

# Информационно-технологические основы системы автоматизированного проектирования многоуровневой базовой групповой технологии

## Часть II

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

Рассматриваются информационно-технологические принципы и методология системы многоуровневой базовой групповой технологии (МБГТ), использующие нисходящее и восходящее проектирование технологических процессов (ТП) методом «анализа-синтеза» конструкторско-технологической информации. Применение метода синтеза для решения задачи перебора технически возможных вариантов интегрируемых переходов, позиций и установов на профессиональных персональных компьютерах при правильном заполнении таблиц-матриц технологом средней квалификации дает возможность получения оптимального для существующего производства ТП механической групповой обработки высокоточных токарных деталей простой и сложной формы. Система МБГТ позволяет формализовать процесс принятия решения на оптимальном уровне по синтезу групповых инструментальных наладок, выбору модели унифицированного инструмента и режимов резания с реальным прогнозом стойкости резцов. Преимуществами предлагаемого подхода по сравнению с традиционными являются существенное повышение качества разработанной групповой технологии и резкое сокращение сроков технологической подготовки современного высокотехнологичного прецизионного производства.

**Ключевые слова:** многоуровневая базовая технология, нисходящее и восходящее проектирование, автоматизация проектирования, метод «дедукции-индукции», метод «анализа-синтеза», принципы разработки и типаж унифицированного инструмента, групповая прецизионная технология, оптимизация процессов механической обработки

УДК 621.9 | ВАК 2.5.5 DOI: 10.22184/2499-9407.2024.37.4.56.63

**Установ (групповой)** – состав позиций и переходов, выполняемых детапеоперационным комплектом ПИН при одноразовом базировании и закреплении заготовки(ок) в приспособлении на оборудовании. **Модель установка** определяет точный адрес рабочего места с его атрибутами, то есть наладками: установочной, инструментальной и программной. Модель группового установка определяет технико-экономические показатели: инструментальность, трудоемкость, станкостоемость и технологическую себестоимость по сравнению с альтернативными вариантами детапеопераций ГТП, так как позволяет применять к определению перечисленных показателей метод «прямого счета» [6–10].

Известен ряд концептуальных подходов к решению проблемы синтеза структур ГТП. Однако каждый из них обладает рядом недостатков, в том числе и принципиальных, которые делают невозможным создание эффективно работающих САПР ГТП на их основе [1, 3–7, 12–16].

Восходящий метод (синтеза) позволяет легко адаптировать традиционные инженерные методики расчета, объединяя аналитически и таблично заданные значения и реализуя итерационные схемы вычислений (блок-схема 1 [10]). Проектирование можно вести, как с использованием аналогов, так и без них. При использовании аналогов необходимо включать в аналог новые элементы ТП или существенно изменять их последовательность [1, 3, 10].

Подсистема синтеза конкретизирует содержание и дополняет номенклатуру детапеопераций последовательным синтезированием номенклатуры и последовательности (состава) входящих технологических событий следующих уровней: установов, позиций и переходов из первичных элементов технологических процессов, с учетом конкретных моделей оборудования, возможностей групповых и индивидуальных (специальных), позиционных и детапеоперационных (установочных) инструментальных наладок, а также управляющих программных наладок [6–11, 15, 17].

Заполнение **таблицы-матрицы интегрирования моделей групповых установов** по уровням для конкретной модели (наладенного) оборудования производится в определенной последовательности [10, с. 42–43]:

1. Разбивка всей номенклатуры переходов (по таблице-матрице [9]) с учетом точности взаиморасположения (несоосность, непараллельность, перпендикулярность) обрабатываемых поверхностей (ОП) на уровне типоразмеров переходов, осуществляемых при обработке заготовки с одной стороны, то есть на совокупность переходов составляющих номенклатуру позиций токарных установов. При наличии контршпинделя обе позиции выполняются в одном установе.
2. Выбор установочной базы – схемы базирования и типоразмера установочной оснастки, базовой поверхности на заготовке, исходя из взаиморасположения совокупностей поверхностей – контуров обработки.

Формирование установочной групповой наладки, выбор зажимного приспособления.

