

УДК 621.9.025

Ю. П. Ракунов, к.т.н., доц., **В. В. Абрамов**, д.т.н., проф., **А. Ю. Ракунов**, инженер
НИУ Московский государственный строительный университет, Россия
Телефон: +7 (916) 8107126; E-mail: Rakunov1991@mail.ru

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ И РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ МНОГОУРОВНЕВОЙ БАЗОВОЙ ГРУППОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В статье рассматриваются научные основы и методология разработки и внедрения системы многоуровневой базовой технологии, использующей нисходящее и восходящее проектирование групповых технологических процессов (ТП) методом «анализа-синтеза» конструкторско-технологической информации. Разработана структура документов базовой технологии в виде таблиц-матриц, которая позволяет формализовать анализ и синтез различных базовых уровней ТП: автоматический выбор позиционных наладок инструмента, условий выполнения (оптимальных режимов резания) проходов, переходов, позиции и установов (детале-операций). Метод синтеза может быть эффективно использован как для индивидуальной оптимизации обработки крупносерийных деталей, так и для групповой обработки деталей любой сложности в современном серийном и мелкосерийном многономенклатурном производстве.

Ключевые слова: автоматизация проектирования технологических процессов, метод «анализа-синтеза», многоуровневая базовая технология, первичная подсистема, типаж унифицированного режущего инструмента, оптимальные условия резания, критерии оптимизации.

Ю. П. Ракунов, В. В. Абрамов, А. Ю. Ракунов

BASIC SCIENTIFIC PRINCIPLES OF DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF THE SYSTEM OF MULTI-LEVEL BASIC GROUP TECHNOLOGY

The article discusses the scientific foundations and methodology of the development and implementation of a multi-level basic technology system, using top-down and bottom-up design of technological processes (TP) by the method of "analysis-synthesis" of design and technological information. The structure of documents of the basic technology in the form of matrix tables has been developed, which allows you to formalize the analysis and synthesis of various basic TP levels: automated selection of positional tool settings, implementation conditions (optimal cutting modes) passes, transitions, positions and settings (detail-operations). The synthesis method can be effectively used both for individual optimization of processing large-scale parts, and for batch processing of parts of any complexity in modern serial and small-scale multi-item production.

Keywords: automation of the design of technological processes, the method of "analysis-synthesis", multi-level basic technology, the primary subsystem, the type of unified cutting tool, optimal cutting conditions, optimization criteria.

1. Введение

Система автоматизации проектирования технологических процессов (САПР ТП) включает методику выбора схем базирования и установочных приспособлений, типоразмеров инструмента и синтеза инструментальных наладок, в том числе, групповых, назначения, выбора или расчёта режимов обработки при разработке надёжных ресурсосберегающих процессов, обеспечивающих требуемое качество деталей машин и приборов. В современной специальной литературе [1-4,8] излагаются методические основы автоматизированного проектирования ТП в машиностроении, где основное внимание уделено процессам механической обработки заготовок на станках с ЧПУ. Представлены типовая структура САПР ТП и фрагменты автоматизации проектирования технологических детали-операций и переходов на отдельных этапах ТП [1, 3, 4].

Однако существующим САПР ТП присущи **принципиальные недостатки**:
– смешение уровней информации, находящейся на различных уровнях технологии;
– принятие решений при недостатке информации или её избытке;
– отсутствие типажей инструментов, специально спроектированных для осуществления индивидуальной и особенно, групповой обработки;
– отсутствие конкретных технологических рекомендаций по назначению или выбору режимов оптимального резания (РОР), а также данных по качеству обработки и стойкости инструментов при минимально необходимом количестве проходов (рабочих ходов).

Эти недостатки не дают возможности разрабатывать оптимальные групповые ТП, групповые инструментальные наладки для конкретных установов (деталеопераций), например, токарной или фрезерной обработки деталей или групп деталей (заготовок).

За последние 10–15 лет состояние автоматизации синтеза структур ТП изменилось мало. Проблема автоматизированного синтеза единичных, типовых и групповых ТП остаётся важнейшей и наиболее актуальной задачей САПР ТП в машиностроении [1, 3, 4, 8].

Целью создания системы многоуровневой базовой групповой технологии (МБГТ) является развитие технологии как точной науки путём выявления закономерностей и установления взаимосвязей по указанным направлениям и предметам исследования [5-7].

