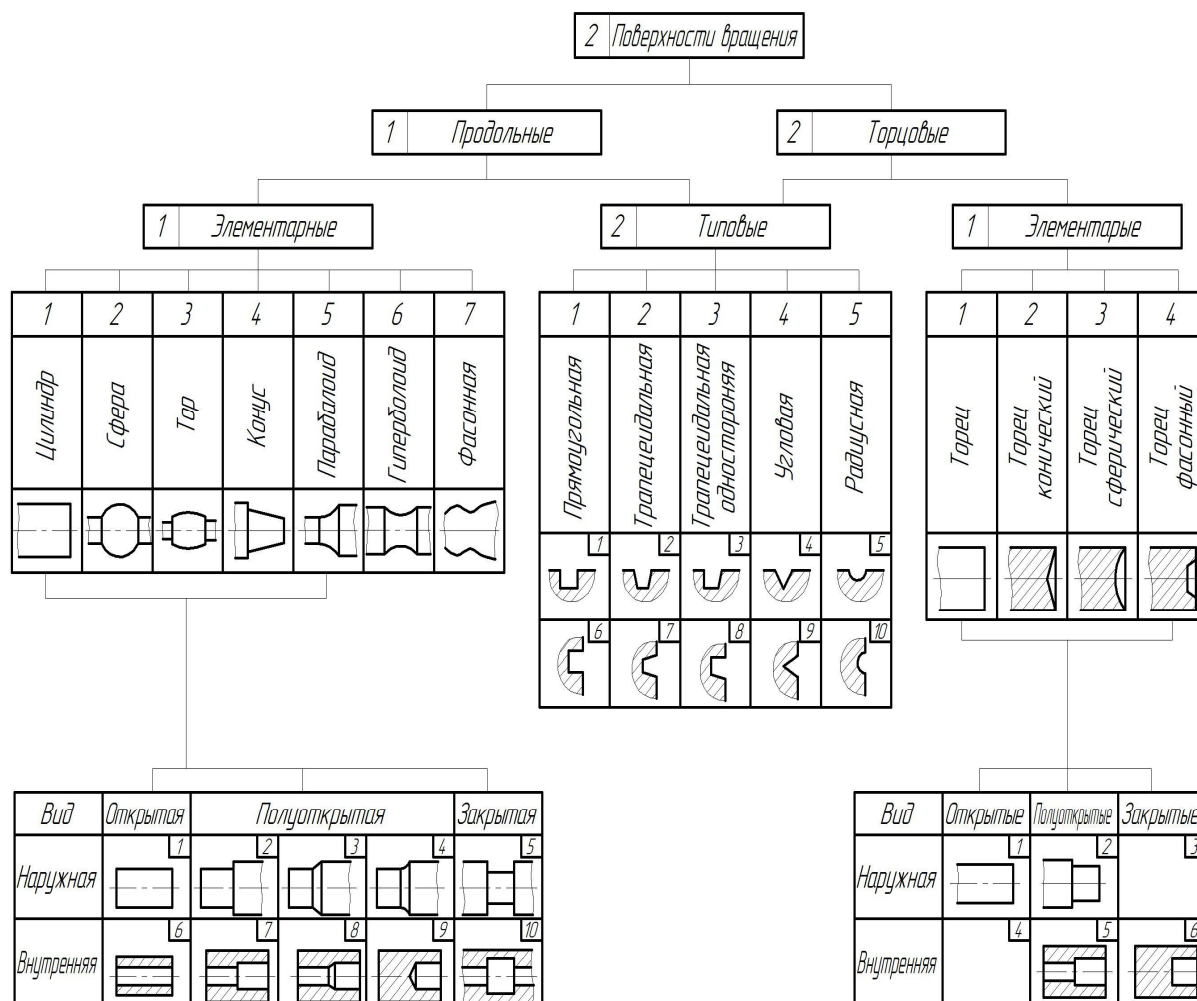


Рис. 1. Классификация КТЭ поверхностей вращения.

Все движения, в том числе и формообразующие, с точки зрения общей теории станков называются исполнительными. По целевому признаку их можно разделить на движения: формообразования  $\Phi$ ; установочные  $Уст$ ; деления  $Д$ ; управления  $Упр$  и вспомогательные  $Всп$ .