3. Выбор типоразмера базовой модели (или нескольких рабочих моделей) оборудования из технически удовлетворяющих требованиям по диапазону и точности, количеству и схеме рабочей зоны инструментальной наладки, организационным соображениям (наличие выбранных станков на участке, или в цехе, с учетом загруженности станков) по типу с технологическими возможностями УРИ [9–11] и параметрами оборудования.
4. Выбор номенклатуры инструментов в ГИН для каждого установка. Учитывается необходимое количество ПИН, напряженность переходов и ресурс ПИН с учетом возможности их дублирования для повышения стойкости наиболее напряженной, то есть менее ресурсостойкой. Как правило, это инструмент для обработки наружных цилиндрических поверхностей (могут быть внутренние или торцевые – у деталей с преобладающими площадями обрабатываемых торцов).
5. Выбор конкретной (рабочей) модели оборудования из возможных (см. п. 3) по номенклатуре установочных (детапеоперационных) ГИН. Отбор оптимальной модели производится по количеству устанавливаемых УРИ, обеспечиваемой точности обработки каждой элементарной поверхности и экономическим показателям методом прямого счета [9–11, 17–19].
6. Определение последовательности и количества переходов с учетом коэффициента уточнения и технологической наследственности при обработке резанием [10, 11].
7. Синтезирование (уточнение) рабочей модели настроенного оборудования с назначением конкретных ГИН, установочной и программной наладками.
8. Оформление детапеоперационной карты установка, установочной групповой инструментальной оснастки, с оснащением необходимой контрольно-измерительной аппаратурой.
9. Уточнение количества групповых детапеопераций (установов) в технологическом этапе.

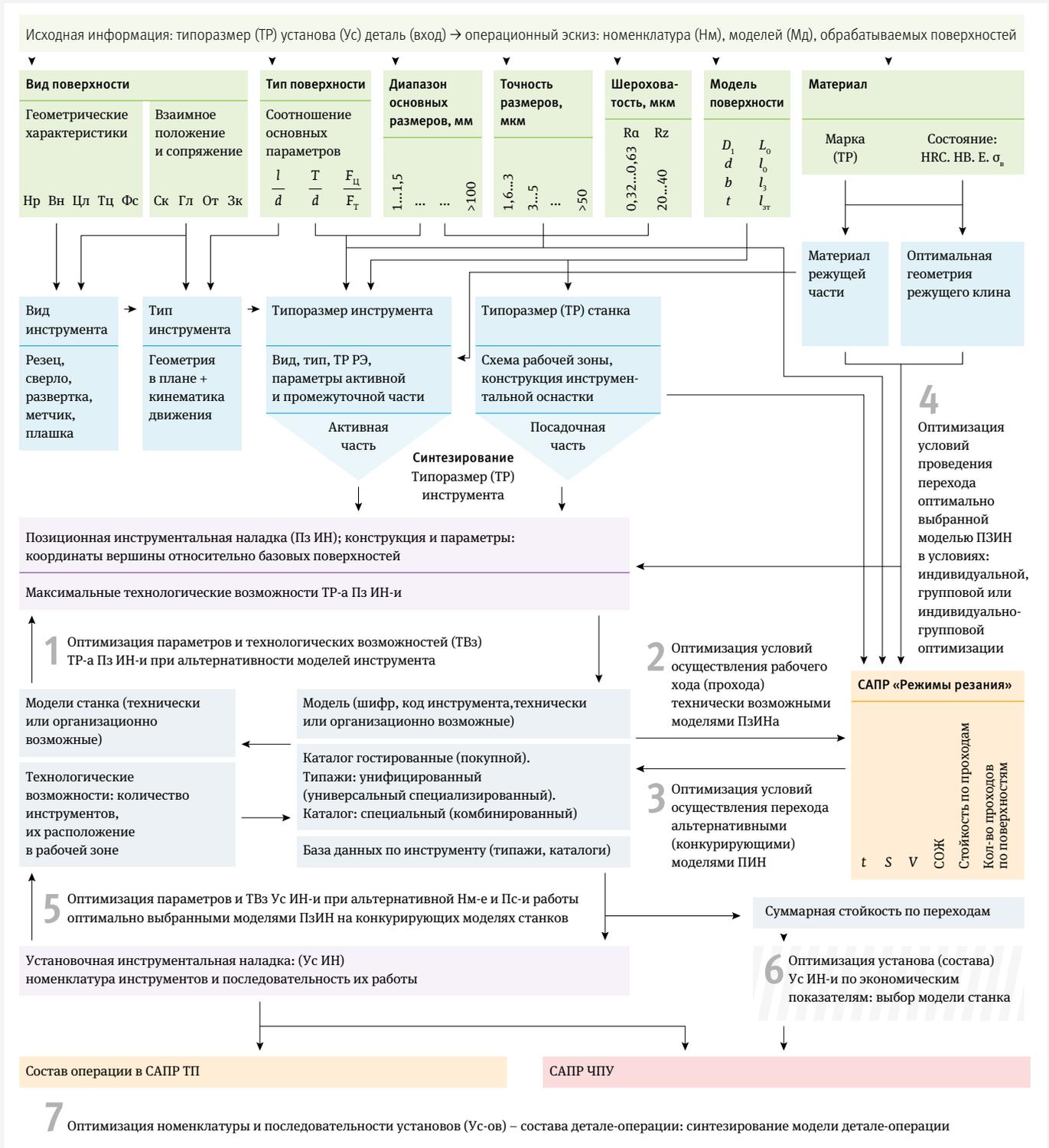
Оптимизация модели группового установка проводится по критерию максимальной производительности или минимальной технологической себестоимости при обеспечении необходимых показателей качества деталей.