2. Основное содержание и результаты работы

В исследованиях, представленных в работах [1, 3, 4, 10] и др., достаточно убедительно показано, что сложность автоматизации проектирования (синтеза) структур ТП объясняется большим объемом правил проектирования, **слабой их формализацией**, динамичностью схем их применения, определяемых конкретными производственными условиями. Современные системы проектирования характеризуются применением эвристических алгоритмов формирования структур, строго ориентированных на ограниченное число производственных ситуаций, поэтому системы плохо тиражируемы и не адаптивны. Для корректировки решений, облегчения процесса кодирования и ввода исходных данных об изделии применяют диалог пользователя с системой. Однако, даже диалог не позволяет повысить эффективность проектирования структуры ТП, если алгоритмы не были рассчитаны на конкретную производственную ситуацию. Оперативно изменить или дополнить алгоритмическое и программное обеспечение не представляется возможным.

Создание САПР ТП на основе конструктивно-технологических параметров предмета производства (в частности – детали) является одной из наиболее актуальных и нерешенных пока проблем автоматизации проектирования. **Главной причиной этого является отсутствие общего решения проблемы синтеза структур объектов проектирования, инвариантного их классу** [1, 3-6].

Объектом исследования является технологическая (физическая) модель изделия (детали) на основе единой системы признаков, описывающих типоразмеры деталей (заготовок), технологические методы и средства, обеспечивающие номенклатуру, диапазоны и точность формируемых свойств типоразмеров обрабатываемых поверхностей.

Единая система технологических признаков (свойств), учитывающих номенклатуру, диапазон и точность этих свойств, позволяет обеспечить сопоставление, подбор типоразмеров индивидуальных и групповых инструментальных наладок (ГИН), РОР

для каждого типоразмера (модели) инструмента и необходимую эффективность групповых ТП с применением современной компьютерной техники (рис. 1).

Согласно предложенному информационному методу «анализа-синтеза», или системному объектно-структурному подходу, проектирование ТП следует начинать с наименее информативно ёмких задач [2, 5, 6]. При решении задач следующего (нижнего) уровня используют строго дозированную информацию (принадлежащую только к этому уровню) и информацию более высокого уровня, необходимую и достаточную для решения задачи на этом уровне, например, типоразмера, т. е. перехода в структуре ТП. В этом процессе (итерации) смешение уровней информации недопустимо (см. рис. 1) [2-6].

«Смешение уровней информации является проклятием больших систем» – считал отец кибернетики Н. Винер, а «благополучие нации (обрабатывающих и оборонных отраслей промышленности) висит на кончике резца» – сказал другой классик [5].

Разработку вариантов ТП ведут в двух противоположных направлениях (нисходящее – восходящее проектирование): маршруты дифференцируют до уровня базовых установов (типоразмеров детали-операций), а затем техническое содержание конкретного исполнения (моделей) установов синтезируют из технологических элементов нижних уровней: позиций, переходов и рабочих ходов (проходов) [10-13].

Процесс варьирования параметров (параметрической настройки) значительно более формализован и менее зависим от производственной ситуации, поэтому в последнее время появилось много систем, в которых автоматически (или автоматизировано) выполняется параметрическая настройка, а структура ТП формируется вручную, и информация о ней вводится в систему как исходные данные [1, 3, 4]. Такие системы легко адаптируются к производственным условиям, требуют введения относительно небольшого объёма исходных данных и легко воспринимаются специалистами при их внедрении. Однако, эффективность решений в таких системах определяется квалификацией инженера-технолога, – отсутствует возможность оптимизировать структуру объекта проектирования.

В наиболее часто встречающихся оценках состояния автоматизированного синтеза ТП указывается, что при его реализации маршрутная и операционная технологии должны создаваться на основе общих закономерностей проектирования или эвристик, справедливых для ограниченного класса деталей и определённых типов производств [1, 3].

Утверждается, что сформировать закономерности проектирования и критерии ТП, с помощью которых можно было бы разрабатывать весь процесс изготовления деталей, на сегодняшний день не представляется возможным [1, 3, 4]. Теория синтеза структур ТП, несмотря на усилия исследователей, разработана недостаточно.

Структура САПР ТП и состав её подсистем (прежде всего, проектирующих) определяются реализуемой в ней **методологией проектирования** [3-5,10]. Существуют две основные методологии проектирования ТП изготовления изделий машиностроения:

- проектирование типовых ТП на базе использования ТП-аналогов;
- синтез единичных ТП на основе конструктивно-технологических характеристик изготавливаемых изделий.