Согласованные относительные движения заготовки и режущего инструмента, которые непрерывно создают производящие линии, а, следовательно, поверхность заданной формы в целом, называют формообразующими. Установочными называют движения заготовки и инструмента, необходимые для перемещения их в такое относительное положение, при котором становится возможным с помощью формообразующих движений получать поверхности требуемого размера. Иногда установочное движение, при котором отсутствует резание, называют наладочным. Если при установочном движении происходит резание материала, то такое движение называют движением врезания ( $Вр$ ). Делительными называют движения, необходимые для обеспечения равномерного расположения на заготовке одинаковых образуемых поверхностей. К вспомогательным движениям относятся движения, обеспечивающие установку, зажим, освобождение, транспортирование, быстрое перемещение заготовки и режущего инструмента в зону резания, охлаждение, смазывание, удаление стружки, правку инструмента и т. п. К движениям управления относят те, которые совершают органы управления, регулирования и координирования всех других исполнительных движений станка. К таким органам относятся муфты, реверсирующие устройства, кулачки, ограничители хода и др.

Любое исполнительное движение в станке можно охарактеризовать пятью пространственными параметрами: траекторией, скоростью, направлением, путем и исходной точкой. Наиболее важными параметрами любого движения являются траектория и скорость.

Для описания движений многофункциональных станков используем модульный принцип построения этих станков. На сегодняшний день у разных производителей по-разному звучат названия одних и тех же частей станка, например, инструментальный шпиндель может иметь названия силовой головки, кроме этого отличается названия частей станка для токарных многофункциональных станков и станков для обработки корпусов. Таким образом, для того, чтобы рассматривать движения любого станка независимо от его специализации и компоновки движения станков будем рассматривать:

- основную систему координат станка – систему координат, относительно которой будут рассматриваться все остальные движения;
- системы координат отдельных частей станка (шпиндель, противошпиндель, инструментальный шпиндель и т.д.).

Для обозначения координатных осей основной системы координат станка используем буквы  $x, y, z$ , а для обозначения вращения вокруг этих осей используем буквы  $A, B, C$  для соответствующих осей.

Для обозначения координатных осей и вращения вокруг этих осей, частей станка, используем обозначение, принятое для координатных осей и вращения вокруг этих осей для основной системы координат с добавлением индекса, соответствующего порядку рассмотрения различных частей станка ( $x_1, y_1, z_1, A_1, B_1, C_1$  и т.д.). Основные компоновки и системы координат исполнительных органов токарных многоцелевых станков и станков сверлильно-фрезерно-расточной группы приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Схемы компоновок станков с программным управлением

<p>Горизонтальная компоновка токарного станка, со шпинделем и протившпинделем, инструментальным шпинделем, двумя револьверными головками</p> <p>Инструментальный шпиндель</p> <p>Шпиндель</p> <p>Протившпиндель</p> <p>Револьверная головка 1</p> <p>Револьверная головка 2</p>	<p>Горизонтальная компоновка токарного станка, со шпинделем и протившпинделем, с четырьмя револьверными головками</p> <p>Револьверная головка 1</p> <p>Револьверная головка 2</p> <p>Шпиндель</p> <p>Протившпиндель</p> <p>Револьверная головка 3</p> <p>Револьверная головка 4</p>
<p>Вертикальная компоновка токарного станка с двумя шпинделями и двумя револьверными головками</p> <p>Шпиндель 1</p> <p>Шпиндель 2</p> <p>Револьверная головка 1</p> <p>Револьверная головка 2</p>	
<p>Вертикальная компоновка многоцелевого станка с поворотным столом и горизонтальным шпинделем</p> <p>Шпиндель</p>	<p>Вертикальная компоновка многоцелевого станка с вращением стола с деталью и свободным перемещением инструмента</p>

Анализ различных компоновок многофункциональных станков показал, что в общем случае производители станков, используя модульный принцип построения станка, могут предложить множество его различных компоновок [2]. Несмотря на это, следует отметить, что в данной работе важным является не физическая компоновка станка, а его теоретическая компоновка, т.е. наличие тех или иных составных частей станка и соответствующих им движений (рис. 2).

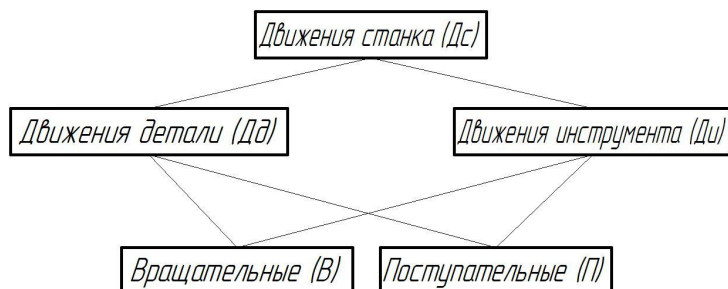


Рис. 2. Схема представления движений многофункциональных станков.