Характер оптимизации зависит от вида и типа производства и, как следствие этого,

- **групповая оптимизация** осуществляется для случая разработки ГТП в условиях многономенклатурного мелкосерийного производства, когда обработка конкретной детали не загружает станок в течение рабочей смены (определяется критической партией запуска методом «прямого счета») [10, 11];

- **индивидуальная оптимизация** осуществляется в случае разработки технологического процесса на деталь, обеспечивающую загрузку оборудования в течение одной или более рабочих смен. УРИ при этом оптимизируется под изготовление этой массовой детали,

- включая, при необходимости, изготовление специальных резцов повышенной стойкости;
- **индивидуально-групповая оптимизация** является компромиссной между индивидуальной и групповой. В этом случае используются ГИН, с возможностью



Блок-схема 1. Выбор инструментальных наладок для автоматизированного токарного оборудования

смены отдельных позиционных инструментальных наладок для обработки деталей, подзагружающих групповую наладку до полной загрузки.

Основными критериями оптимальности состава и параметров установочных (деталеоперационных) ГИН являются:

- для УРИ, осуществляющих финишные проходы – минимальная интенсивность износа, то есть максимальная площадь ОП заданного качества:  $[dm^2/mкм]$  при минимальном или заданном размерном износе;
- для УРИ, осуществляющих предварительные проходы – максимально возможная производительность (съем определенного объема материала в единицу времени:  $[см^3/мин]$ ), оцениваемая минимальным машинным временем или минимальной технологической себестоимостью обработки.

Создание гибких автоматизированных производств (ГАП), внедрение «безлюдной» групповой технологии требует решения вопросов идентификации прежде всего процесса износа режущего инструмента (РИ) как составной части автоматического управления технологического процесса резания (ТПР). Структурная и параметрическая идентификация модели износа РИ в этих условиях требует своего скорейшего решения. Особенность ТПР не позволяет применять методы прямого измерения для определения текущего износа РИ. Эти методы позволяют или производить измерения периодически после выхода режущего лезвия из зоны резания (например, при фрезеровании), или фиксировать значения суммарного износа после окончания прохода при точении. Прямые методы измерения не позволяют осуществлять оперативную диагностику РИ и прогнозировать время выхода его из строя. Особенно это относится к РИ, использующих ресурсозатратные неперетачиваемые СМП, для которых кривые износа отличаются большим (повышенным) участком приработочного износа (составляет от 0,25 до  $0,3h_{здоп}$ ). Также СМП характеризуются непрогнозируемостью износа и момента выхода РИ из строя, так как геометрию изношенной СМП и ее режущего клина трудно представить умозрительными рассуждениями и тем более практически невозможно получить аналитически расчетным путем (см. рис. 4 и 5).

Следовательно, для создания так называемых импроцессных (для измерения текущего износа РИ без прерывания ТПР) [6, 7, 9] преобразователей (датчиков) износа РИ необходимо использовать косвенные методы. Для этого эффективно использовать явления, сопровождающие ТПР (механо-физические, тепловые, электрические, акустические и др.). Импроцессные преобразователи (датчики) износа РИ, созданные на базе корреляционной взаимосвязи между износом и силой, температурой резания, вибрацией РИ, потребляемой мощностью электродвигателя привода главного движения станка не удовлетворяют одному (или нескольким) из требований по точности, быстрдействию

измерения, чувствительности, помехозащищенности, надежности технологического оборудования и систем управления. Исследования по созданию импроцессных преобразователей (датчиков) на основе выявленных взаимосвязей между износом РИ и акустоэлектрической эмиссией (волн напряжения) [7] и параметрами переменной составляющей термо-ЭДС показывают их перспективность, но требуют решения сложных вопросов помехозащищенности маломощных сигналов в условиях существенной зашумленности производственной среды, в которой находится технологическое оборудование, построения информативных математических моделей и создания промышленных образцов преобразователей (датчиков) [7]. Выявленная взаимосвязь [7,9,12] между электропроводимостью контакта «инструмент – заготовка» (КИЗ) и износом РИ открывает возможность создания новых эффективных методов и способов контроля и управления текущим износом РИ.