Процессами-аналогами называют типовые и групповые ТП. Единичный ТП также можно спроектировать на основе процессов-аналогов. В этом случае его структура и

содержание технологических детали-операций в значительной мере определяются структурой процесса-аналога [1, 3, 4].

При использовании метода синтеза ключевым вопросом построения САПР ТП является вопрос о том, как в данной системе осуществляется синтез структуры объектов проектирования: – рабочих ходов (проходов), переходов, позиций, установов (групповых детали-операций) и технологических этапов в маршруте [10-13].

Существуют **принципиально различные подходы к построению САПР ТП**. Известны несколько классификаций методов проектирования ТП, положенных в основу создания соответствующих систем [1, 3, 4, 10].

При разработке технологии производства новых видов изделий при отсутствии типовых ТП, эффективным методом оптимального решения задачи является **метод синтеза**, то есть интегрирования по определённым правилам более высоких уровней ТП из их составляющих: переходов из проходов (рабочих ходов), установов и позиций из переходов, этапов из установов, маршрутов из этапов [6, 10-13].

Для реализации этого подхода разработана структура документов МБТ в виде таблиц-матриц, что позволяет **формализовать процесс синтеза** различных уровней ТП: автоматизированного выбора позиционных инструментальных наладок (ПЗИН), условий осуществления проходов, переходов, позиций и установов (детале-операций).

Рабочие таблицы-матрицы первичной подсистемы по горизонтали начинаются с характеристик технологических видов поверхностей: их геометрической формы, взаимного положения и сопряжения. Путём добавления соотношений параметров поверхностей и технологических признаков метода обработки получаем характеристику типов, определяющих номенклатуру поверхностей, формирование которых возможно данным методом. Дальнейшее дополнение таблиц-матриц информацией о диапазонах всех геометрических параметров и физических свойств, а также точности их выполнения на уровне отдельных проходов и их совокупности, т.е. **переходов**, даёт полную характеристику типоразмеров поверхностей детали [12].

Первичная подсистема МБГТ предусматривает по входным данным о виде и типе поверхностей вращения, их взаимном положении и сопряжении, размерах и требуемых качественных свойствах получение следующей выходной информации:

- тип и типоразмер (ТР) унифицированного режущего инструмента (УРИ) [7, 9, 13];
- материал и геометрия активной части УРИ [7, 9, 11];
- модель УРИ и параметры ПЗИН для выбранного ТР станка (рис. 2);
- режимы оптимального резания: глубина, подача, скорость резания, СОЖ [14-17];
- необходимое исходное состояние поверхности по каждому проходу [12];
- номенклатура и последовательность проходов, т. е. состав перехода [7];
- прогнозируемый ресурс ПЗИН, инструментоёмкость, станкоёмкость, трудоёмкость и другие технико-экономические показатели каждого перехода [13].

Алгоритм синтеза технологических переходов по таблицам-матрицам:

1. Определение номенклатуры проходов по каждой поверхности в их обратной последовательности, т. е. от конечного (финишного) прохода до начального. Таким образом устанавливается полная номенклатура проходов при выполнении перехода в ТР установа, на эскизе, которого указаны все обрабатываемые при этом поверхности.

2. Установление хронологически неразрывной последовательности проходов по поверхностям контуров обработки, которые обходит каждая модель УРИ конкретного

исполнения; при этом состав (номенклатура и последовательность) проходов образует технологический переход [12].

Проход – "одноразовое неразрывное (технологически и хронологически) взаимодействие зоны формирования свойств ($n \geq 1$ точек или линий) с определенными условиями обеспечения сочетаний элементарных свойств (физических и геометрических) единичной поверхности" – является первичным уровнем в структуре ТП.

Переход – номенклатура и последовательность (состав) проходов, выполняемых одной моделью ПЗИН при неизменной позиции (степенях свободы) заготовки относительно векторов инструмента в координатах оборудования.

Оптимизация синтеза ГИН для универсальных токарных станков и станков с ЧПУ позволяет минимизировать количество ТР УРИ в групповом производстве, добиваясь увеличения общего количества высокоточных деталей, обрабатываемых до смены РИ после достижения максимально допустимого износа каждого из них [11-13].

Работа по синтезу (интегрированию) модели установка начинается с первичной подсистемы МБТ, разработанной в таблично-матричной форме и определяющей комплекс условий технологической наследственности на каждом проходе для обеспечения параметров формируемых свойств обрабатываемых поверхностей [5-7]. Это позволяет сопоставлять технологическую модель детали с моделью технологических методов, формирующих свойства на всех этапах ТП, подбирать оптимальный метод и минимизировать количество ТР УРИ, станкоёмкость и технологическую себестоимость.