Структура конструкторско-технологической модели формообразования детали  $Q_{кт}$ , можно представить следующим образом:

$$Q_{КТ} = \langle Z, M_{КТ}, C_{КТ}, S \rangle, \quad (1)$$

где  $Z = \langle Z_1 \dots Z_n \rangle$  - данные для идентификации детали и общие сведения о ней;  $M_T = \langle \mathcal{E}_{КТ}, O_{КТ} \rangle$  - структурный состав детали;  $\mathcal{E}_{КТ}$  - множество конструкторско-технологических элементов (КТЭ);  $O_{КТ}$  - множество отношений над ними;  $C_{КТ} = \langle \mathcal{E}_{КТ}, I \rangle$  - множество схем обработки конструкторско-технологического элемента;  $I = \langle I_1 \dots I_n \rangle$  - данные о инструменте, образующем  $i$ -ю схему обработки;  $S = \langle B_c, D_c \rangle$  - структурный состав станка;  $B_c$  - множество блоков станка;  $D_c$  - множество движений блоков станка.

В отличие от обобщенной КТМ, в данном определении, основные технологические базы, задаются в САПР технологических процессов на стадии синтеза установочно-зажимных элементов станочных приспособлений. Кроме того, используется единственный уровень расчленения детали. В свою очередь любой КТЭ состоит из геометрических элементов. Набор элементов составляющих КТЭ унифицирован, и не зависит от форматов обмена информацией в САПР, используемым для представления геометрической модели детали на выходе САПР конструкторского назначения.

Для эффективной обработки геометрическая модель должна включать в себя как плоский чертеж, выполненный в соответствии со стандартами, так и трёхмерную модель. Использование такого двойственного представления позволяет, с одной стороны, эффективно получать негеометрическую информацию из чертежа (параметры точности, качества поверхностей и т.д.), с другой стороны, трёхмерная модель наилучшим образом описывает геометрию и топологию детали. Следовательно, и КТЭ, как некая сущность, может иметь два представления - в виде набора линий, текстов на плоскости (чертеже) и в виде набора трёхмерных поверхностей. Причем первичным является

трёхмерное представление, чертеж можно рассматривать как проекцию трёхмерного изображения, дополненную не геометрическими элементами.

Следовательно, КТЭ можно представить следующим образом:

$$\mathcal{E}_{КТ} = \langle \Pi, (\mathcal{E}_{3D}, \mathcal{E}_q, O), C \rangle, \quad (2)$$

где  $\Pi = \langle \Pi_1 \dots \Pi_m \rangle$  – параметры, описывающие КТЭ;  $\mathcal{E}_{3D}$  – множество элементов трёхмерного представления КТЭ;  $\mathcal{E}_q$  – множество элементов двумерного представления КТЭ;  $O$  – множество отношений над ними;  $C$  – множество ограничений на параметры и структуру КТЭ.

Схема обработки КТЭ ( $C_{КТ}$ ) можно представить, как взаимодействие самого КТЭ ( $\mathcal{E}_{КТi}$ ) и инструмента ( $I_i$ ). При этом в данной работе нас будет интересовать только движения КТЭ ( $D\mathcal{E}_{КТi}$ ) и движения инструмента ( $DI_i$ ), образующих схему обработки.

Структурный состав станка ( $S$ ) представляется совокупностью составляющих его блоков ( $B_C$ ) и множеством движений ( $D_C$ ), характеризующих каждый блок станка. Однако, для общего представления информации о станке, на данном этапе необходимы следующие данные о блоках станка (необходимые данные можно отнести к параметрам каждого из блоков станка):

- назначение блока станка с программным управлением (для обеспечения движения инструмента или детали);
- возможность обеспечения, назначения блоком своих функций, описывается множеством объектов, которые могут использоваться данным блоком.

Для описания возможностей металлорежущего инструмента в данной работе использовались каталоги продукции ведущих мировых производителей инструмента: ISCAR, Sandvik, Mitsubishi. В результате исследования продукции указанных фирм появилась классификация современного металлообрабатывающего инструмента. За основу классификации, была принята классификация инструмента фирмы ISCAR.

Таким образом, общую блок-схему технологической подготовки производства на основе метода генерации технологических процессов, можно представить в следующем виде (рис. 3).

В блоках 1 – 5 описаны основные этапы конструкторской подготовки производства. Главным связующим звеном конструкторской и технологической подготовки, являются чертеж и 3D-модель детали с соответствующими параметрами и техническими требованиями (блок 6).

Из представленной схемы видно, что блок (блоки 7, 8, 9) представления детали как совокупность КТЭ нельзя отнести ни к конструкторской, ни к технологической подготовке производства. Этот блок, является связующим, и его наличие отражает тесноту и единство конструкторской и технологической подготовки производства. В блоке 7, 8 описывается структура КТЭ и их параметров. В блоке 9, который, является наиболее сложным, и его правильность во многом определяет правильность работы и результатов других блоков, отражена процедура формализации конструкторско-технологического описания КТМ детали.