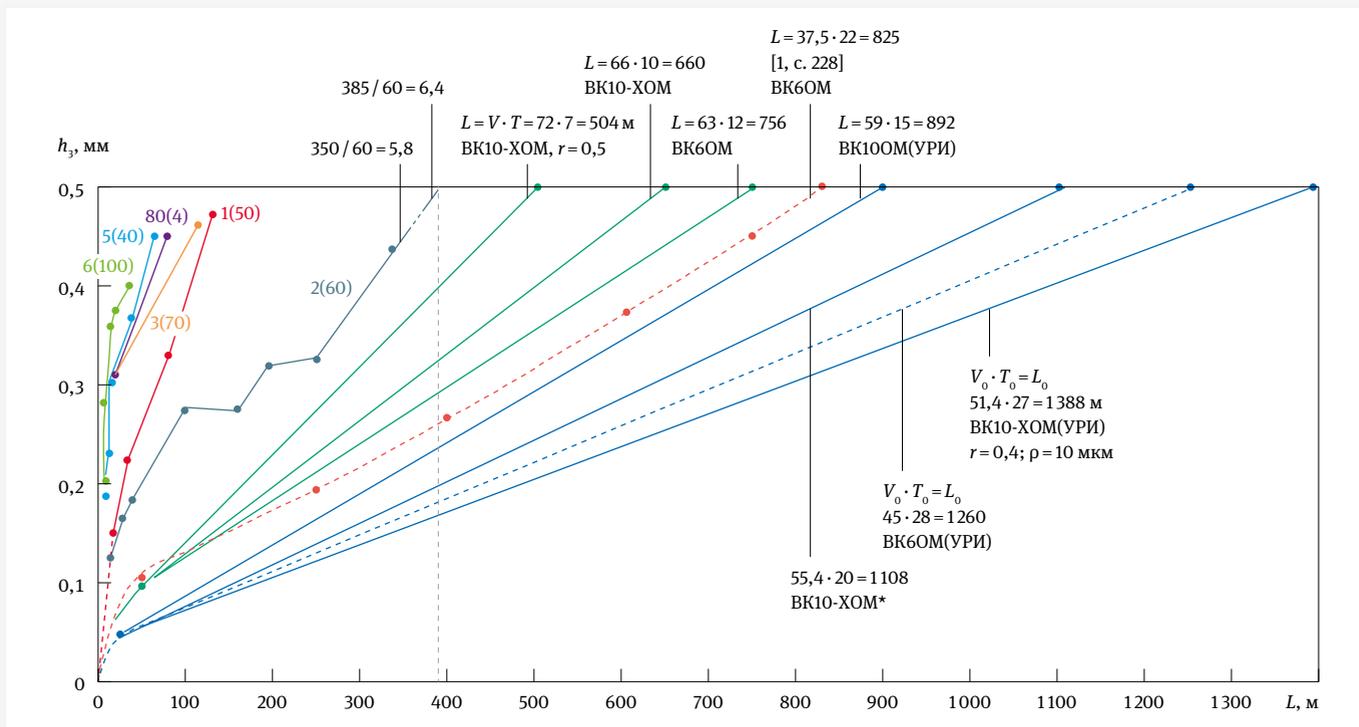
Размерная стойкость УРИ характеризуется показателями, приведенными в табл. 7 [12]. Из всех критериев размерной стойкости УРИ лишь  $h_{он}$  и  $T_{ур}$  являются универсальными, так как только они создают возможность без всякого ограничения объективно сопоставлять размерную стойкость различных ТР УРИ при их работе с любыми возможными сочетаниями ( $V$  и  $S$ ) и работе их до разной степени износа [4–6, 8, 9, 15–21] (рис. 6).

Таким образом, оптимальная скорость резания  $V_o$  и оптимальный поверхностный относительный износ  $h_{оно}$  являются важнейшими и объективными характеристиками обрабатываемости ОМ резанием, а величина  $h_{оно}$ , кроме того, является универсальным критерием размерной стойкости РИ. Величина  $h_{оно}$  характеризует надежность получения точности обработки на финишных (отделочных) переходах, в отличие от периодов стойкости  $T$  и соответствующей ей скорости резания  $V_T$ , используется для расчетов точности групповой обработки, при проектировании и отладке станков с ЧПУ, а также ГТП на специальных станках [9–12].