Метод синтеза хотя бы один раз требует формирования внешних связей между элементами для создания из них элементов более высокого уровня. Этот метод предполагает определение состава элементов, построение новых связей, проверку их достоверности и параметрическую настройку с использованием логических правил и аналитических зависимостей. При использовании аналогов необходимо включать в аналог новые элементы или существенно изменять их последовательность [1, 3, 8, 19].

Подсистема синтеза конкретизирует содержание и дополняет номенклатуру установов последовательным синтезированием номенклатуры и последовательности (состава) входящих технологических событий уровней позиций и переходов из первичных элементов ТП, с учетом конкретных моделей оборудования и возможностей групповых и индивидуальных (специальных), позиционных и детали-операционных (установочных) ИН, а также управляющих программных наладок [10-13].

Типаж унифицированных универсальных резцов (УУР) для групповой и индивидуальной оптимизации обработки на станках с ЧПУ показан на рис. 2.

Заполнение таблицы-матрицы интегрирования до уровня установов для конкретной модели (налаженного) оборудования производится в определённой последовательности:

1. Разбивка всей номенклатуры переходов (по таблице-матрице [12]) с учётом точности взаиморасположения (несоосность, непараллельность, неперпендикулярность) обрабатываемых поверхностей на уровне подсовокупности (типоразмеров) переходов, осуществляемых при обработке заготовки с одной стороны, т.е. на совокупность переходов составляющих номенклатуру позиций токарных установов. При наличии контршпинделя обе позиции выполняются в одном установе (групповой детали-операции).

2. Выбор установочной базы – схемы базирования и ТР установочной оснастки, базовой поверхности на заготовке, исходя из взаиморасположения совокупностей ТР поверхностей – контуров обработки. Формирование групповой установочной наладки.

ОБР. ПОВЕРХН.	ТИП РЕЗЦА	ТИПОРАЗМЕР	КОНСТРУКЦИЯ			Размеры обраб. поверх.	Конструкт. размеры	Геом. в плане	ОБР. ПОВЕРХН.	ТИПОРАЗМЕР	КОНСТРУКЦИЯ			Размеры обраб. поверх.	Конструкт. размеры	Геом. в плане						
			Цв	Цт	Тл						φ	β	φ				φ ₁	град.	φ	φ ₁	град.	
			КОНСТРУКЦИЯ						КОНСТРУКЦИЯ													
			КОНСТРУКЦИЯ						КОНСТРУКЦИЯ													
			КОНСТРУКЦИЯ						КОНСТРУКЦИЯ													
02Цв	02Цв	02Цв	от 2	3	5/03	16	1,5 5,0 7 3 6,5 9,5	90 15	от 2	3	5/03	16	1,5 5,0 7 3 6,5 9,5	90 15	от 2	3	5/03	16	1,5 5,0 7 3 6,5 9,5	90 15		
03Цв	03Цв	03Цв	до 3	5/05	16	1,5 5,0 5,25 9,2 5 2	90 15	до 3	5/05	16	1,5 5,0 5,25 9,2 5 2	90 15	до 3	5/05	16	1,5 5,0 5,25 9,2 5 2	90 15	до 3	5/05	16	1,5 5,0 5,25 9,2 5 2	90 15
04Цв	04Цв	04Цв	от 3	3	5/05	16	2,0 5,0 6,0 9,8 10 3	90 15	от 3	3	5/05	16	2,0 5,0 6,0 9,8 10 3	90 15	от 3	3	5/05	16	2,0 5,0 6,0 9,8 10 3	90 15		
06Цв	06Цв	06Цв	до 2	5/07	16	2,5 5,0 6,0 9,4 7 2	90 15	до 2	5/07	16	2,5 5,0 6,0 9,4 7 2	90 15	до 2	5/07	16	2,5 5,0 6,0 9,4 7 2	90 15	до 2	5/07	16	2,5 5,0 6,0 9,4 7 2	90 15
06Цт	06Цт	06Цт	от 3	3	≤10	105	3,0 5,0 7,0 10,5 13 7	90 15	от 3	3	≤10	105	3,0 5,0 7,0 10,5 13 7	90 15	от 3	3	≤10	105	3,0 5,0 7,0 10,5 13 7	90 15		
06Цт	06Цт	06Цт	до 2	≤15	16	3,0 5,0 6,5 9,8 9 4,3	90 15	до 2	≤15	16	3,0 5,0 6,5 9,8 9 4,3	90 15	до 2	≤15	16	3,0 5,0 6,5 9,8 9 4,3	90 15	до 2	≤15	16	3,0 5,0 6,5 9,8 9 4,3	90 15
06Цт	06Цт	06Цт	от 3	3	≤10	105	3,0 6,0 7,0 10,5 13 7	100 15	от 3	3	≤10	105	3,0 6,0 7,0 10,5 13 7	100 15	от 3	3	≤10	105	3,0 6,0 7,0 10,5 13 7	100 15		
06Цт	06Цт	06Цт	до 2	≤15	16	3,5 7,0 7,0 9 8	100 15	до 2	≤15	16	3,5 7,0 7,0 9 8	100 15	до 2	≤15	16	3,5 7,0 7,0 9 8	100 15	до 2	≤15	16	3,5 7,0 7,0 9 8	100 15
06Цт	06Цт	06Цт	до 1,5	2,5	16	80 8 12	90 15	до 1,5	2,5	16	80 8 12	90 15	до 1,5	2,5	16	80 8 12	90 15	до 1,5	2,5	16	80 8 12	90 15