В блоках 10 – 17 рассматриваются основные этапы технологической подготовки производства при автоматизированном проектировании технологических процессов на основе метода генерации.



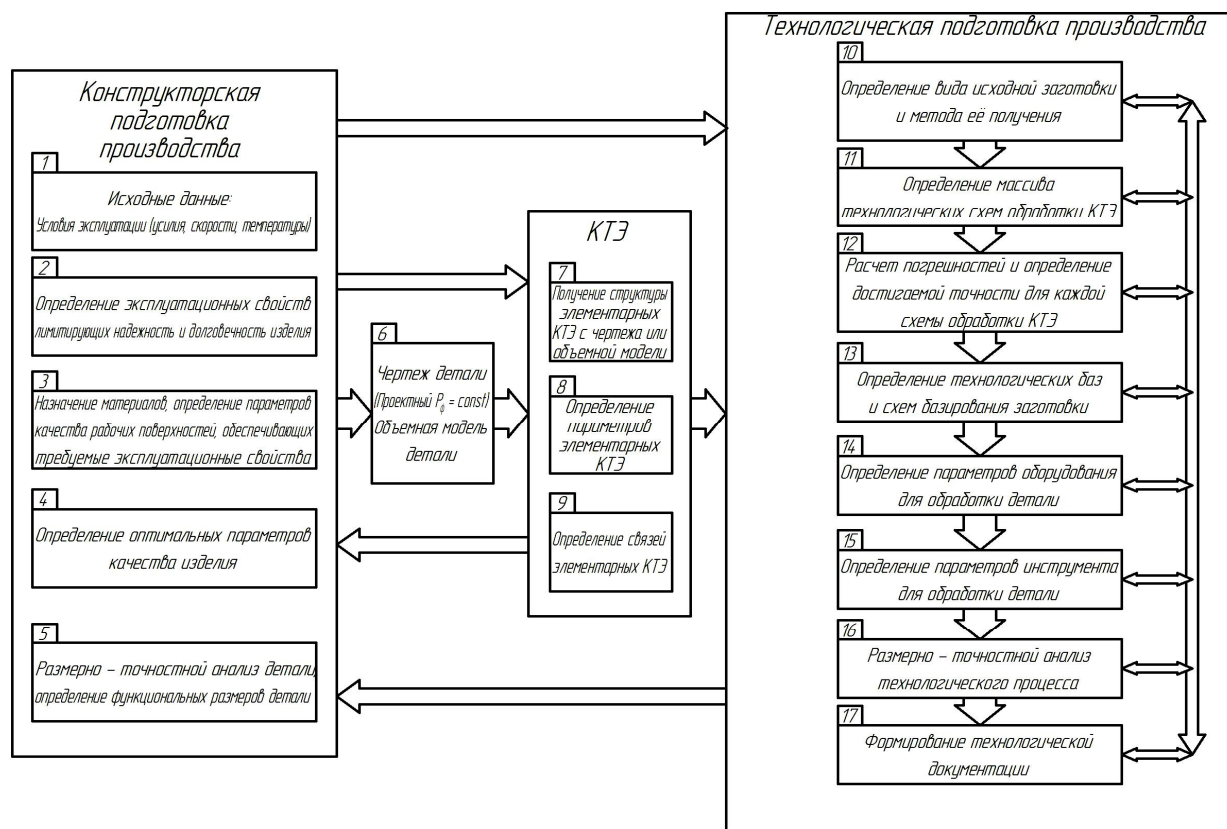


Рис. 3. Общая блок схема автоматизации технологической подготовки производства на основе метода генерации технологического процесса

### 3. Заключение.

В результате анализа проблемы и проводимых в работе исследований по автоматизации проектирования технологии обработки деталей методом синтеза, разработана структурная схема, информационное и программное обеспечение автоматизированной системы, реализующей принципы проектирования технологических процессов для современных условий производства.

Современное инновационное производство, широкое использование наукоемких технологий в общем машиностроении, быстрая смена номенклатуры выпускаемых изделий требуют совершенствования работы инженерных служб предприятий. Применение разрабатываемой автоматизированной системы позволит значительно сократить время освоения новой продукции за счет оптимизации работы инженера-проектировщика на начальных этапах технической подготовки производства, при технологическом обеспечении необходимых показателей качества изготавливаемых деталей и сборки узлов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Цветков В. Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. – Минск: Наука и техника, 1979. – 264 с.
2. Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития / Под общ. ред. М. Л. Хейфеца и Б. П. Чемисова – Полоцкий Государственный Университет. 2002.–364с.

Поступила в редколлегию 20.01.2016 г