



Ключевые слова:
групповые инструментальные наладки, автоматизация проектирования, многоуровневая базовая технология, групповой установ

МЕТОДИКА СИНТЕЗА УСТАНОВОЧНЫХ ГРУППОВЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАЛАДОК

ЧАСТЬ 1

Юрий РАКУНОВ, Валерий АБРАМОВ, Александр РАКУНОВ

Рассматривается методика проектирования групповых наладок для научно обоснованной разработки системы автоматизированного проектирования (САПР) оптимальных групповых технологических процессов (ГТП). Приведены принципы проектирования групповых инструментальных наладок (ГИН), методика формализованного выбора и синтеза процесса оптимизации ГИН. Приведена таблица-матрица выбора установочного комплекта ГИН.

В условиях современного автоматизированного группового многономенклатурного мелкосерийного производства при обработке деталей из труднообрабатываемых материалов возросли требования к выбору технологичных, ресурсосберегающих отечественных режущих элементов унифицированных резцов, специально спроектированных для групповой обработки. Рассмотрим методику выбора (проектирования) групповых наладок режущего инструмента (РИ) (твердосплавного и/или быстрорежущего) для обработки группы деталей, то есть выполнения группового установка – группы деталяеопераций, объединенных по единству применяемых позиционных инструментальных наладок на станках типоразмеров (ТР): ТПК-125В, ТПК-125ВН1, Schaublin-102CNC, Schaublin-130 CNC, ИТ-42, Index GS-30 и др. с контурной системой ПУ. Основные методические положения групповой прецизионной обработки на станках с ЧПУ и приемы группирования деталей по установочным (деталеоперационным) комплектам РИ обеспечивают выявление закономерностей распределения технологических характеристик деталей и создание их групп при минимальной общей номенклатуре (количестве) групповых инструментальных наладок (ГИН) [1–8, 11]. Такой подход к проектированию ГИН является теоретической и реальной практической альтернативой общепринятой методике

разработки групповой технологии (ГТ), основанной на «комплексной» детали, составленной из типов поверхностей, а не типоразмеров, то есть без указания размеров и точности их выполнения [1–5, 9–12].

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИН:

- оптимальное использование технологических возможностей режущего инструмента (РИ), и прежде всего унифицированного (УРИ) [6, 8, 10, 11, 13–16];
- рациональное распределение резцов по позициям револьверной головки или планшайбы;
- минимизация холостых ходов и перемещений;
- упрощение разработки расчетно-технологических карт и составление программной наладки (управляющей программы), основанной на таблицах-матрицах режимов оптимального резания первичной подсистемы многоуровневой базовой технологии (МБТ).

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ТЕРМИНОЛОГИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ ПРИ ГТ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Установ (групповая деталяеоперация) – часть технологического процесса (маршрута, этапа), выполняемая при неизменном базировании и закреплении обрабатываемой заготовки, обеспечивающая номен-

клатуру свойств обрабатываемых и базовых поверхностей, их взаимное положение и сопряжение, а также технические требования по диапазону и точности геометрических и физических свойств поверхностей детали, определяющих номенклатуру и последовательность (состав) позиций и переходов работы типоразмеров (моделей) инструментов в наладке станка определенного типоразмера (модели).

Контур обработки (контурная поверхность вращения) – сочетание (номенклатура, взаимное положение и сопряжение) соосных элементарных поверхностей вращения (цилиндр, конус, торец, канавка, резьба, фасон и т. д.), обрабатываемых с заданными показателями качества в переходе одной позиционной инструментальной наладкой.

Позиционная инструментальная наладка (ПИН) – инструмент (резец) конкретного типоразмера, установленный в рабочее положение в координатах модели станка.

Позиционная инструментальная контурная наладка (ПИК) – резец, установленный в координатах модели станка, обеспечивающий обработку контура (например, глухой цилиндрической поверхности с подрезкой торца).

Позиционная специализированная инструментальная наладка (ПСИ) – РИ (резец), имеющий минимум один типоразмер (ТР) режущего элемента (РЭ), определяющий ТР поверхности заготовки (канавка, резьба, фасонная поверхность), обрабатываемой врезанием.