1. ГАММА РЕЗЦОВ ПОЗВОЛЯЕТ ОБРАБАТЫВАТЬ 80-90% ДЕТАЛЕЙ, ПЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ПУ.
2. СТОЙКОСТЬ РЕЗЦОВ В 2-3 РАЗА ВЫШЕ НОРМАЛИЗОВАННЫХ ИЛИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПАЯНЫХ РЕЗЦОВ.
3. КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДОГО СПЛАВА ПОВЫШАЕТСЯ В 10 РАЗ ДЛЯ РАСТОЧНЫХ И В 3 РАЗА ДЛЯ НАРУЖНЫХ РЕЗЦОВ.
4. ТРУДОЕМКОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗУЩИХ ВСТАВОК ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МНОГОМЕСТНЫХ КАССЕТНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ УМЕНЬШАЕТСЯ В 2 РАЗА

Рисунок 2. Типаж унифицированных универсальных резцов для групповой обработки деталей на автоматизированном оборудовании и прецизионных токарных станках с ЧПУ.

3. Выбор типоразмера базовой модели (или нескольких рабочих моделей) оборудования из технически удовлетворяющих требованиям по диапазону и точности, количеству и схеме рабочей зоны инструмента, организационным соображениям (наличие выбранных станков на участке, в цехе, с учётом загруженности станков) по типуажу с технологическими параметрами и возможностями оборудования.

4. Выбор номенклатуры УРИ в ГИН для каждого станова (детале-операции). Учитывается необходимое количество ПзИН, исходя из напряженности переходов и ресурса каждой ПзИН с учетом возможности их дублирования для повышения стойкости наиболее напряженной, т. е. менее ресурсостойкой. Как правило, это УРИ для обработки наружных цилиндрических поверхностей (бывают внутренние или торцевые – у деталей с преобладающими площадями обрабатываемых торцов) (**блок-схема 1**) [7, 11-13, 15-17].

5. Выбор конкретной (рабочей) модели оборудования из возможных (см. п. 3) по номенклатуре установочных ГИН. Отбор оптимальной модели производится по количеству устанавливаемых УРИ, обеспечиваемой точности обработки и экономическим показателям.

6. Уточнение (синтезирование) рабочей модели (налаженного) оборудования, с установлением конкретных групповых инструментальных наладок [12, 13].

7. Оформление детали-операционной карты группового станова, установочной инструментальной оснастки, с оснащением контрольно-измерительной аппаратурой.

8. Уточнение количества станов (детале-операций) в технологическом этапе.