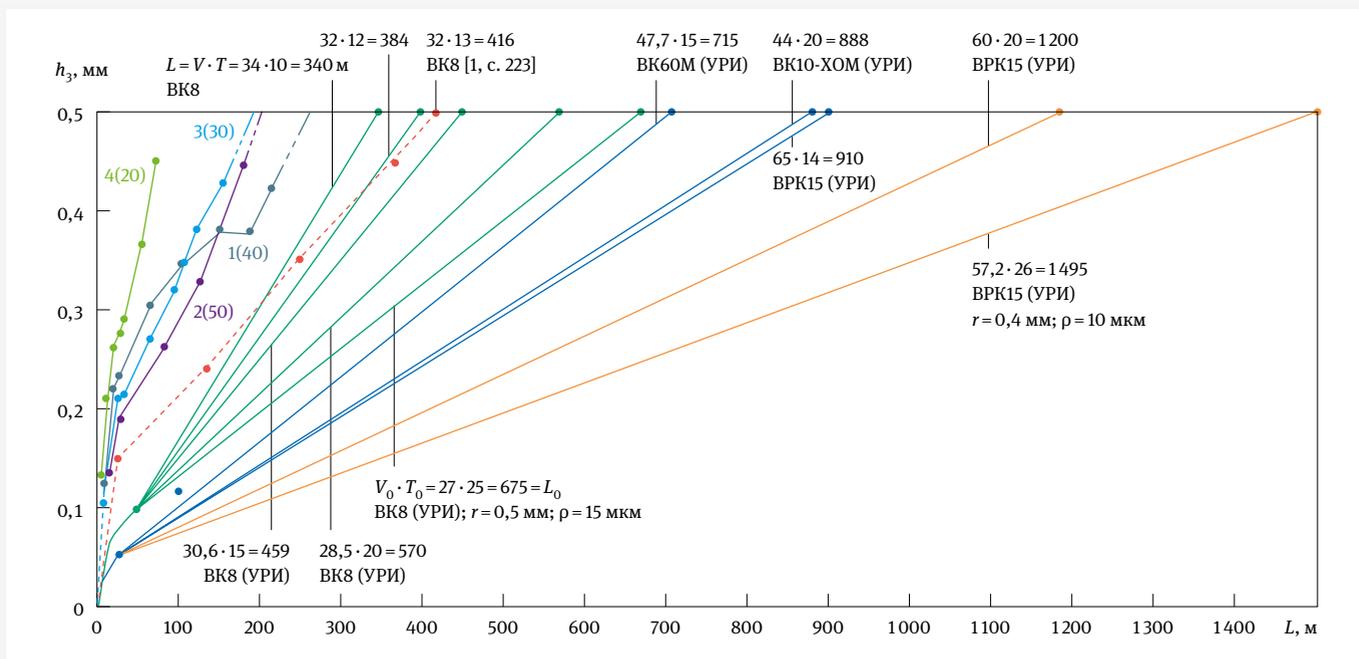
В отличие от  $V_o$  скорость резания  $V_T$  не раскрывает резервов повышения размерной стойкости РИ (УРИ), а в ряде случаев использование  $V_T$  приводит к выбору совершенно нерациональных РР, соответствующим левым (ниспадающим) ветвям кривых  $h_{он} = f(V)$ . Это происходит в том случае, когда зависимость  $T = f(V)$  устанавливается при работе на относительно высоких  $V$ , которым соответствуют периоды стойкости значительно меньшие, чем  $T_o$ , а скорость резания  $V_T$  находится путем экстраполяции зависимости  $T = f(V)$  на заданный период стойкости  $T$ . Такого рода ошибочные рекомендации, к сожалению, проникли и приняты к действию в некоторых нормативах по РР [6, 9, 12–14, 16, 18, 20].

## Обсуждение результатов

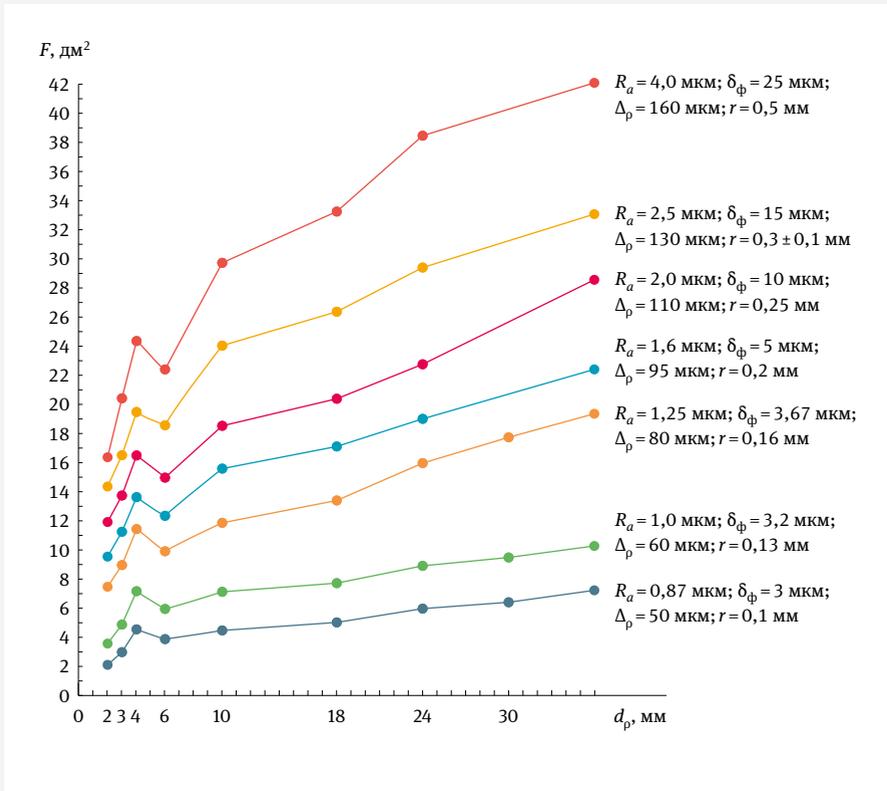
Понятие «**комплексная деталь**», на котором построены все используемые САПР ГТП и разработанные в прошлом, эклектично, является избыточной с точки зрения