Групповая деталеоперационная наладка (ГОН) – наладка инструмента и установочной оснастки (цанговые и трехкулачковые патроны, оправки) для реализации группы установов, объединенных единством применяемого инструмента и оснастки.

Групповая инструментальная наладка (ГИН) – наладка инструмента для обработки группы позиций и установов, объединенных постоянством состава переходов.

Групповая инструментальная контурная наладка (ГИК) – комплект инструментов, состоящий только из ПИК-наладок.

Групповая инструментальная комбинированная наладка (ГИМ) – комплект инструментов, состоящий из ПИК- и ПСИ-наладок.

Групповая инструментальная базовая наладка (ГИБ) – комплект инструментов, выбранный по наибольшей сумме установов (деталеопераций), регистрируется в технологической документации (карте наладки) и является исходной для первичной наладки станка.

Специальная (индивидуальная) инструментальная наладка (СИН) – комплект инструментов, созданный для оптимизации одного установа (деталеоперации) в целях обеспечения максимальной точности обработки, стойкости РЭ и производительности единичного процесса.

Контурный установ – деталеоперация (ДО), выполняемая ПИК-наладками.

Комбинированный установ – деталеоперация, выполняемая ПИК- и ПСИ-наладками.

Групповая переналадка – работа, проводимая на станке (или вне станка) при переходе с одной ГОН на другую по замене и выверке ПИК-наладок или всей планшайбы с инструментом и базовой установочной оснастки.

Внутригрупповая переналадка – работа, проводимая на станке (или вне станка) при переходе с одного установа на другой в пределах одной группы: замена специальных резцов, управляющей программы (УП) и элементов установочной оснастки (цанг, кулачков).

Подналадка – работа, проводимая на станке для восстановления настроечных размеров при выполнении одного установа, например, введение коррекции через систему ЧПУ или смена затупившегося инструмента.

МЕТОДЫ ВЫБОРА ГРУППОВЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАЛАДОК

Представленная в методике система групповой обработки и приемов группирования установов (деталеопераций) может быть использована для любой номенклатуры ПИН, удовлетворяющих типоразмеру патронных, патронно-центровых токарно-винторезных станков: ТПК-125В, ТПК-125ВН1; ИТ-42; Т-60А; Schaublin-102CNC, Schaublin-130CNC; Index GS-30; токарно-револьверных станков, а также автоматов продольного точения: АПТ-901В, Tornos-164ENC, Tornos-264 ENC и др.

Описание методики и демонстрация приемов группирования, структура и содержание документов с конкретной информацией (на уровне модели) базируется на типаже унифицированных режущих инструментов (ТУРИ), который постоянно дополняется и совершенствуется [7–11]. Технологические возможности ТУРИ отражены в таблицах типажа, таблицах-матрицах режимов оптимального резания (РОР) и на схеме типового установа (ДО) для правого контура (рис. 1). Схема включает данные по номенклатуре универсальных, специализированных и специальных поверхностей, их взаимному положению и сопряжению, диапазонам их размеров, а также точности (калитет и шероховатость поверхности) [12]. Таким образом технолог получает полную характеристику типоразмеров и моделей поверхностей деталей, необходимую для проектирования установочного комплекта ПИН, составляющего установочную ГИН- или установочную ГИМ-наладку [13–16].

Каждой ПИН- и ПИК-наладке для обработки универсальных внутренних поверхностей присваи-