Оптимизация модели группового или индивидуального станова проводится по критерию максимальной производительности при гарантированном обеспечении необходимых показателей качества деталей. Характер оптимизации зависит от типоразмера производства и, как следствие этого, организационно-технологических условий обработки:

- групповая оптимизация осуществляется для случая разработки технологических процессов в условиях многономенклатурного мелкосерийного производства, когда обработка конкретной детали не загружает станок в течение рабочей смены (определяется критической партией запуска методом «прямого счёта») [11, 12];

- индивидуальная оптимизация осуществляется в случае разработки ТП на деталь, обеспечивающую загрузку оборудования в течение одной или более рабочих смен. Инструмент при этом оптимизируется под изготовление этой массовой детали, включая, при необходимости, изготовление или синтезирование спецрезцов повышенной стойкости;

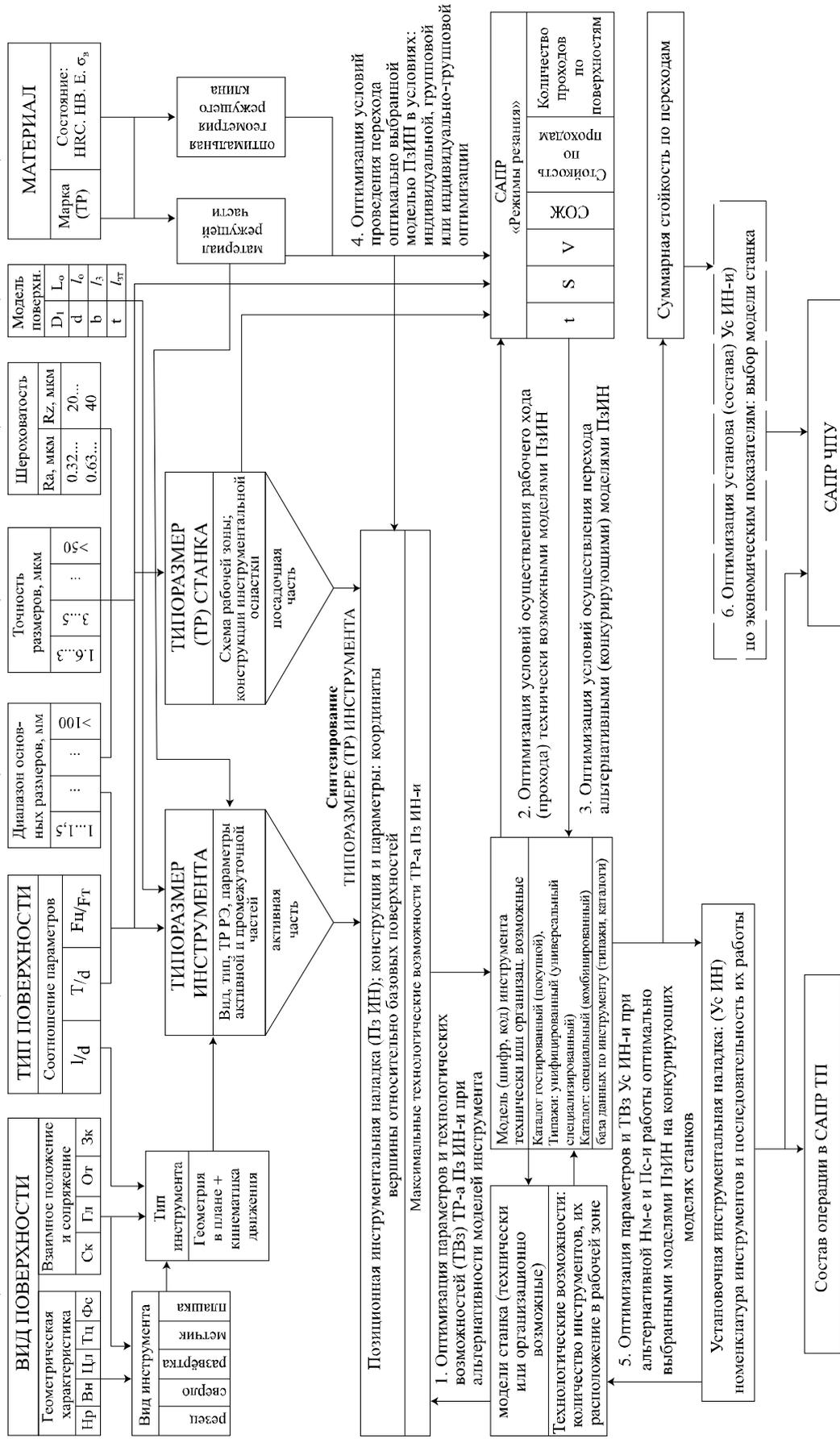
- индивидуально--групповая оптимизация является дополнительной (компромиссной) между индивидуальной и групповой. В этом случае используются ГИН с возможностью замены отдельных позиционных наладок для обработки деталей, подзагружающих групповую наладку до полной загрузки.