**Рис. 4.** Зависимость износа РИ от пути резания пластины (СМП) фирмы Sandvic Coromant из т/с S05F с покрытием при точении сплава ХН7ЗМБТЮ ( $t = 0,5 \text{ мм}; S = 0,1 \text{ мм/об.}$ ) на скоростях резания  $V, \text{ м/мин}$ : 1–50, 2–60, 3–70, 4–80, 5–40, 6–100. Сравнение идет с УРИ: (ПУН:  $20 \times 20 \text{ мм}$ , РЭ составной  $\phi 7 \text{ мм}$ ,  $\rho = 10 \text{ мкм}$ ,  $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$ ,  $\gamma = 12^\circ$ ,  $\lambda = -3^\circ$ ,  $R = 0,6 \text{ мм}$ ,  $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$ ); марка т/с РЭ указана на графике. Оптимальные скорости резания  $V_0$  от 45 до 66 м/мин



**Рис. 5.** Зависимость износа РИ от пути резания пластины (СМП) фирмы Sandvic Coromant из т/с Н13А (BK8) при точении сплава ХН7ЗМБТЮ ( $t = 0,5 \text{ мм}; S = 0,1 \text{ мм/об.}$ ) на скоростях резания  $V, \text{ м/мин}$ : 1–40, 2–50, 3–30, 4–20. Сравнение идет с УРИ: (ПУН:  $20 \times 20 \text{ мм}$ , РЭ составной  $\phi 7 \text{ мм}$ ,  $\rho = 10 \text{ мкм}$ ,  $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$ ,  $\gamma = 12^\circ$ ,  $\lambda = -3^\circ$ ,  $R = 0,6 \text{ мм}$ ,  $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$ ); марка т/с РЭ указана на графике. Оптимальные скорости резания  $V_0$  от 27 до 65 м/мин – на графике



**Рис. 6.** Зависимость площади обработанной поверхности определенного качества, полученного финишным точением на станке с ЧПУ высокой точности унифицированными РИ типоразмеров: **02Цв, 03Цв, 04Цв; 06Цт, 10Цт, 18Цт, 24Цт, 36Цт** при условии экономической стойкости на оптимальной скорости резания (при оптимальной температуре резания). Пара материалов: сталь 12Х18Н10Т – ВК60М. РОР назначены по таблицам-матрицам первичной подсистемы МБГТ [9, 18, 19] ( $\Delta_p$  – размерный износ УРИ;  $\delta_\phi$  – погрешность формы поперечного сечения цилиндра)

количества переходов, а значит типоразмеров инструментов в ГИН, необходимых для ее обработки. Следовательно, ГИН, реально скомплектованная для обработки нереальной детали – *нонсенс* (недоразумение), которое вносит путаницу в распределение типоразмеров РИ по типоразмерам поверхностей и усложняет инструментальную и программную наладку при обработке реальных деталей в такой искусственно скомпелированной группе.

Восходящий метод (синтеза) проектирования и обеспечения ГТП изготовления высокотехнологичных изделий машиностроения (алгоритмический подход) обеспечивает распределение моделирующей информации по различным уровням технологии. Этот подход основан на последовательной схеме принятия решений, формируемой согласно упорядоченному набору физических и математических моделей синтеза ГИН и расчетов технико-экономических параметров ГТП. В отличие от реляционно-иерархических структур данных при разработанном алгоритмическом подходе переход на следующий уровень моделирования происходит на основании расчета по гибкому алгоритму в жесткой структуре математических моделей [4–11].

Метод синтеза эффективно используется как при индивидуальной оптимизации обработки крупносерийных деталей, так и при групповой обработке деталей на современном мелкосерийном многономенклатурном производстве (см. блок-схему 1) [6, 7, 9–11, 14–19]. Предложенные алгоритм и блок-схемы являются логической и методической основой

подсистемы надежного принятия оптимальных технологических решений в системе МБГТ.