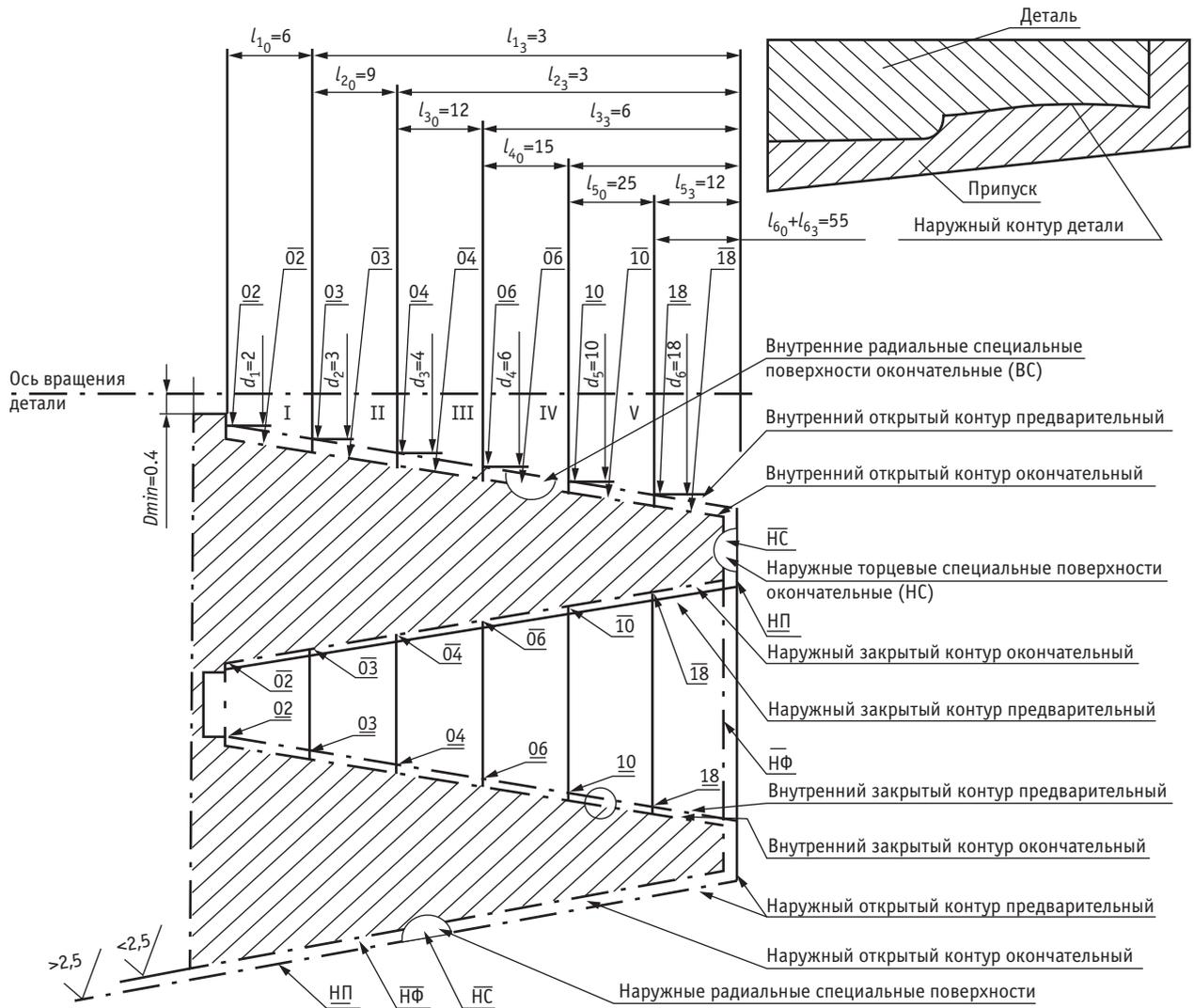


Рис. 1. Схема правого контура, отражающая технологические возможности типажа УРИ для типового установа (ДО): I..VI – диапазоны обрабатываемых поверхностей внутреннего открытого, наружного и внутреннего закрытых контуров

вается буквенно-цифровой код, отражающий ТР инструмента (резца), включающий такие технические параметры, как:

- **тип резца** (геометрию в плане по отношению к направлению рабочей подачи – S), он определяет номенклатуру обрабатываемых поверхностей или контур обработки (рис. 2);
- **диапазон размеров обработки**, определяемый:
 - ✓ минимальным диаметром (02, 03, 04, 06, 10, 18, 30 мм и т.д.) растачиваемого отверстия (принимается, что максимальный диаметр для данного диапазона равен минимальному для последующего),
 - ✓ длиной обработки, которая учитывается соотношением l_1/d_1 для данного типа резца и диапазона размеров ($l_1/d_1 = 1; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0$),
 - ✓ шириной торца (для глухих отверстий), которая составляет $T \leq 1/4 d_1$, а $T_{max} \leq 1/2 d_1$;

→ **точность обработки** – определяется со стороны инструмента:

- ✓ жесткостью (отношением l_1/d_1) конкретной модели ПИН и режимами оптимального резания, назначаемыми по таблицам-матрицам первичной подсистемы МБТ,
- ✓ радиусом r_b (или фаской $c_x - \varphi_x$) при вершине резца и степенью остроты режущей кромки – параметр ρ , мкм; (для твердосплавных финишных РЭ $\rho_\phi = 5...10$ мкм – с доводкой алмазными пастами после заточки алмазными кругами (АК), а $\rho_n = 15...20$ мкм для предварительных РЭ – после заточки АК с выхаживанием) [7, 8]. Это отражается в коде финишных резцов черточкой, помещенной сверху, и черточкой снизу – для предварительных ПИН (см. табл. 1).

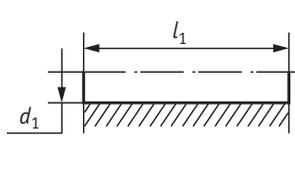
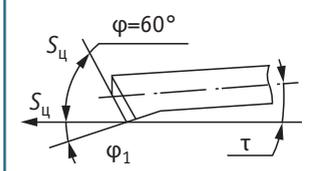
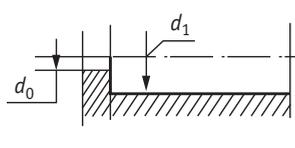
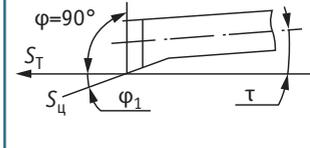
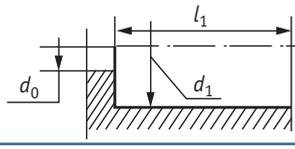
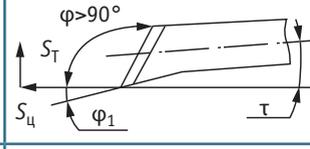
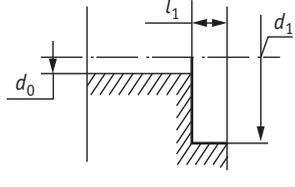
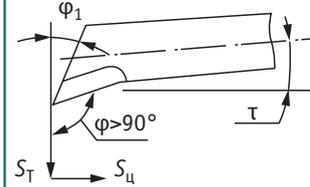
<p>Цс – цилиндрический сквозной (ТР: 02, 03, 04, 06, 10, 18, 30 и т.д.)</p>		
<p>Цв – цилиндрический врезной (ТР: 02, 03, 04, 06, 10)</p>		
<p>Цт – цилиндрический торцевой (подрезной) (ТР: 03, 04, 06, 10, 18, 30 и т.д.)</p>		
<p>Тц – торцевой цилиндрический (ТР: 10, 18, 30 и т.д.)</p>		

Рис. 2. Тип резца в соответствии с номенклатурой обрабатываемых поверхностей

Таблица-матрица выбора установочного комплекта ГИН для автоматизированного токарного оборудования представлена на рис. 3. Например, ПИК для обработки глухого точного отверстия с параметрами: $d_1 = 6,7 \text{ Н7 } (^{+0,014})$; шероховатость $R_a \leq 1,25 \text{ мкм}$; $l_1 = 12,8 \text{ мм}$ ($1,5 < l_1/d_1 < 2$) и ширина торца $T = 1,6 \text{ мм}$: $d_0 = 3,5 \text{ мм}$ и $T < 1/4 d_1$. Необходимо выбрать следующие типоразмеры резцов: 06Цв-2 – для предварительной обработки и 06Цт-2 – для финишной (окончательной) обработки. ПИН- и ПИК-наладки для обработки открытого наружного контура поверхностей выбираются и кодируются следующим образом:

- **тип резца** (геометрия в плане по отношению к вектору рабочей подачи – S), он определяет номенклатуру, взаимное положение и сопряжение обрабатываемых поверхностей;
- **направление обхода контура** (см. рис. 1):
 - ✓ от центра (оси вращения) и к патрону – при $\Sigma F_c > F_t$, где ΣF_c – сумма площадей цилиндрических поверхностей, а ΣF_t – сумма площадей торцевых поверхностей контура обработки (детали типа валов, осей, втулок, корпусов),
 - ✓ к центру (оси вращения) и от патрона – при $\Sigma F_t > F_c$ (детали типа фланцев, крышек, зубчатых колес);
- **диапазон диаметров** наружной обработки обозначается кодом **00** (предварительный резец) и **00** (финишный резец); определяется ТР станка: например, 0–10 мм – для автоматов продольного точения 1М110А; 0–26 мм – для автоматов продольного точения Tornos-264ENC; 0–125 мм – для токарного патронно-центрового контурного стан-