ГИН делятся на два вида – контурные (ГИК) и комбинированные (ГИМ). ГИК наладки объединяют в группу наибольшее количество деталей без канавочных и резьбовых поверхностей. Выбор вариантов ГИН выполняется одним из двух методов: универсальному и статистическому – в зависимости от особенностей номенклатуры деталей [11, 13].

Основными **критериями оптимальности** состава и параметров индивидуальных или групповых установочных (детале-операционных) ГИН являются:

БЛОК - СХЕМА 1. ВЫБОР ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАЛАДОК ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТОКАРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Исходная информация: ТИПОРАЗМЕР (ТР) УСТАНОВА (Ус) ДЕТАЛЬ (вход) → операционный эскиз: Номенклатура (Нм), моделей (Мд), обрабатываемых поверхностей



7. Оптимизация номенклатуры и последовательности установов (Ус-ов) – состава детали-операции: синтезирование модели детали-операции

- для УРИ, проводящих финишные (отделочные) проходы – минимальная интенсивность износа, или максимальная площадь обработанной поверхности определенного качества при минимальном или регламентированном размерном износе h_{on} , $\text{дм}^2/\text{мкм}$;

- для УРИ, осуществляющих предварительные проходы – максимально возможная производительность (съём объёма материала в единицу времени Q , $\text{см}^3/\text{мин}$), оцениваемая минимальными машинным временем или себестоимостью обработки.

Все предпринимаемые до настоящего времени попытки оптимизировать технологию механической обработки и условия резания в индивидуальном и групповом производстве практически не могут завершиться успехом, если они не основаны на теории Макарова А.Д., положениях и принципах МБГТ, так как пытаются оптимизировать заведомо неудачный вариант ТП [7, 14, 17-21]. Априори назначаемые периоды стойкости РИ под предлогом того, что так удобно технологам или нормировщикам, без определения оптимальных: скорости резания V_0 и интенсивности относительного поверхностного износа h_{ono} для ТР РИ, является попыткой завуалировать степень незнания (недоисследованности) области применения конкретной модели РИ для модели обрабатываемой поверхности и материала заготовки в конкретном его состоянии: отожженном, нормализованном, улучшенном, закаленном или состаренном [18, 20-23].

На закономерностях и графиках первичной подсистемы разработаны (*впервые в мире*) и даны зависимости качества обработанной поверхности и размерного износа различных ТР УРИ от их стойкости при РОР, указанных в таблицах-матрицах [7, 12, 15-17].

Все резцы из типажа УРИ - сборные с механическим креплением твёрдосплавных многократно перетачиваемых режущих элементов диаметром 1,5...7(9) мм [7, 9-13].

3. Заключение.

Метод синтеза эффективно используется, как при индивидуальной оптимизации обработки крупносерийных деталей, так и при групповой обработке деталей в условиях современного серийного и мелкосерийного многономенклатурного производства [10-13].

Применение метода анализа-синтеза для решения задачи перебора технически возможных вариантов интегрируемых переходов, позиций и установов на профессиональных персональных компьютерах (ПК) при правильном заполнении таблиц-матриц технологом средней квалификации даёт возможность получения оптимального для данного производства ТП механической обработки токарных деталей простой и сложной форм.

Единая система технологических признаков (свойств), учитывающих номенклатуру, диапазон и точность свойств деталей позволяет обеспечить сопоставление, подбор и необходимую эффективность оснастки и РИ при использовании ПК.

Практическое использование системы МБГТ даёт возможность создания базы знаний и баз данных системы автоматизированного сквозного проектирования изделий точного машиностроения, т. е. интегрированных САПР: САЕ/CAD/CAM/CAPP. Это особенно важно для разработки полноценной системы САМ/CAPP (автоматизированная технологическая подготовка производства и проектирование групповых установов ТП).

Преимуществами предлагаемого подхода по сравнению с традиционными являются повышение качества разработанной технологии и сокращение сроков технологической подготовки производства [5-7,9-13]. Внедрение УРИ и РОР вместе с использо-

ванием методики синтеза индивидуальных и ГИН приведёт к гарантированному повышению эффективности машиностроительного и приборостроительного наукоёмкого группового производства при увеличении производительности труда в 2 и более раз [15-17].