## Выводы и рекомендации

1. Применение метода синтеза для решения задачи перебора технически возможных вариантов интегрируемых переходов, позиций и установов на профессиональных персональных компьютерах (ППК) при правильном заполнении таблиц-матриц технологом средней квалификации дает возможность получения оптимального для существующего производства ГТП механической обработки высокоточных токарных деталей простой и сложной формы. Единая система технологических признаков, учитывающих номенклатуру, диапазон и точность свойств ОП деталей позволяет обеспечить сопоставление, подбор и необходимую эффективность технологии при использовании компьютерной техники [6–10, 13–19].
2. При использовании скорости резания  $V_T$  остается неизвестным предел допустимого снижения скоростей резания, проводимого в целях повышения периода стойкости РИ. Отсутствие данных о величине  $V_0$  на практике затрудняет выбор режимов оптимального резания, соответствующих наиболее полному использованию режущих свойств РИ. Использование скорости  $V_0$  в качестве критерия обрабатываемости дает решение задачи установления РОР, являющейся важнейшей

научно-технической и экономической проблемой машиностроения [1, 3–7, 9–12, 18].

3. При работе на скорости  $V_0$  достигается наивысшая размерная стойкость РИ, а его расход и погрешность обработки, связанные с износом РИ – минимальны (см. рис. 67, [12], с. 92).
4. Работа на скорости  $V_3$  вместо  $V_0$  приводит к некоторому снижению себестоимости обработки и размерной стойкости РИ (УРИ), а его расход возрастает (см. рис. 67 [12]).
5. При экстремальном характере зависимостей  $h_{\text{оп}}=f(V)$  максимум размерной стойкости наблюдается при  $V_0$ . Поэтому в тех случаях, когда требуется выбрать или назначить РОР, обеспечивающий эту стойкость РИ (УРИ) и точность обработки, что особенно важно в условиях автоматизированного группового производства, то отсутствует всякая свобода в выборе периода  $T$  стойкости РИ. В таких случаях вообще не следует выбирать какой-либо  $T$ , а после назначения  $t$  и  $S$  необходимо сразу **принять оптимальную для сечения среза скорость резания  $V_0$** . Размерная стойкость УРИ и путь резания  $L$  при этом будут максимальными. Стойкость  $T$  в этом случае может быть самая различная, зависящая от свойств ОМ и ИМ, типоразмера РИ (УРИ) и других технологических факторов (см. рис 7).
6. Период стойкости  $T$  не является физической величиной, так как время работы РИ (УРИ) вне условий ведения процесса резания не может быть показателем работоспособности данного типоразмера РИ при обработке заготовки из данного материала в конкретном его физическом состоянии (НВ, прочность, состояние поставки и т.д.). Для каждого типоразмера УРИ стойкостная зависимость  $T-V$  оригинальна даже при одном и том же ОМ и одинаковых РР, поскольку отличаются жесткость обрабатываемой заготовки и активной части РИ, а также условия теплоотвода из зоны резания, которые обуславливают температуру резания [6, 7, 9, 12, 18].
7. Каким бы малым ни оказался период стойкости при работе на скорости  $V_0$ , любая попытка повышения  $T$  путем снижения  $V < V_0$  является недопустимым, так как неизбежно приведет к снижению размерной стойкости РИ, точности и качества обработки. Тем более недопустимым является завышение скорости выше экономической:  $V > V_e$  до скорости максимальной производительности  $V_{\text{мп}}$  – это «убивает» РИ – приводит к катастрофическому износу и повышает его расход в разы.
8. Выбор и назначение РОР для типоразмеров УРИ, специально спроектированных для групповой обработки деталей, должны осуществляться по таблицам-матрицам первичной подсистемы МБГТ [9–11, 18, 19] или номограммам [12, 21], **разработанным авторами на основании теории профессора Макарова А. Д.** и проверенным на практике авиационных, приборостроительных, агрегатных и двигателестроительных заводов.

## Заключение

Теоретическое и практическое применение системы МБГТ дает возможность создания базы знаний и баз данных системы автоматизированного сквозного проектирования изделий точного машиностроения, то есть интегрированных САПР: САЕ / САР / САМ / САРР. Это важно для разработки полноценной системы САМ / САРР (автоматизированная технологическая подготовка группового производства и проектирование моделей установов, то есть групповых детапеопераций ГТП).

Восходящий метод (синтеза) и алгоритмический подход по сравнению с традиционными обеспечивает существенное повышение качества разработанной технологии и резкое сокращение сроков технологической подготовки группового производства.

Внедрение типажей УРИ и РОР в совокупности с использованием методики синтеза ГИН дает повышение точности механической групповой обработки, стабильности качества продукции, эффективности производства и производительности труда в **2,2...2,5** раза.