ка ТПК-125В; 0–320 мм – для универсального токарно-винторезного станка ТВ-320П;

- **точность обработки** (со стороны оборудования) определяется классом станка: **Н** – нормальный, соответствует классу точности по абсолютной системе (КТАС) – К1, **П** – повышенный (КТАС – К2), **В** – высокий (КТАС – К3), **С** – особо высокий (КТАС – К4), **А** – особо точный (КТАС – К5) [7, 8];
- **точность обработки** (со стороны инструмента, режимов резания и других условий обработки, а также СОТС) определяется по таблицам-матрицам РОР первичной подсистемы многоуровневой базовой групповой технологии (МБГТ) [9–11].

Система группирования установов (ДО) предусматривает следующие основные этапы:

1. подготовку исходной информации, а затем разработку методом дифференцирования (анализа) маршрута группового технологического процесса (ГТП) до уровня типоразмера установа (ДО); при этом разработка ГТП должна начинаться с последнего (финишного) установа, так как достоверна только та информация, которая находится на рабочем чертеже детали;
2. группирование по группам пар материалов (марок или типоразмеров) обрабатываемых и инструментальных с учетом их состояния, то есть конкретного исполнения – моделей;
3. выбор (проектирование) установочных комплектов ПИН для каждого установа (ДО);
4. выбор вариантов ГИН – количество вариантов конечно для каждого ТР станка;
5. выбор базовых ГИН и распределение деталей по базовым и комбинированным ГИН;

																		Исходные												
Технологическая характеристика																		Типоразмеров												
Типов поверхностей																		Взаимное												
Видов поверхностей																		положение												
Геометрическая форма поверхностей вращения																		сопряжение												
№№ ПП	Наружная	Внутренняя	контурно-программируемая						профильно-врезная										Материал	Цветные сплавы	Открытая	Закрытая	Сквозная	Глухая	Соотношение параметров основных поверхностей					
			Цилиндр	Торец	Фасонная (Фс)			радиус сопряжения $\geq 0,2$	Радиус сопряжения		Канавочная (Кн)																			
					Конус	Сфера	Торойд		$> 0,2$	$\leq 0,2$	положение			профиль																
			Рп	Вн	Цл	Тц	К	С	Т	Р	С	О	П	Пр	Р	У	Ст	Ц							От	Зк	Ск	Гл	ООЦ _т	ООЦ _ц
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16							17	18	19	20	21	22
1	○		○	○	○	○	○		○							○		○		○		○								
2	○		○	○	○	○	○		○							○		○		○		○								
3	○		○	○	○	○	○	○								○		○		○		○								
4	○		○	○	○	○	○	○								○		○		○		○								
5	○		○	○	○	○	○	○								○		○		○		○								
6	○		○	○	○	○	○	○	○							○		○		○		○	○							
7	○		○	○	○	○	○	○								○		○		○		○	○							
8	○		○	○	○	○	○	○								○		○		○		○	○							
9	○		○	○	○	○	○	○								○		○		○		○	○							
10	○		○	○	○	○	○	○								○		○		○		○	○							
11	○		○	○	○	○	○	○								○		○		○		○	○							
12	○		○	○	○	○	○	○								○		○		○		○	○							
13	○		○	○	○	○	○	○								○		○		○		○	○							
14	○		○	○	○	○	○	○								○		○		○		○	○							
15		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
16		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
17		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
18		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
19		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
20		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
21		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
22		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
23		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
24		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
25		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
26		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
27		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
28		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
29		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
30		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
31		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
32		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
33		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
34		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
35		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
36		○			○	○	○	○								○		○		○		○	○							
37	○		○	○	○	○	○	○								○		○		○		○	○							
38	○		○	○	○	○	○	○	○							○		○		○		○	○							
39	○		○	○	○	○	○	○								○		○		○		○	○							
40	○		○	○	○	○	○	○								○		○		○		○	○							
41	○		○	○	○	○	○	○	○							○		○		○		○	○							
42	○		○	○	○	○	○	○	○							○		○		○		○	○							
43	○		○	○	○	○	○	○	○							○		○		○		○	○							
44	○		○	○	○	○	○	○	○							○		○		○		○	○							

Рис. 3. Таблица-матрица выбора установочного комплекта групповых инструментальных наладок (ГИН)

6. группирование по установочной оснастке;
7. проектирование ГТП до уровня моделей установов (ДО) методом синтеза.