Система МБГТ является теоретической основой, позволяющей предсказывать перспективные направления развития технологии и производства, а также исключить неоптимальные, неэффективные технологии. Она создаёт основы для пересмотра физической сущности технологии, её информационного, программно-математического и материального обеспечения. Она позволяет решать задачи Индустрии 3,0 и осуществить переход к цифровой экономике и актуальной концепции 4,0 [11-17, 22-24].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Акулович, Л. М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении: учеб. пособие / Л. М. Акулович, В. М. Шелег – Минск: Новое знание. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 488 с.
2. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
3. Кондаков, А. И. САПР технологических процессов: учебник для студентов высших учебных заведений / А.И. Кондаков – М.: Академия, 2007. – 272 с.
4. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования / И. П. Норенков. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2009.
5. Ракунов, Ю. П. Идеология и структура построения системы многоуровневой базовой технологии / Ю.П. Ракунов, Н.А. Золотова Н. А. // Сб. материалов науч.-практ. конф. «Технологическое обеспечение качества машин и приборов». – Пенза, 2004.
6. Ракунов, Ю. П. Разработка системы многоуровневой базовой технологии / Ю.П. Ракунов // Наукоёмкие технологии в машиностроении. – № 1, 2012. – С. 40-46.
7. Ракунов, Ю. П. Первичная подсистема многоуровневой базовой технологии / Ю.П. Ракунов // Наукоёмкие технологии в машиностроении. – № 3, 2012. – С. 23-31.
8. Справочник технолога // Под ред. А. Г. Сулова. М.: Машиностроение, 2019. – 678 с.
9. Патент № 2226453 РФ, Многократно перетачиваемый резец: / Ракунов Ю. П., Хрульков В. А., Золотова Н. А., Тихонов Н. А. – Бюл. № 10, 2004.
10. Ракунов, Ю. П. Методология построения подсистемы синтеза многоуровневой базовой технологии в групповом производстве / Ракунов Ю.П., Золотова Н. А. // Сб. материалов науч.-практ. конф. «Технологическое обеспечение качества машин и приборов». – Пенза, 2004.
11. Ракунов, Ю. П. Оптимизация синтеза инструментальных наладок для станков с ЧПУ / Ю.П. Ракунов // Конструктор-машиностроитель. – 2010. – № 3. – 5 с.
12. Ракунов, Ю. П. Подсистема синтеза многоуровневой базовой технологии / Ю.П. Ракунов // Наукоёмкие технологии в машиностроении. – № 10, 2012. – С. 36-46.
13. Ракунов, Ю. П. Разработка САПР оптимальных групповых процессов токарной обработки на станках с ЧПУ / Ю.П. Ракунов, В. В. Абрамов // Справочник. Инженерный журнал, приложение. – 2015. – № 7. – С. 1-29.
14. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания / А.Д. Макаров. – М.: Машиностроение, 1976. – 278 с.
15. Ракунов, Ю. П. Управление качеством токарной обработки высокоточных деталей машин / Ю.П. Ракунов // Наукоёмкие технологии в машиностроении. –2013. – № 2. – С. 36-48.

16. Ракунов, Ю. П. Сравнение методов оптимизации режимов резания при механической обработке деталей машин / Ю. П. Ракунов, В. В. Абрамов // Механизация строительства. – 2015. – №11. – С. 22-26.

17. Ракунов, Ю. П. Роль скорости резания и радиуса округления режущего клина в эффективности тонкой механической обработки труднообрабатываемых материалов / Ю. П. Ракунов, В. В. Абрамов, А. Ю. Ракунов // Журнал «Станкоинструмент». 2020. – № 1. – С. 66-72.

18. Грубый, С. В. Оптимизация процесса механической обработки и управления режимными параметрами / С. В. Грубый. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 149 с.

19. Балла, О. М. Обработка деталей на станках с ЧПУ. Оборудование. Оснастка. Технология / О.М. Балла. – СПб.: Лань, 2015. – 365 с.

20. Звонцов, И. Ф. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ: учебное пособие / И. Ф. Звонцов, К. М. Иванов, П. П. Серебrenицкий – 2-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2018. – 588 с.

21. Копылов, Ю. Р. Компьютерные технологии в машиностроении (практикум, CD): учебное пособие / Ю. Р. Копылов. – Воронеж: Научная книга, 2012. – 508 с.

22. Machining: fundamentals and recent advances / Ed. J. Paulo Davim. Springer, 2008. – 361 p.

23. Klocke, F. Manufacturing Processes. Cutting. Springer, 2011. – 500 p.

24. Форсайт «Россия»: Новое индустриальное будущее. Т. 1 / под ред. С. Д. Бодрунова. – СПб: ИНИР, 2018.

Поступила в редколлегию 12.04.2020 г.