Система МБГТ является основой, позволяющей предсказывать перспективные направления развития технологии и совершенствования производства, а также исключить неоптимальные, неэффективные технологии. Она создает основы для пересмотра физической сущности групповой технологии, ее информационно-программно-математического и материального обеспечения. Она также создает основы для рассмотрения и учета физической сущности технологии в аспекте кинетики и протекания механо-физико-химических процессов в контакте «инструмент-деталь», позволяет оптимизировать и адаптировать индивидуальные и групповые технологические процессы к условиям конкретного производства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Акулович Л. М., Шелег В. М.** Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении: 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. М.: Академия, 2007. 272 с.
4. **Норенков И. П.** Основы автоматизированного проектирования М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 450 с.
5. **Старостин В. Г., Лелюхин В. Е.** Формализация проектирования технологических процессов механической обработки резанием. М.: Машиностроение. 1986. 136 с.
6. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих ин-

- струментов / Под ред. С. Н. Корчака. М.: Машиностроение. 1988. 349 с.
7. Управление технологическими процессами в машиностроении / Под общ. ред. В. Ц. Зориктуева. Старый Оскол – Москва: ТНТ, 2010. 512 с.
  8. **Макаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П.** Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. М.: Наука, 2006. 333 с.
  9. **Ракунов Ю. П.** Первичная подсистема многоуровневой базовой технологии // Научные технологии в машиностроении. 2012. № 3. С. 23–31.
  10. **Ракунов Ю. П.** Подсистема синтеза многоуровневой базовой технологии // Научные технологии в машиностроении. 2012. № 10. С. 36–46.
  11. **Ракунов Ю. П., Абрамов В. В.** Разработка САПР оптимальных групповых процессов токарной обработки на станках с ЧПУ // Справочник, Инженерный журнал, приложение. 2015. № 7. С. 1–29.
  12. **Макаров А. Д.** Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение. 1976. 264 с.
  13. **Henderson-Kelly D. L., Grayson R. L.** Group technology in the Australian Aircraft industry. Austral. Conf. Manuf., Eng., 1977, August.
  14. **Peters J., Dumond W., Van Dyck F.** Group technology at work. Amer. Machinist. 1974. No. 19.
  15. **Ракунов Ю. П.** Применение метода анализа-синтеза для проектирования многоуровневой базовой групповой технологии // Автоматизированное проектирование в машиностроении. СПб: НИЦ МС. 2022. № 12.
  16. **Teti R. and Kumara S. R. T.** Intelligent Computing Methods for Manufacturing Systems, CIRP Ann-Manuf. Technol., vol. 46, pp. 629–652, 1997.
  17. **Ракунов Ю. П., Абрамов В. В., Ракунов А. Ю.** Методика синтеза установочных групповых инструментальных наладок. Часть 1. // СТАНКОИНСТРУМЕНТ. 2020. № 4. 2020. С. 68–75; Часть 2 // СТАНКОИНСТРУМЕНТ. 2021. № 1. С. 70–79.
  18. **Ракунов Ю. П., Абрамов В. В., Ракунов А. Ю.** Критерии обрабатываемости труднообрабатываемых материалов, оптимизация инструмента и режимов резания в прецизионном групповом производстве // СТАНКОИНСТРУМЕНТ. 2021. № 4. С. 62–72.
  19. **Ракунов Ю. П., Абрамов В. В., Ракунов А. Ю.** Взаимодействие подсистем: первичной и синтеза в системе многоуровневой базовой групповой технологии. Часть 1 // СТАНКОИНСТРУМЕНТ. 2023. № 3. С. 58–64; Часть 2 // СТАНКОИНСТРУМЕНТ. 2024. № 1. С. 50–59.
  20. **Wang L. H., Torngren M., Onori M.** Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing, J. Manuf. Syst., vol. 37, pp. 517–527, 2015.
  21. **Ракунов Ю. П., Абрамов В. В., Ракунов А. Ю.** Номограммы выбора подач и скоростей резания исходя из требуемой шероховатости обработки и износа унифицированных резцов // Magyar Tudományok Journal, Budapest, Hungary, No. 33, 2019, pp. 10–15.
  22. Резец: Патент РФ № 2170160 / Калмыков В. И., Ракунов Ю. П., Хрульков В. А., Петровская Т. М., Золотова Н. А., Борисенко Н. Н. Бюл. № 19, 2001.

### Авторы

**Ракунов Юрий Павлович** – кандидат технических наук, доцент Национального исследовательского Московского государственного строительного университета

**Абрамов Валерий Васильевич** – доктор технических наук, профессор Национального исследовательского Московского государственного строительного университета

**Ракунов Александр Юрьевич** – инженер Национального исследовательского Московского государственного строительного университета



**ТЕЛЕГРАМ-КАНАЛ**  
**НАУЧНОГО ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»**

- Онлайн репортажи с крупнейших выставок отрасли
- Анонсы мероприятий с участием технических экспертов
- Скидки на журналы издательства до 25%
- Конкурсы и розыгрыши от ведущих компаний
- Книжные новинки и презентации новых выпусков журнала

**ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ** и оставайтесь в курсе событий