ГИН делятся на два вида – контурные (ГИК) и комбинированные (ГИМ). ГИК-наладки позволяют объединить в группу наибольшее количество деталей без специализированных (канавочных и резьбовых) поверхностей. Этап 4 (выбор вариантов ГИН) выполняется по одному из двух методов: универсальному и статистическому – в зависимости от особенностей номенклатуры деталей. Традиционная групповая технология использует понятие «комплексная» деталь [1, 2, 4, 17].

ЛИТЕРАТУРА

1. Организация группового производства // Под общ. ред. С.П. Митрофанова и В.А. Петрова. – Л.: Лениздат, 1980. 288 с.
2. Групповое производство – организационно-технологическая основа гибких производственных систем // Материалы научно-технического семинара ЛДНТП. – Л., 1986.
3. Синго С. Быстрая переналадка: революционная технология производства / Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. 384 с.
4. Митрофанов С.П., Братухин А.Г., Сироткин О.С. и др. Технология и организация группового машиностроительного производства: в 2-х ч. Ч. 1. Основы технологической подготовки группового производства. – М.: Машиностроение, 1992. 480 с.
5. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 360 с.
6. Ракунов Ю.П., Золотова Н.А. Методология построения подсистемы синтеза многоуровневой базовой технологии в групповом производстве // Сб. мат. науч.-практ. конф. «Технологическое обеспечение качества машин и приборов». – Пенза, 2004. С. 210–214.
7. Звонцов И.Ф., Иванов К.М., Серебренников П.П. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ: Учеб. пособие / 2-е изд., стер. – СПб: Изд-во «Лань», 2018. 588 с. (Учебники для вузов. Специальная литература).
8. Ракунов Ю.П. Оптимизация синтеза инструментальных наладок для станков с ЧПУ // Конструктор-машиностроитель. 2010. № 3, 5.
9. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. ОК 21-95. – М.: Изд-во стандартов, 2004.
10. Ракунов Ю.П. Первичная подсистема многоуровневой базовой технологии // Научные технологии в машиностроении. 2012. № 3. С. 23–31.
11. Ракунов Ю.П. Подсистема синтеза многоуровневой базовой технологии // Научные технологии в машиностроении. 2012. № 10. С. 36–46.
12. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства: в 2-х т. Т. 1. Организация группового производства. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1983. 407 с.
13. Ракунов Ю.П. Управление качеством токарной обработки высокоточных деталей машин. // Научные технологии в машиностроении. – № 2, 2013. С.36–48.
14. Ракунов Ю.П., Абрамов В.В., Ракунов А.Ю. Роль скорости резания и радиуса округления режущего клина в эффективности тонкой механической обработки труднообрабатываемых материалов // СТАНКОИНСТРУМЕНТ. 2020. № 1. С. 66–72.
15. Ракунов Ю.П. Управление качеством токарной обработки высокоточных деталей машин // Научные технологии в машиностроении. 2013. № 2. С. 36–48.
16. 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.
17. Справочник технолога / Под ред. А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2019. 678 с.
18. Копылов Ю.Р. Компьютерные технологии в машиностроении (практикум +CD): учебное пособие. – Воронеж: Изд.-полиграф. центр «Научная книга», 2012. 508 с.
19. Hot topics // CAD/CAM/CAE Observer. [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www/cadcamcae.lv/hot.html>.
20. SURFCAM Velocity: автоматизированная подготовка управляющих программ многокоординатной обработки на станках с ЧПУ // САПР и графика. 2005. № 11.
21. Калачев О.Н. Моделирование в CAD/CAM Cimatron механообработки на станках с ЧПУ. – Ярославль: Ярославский государственный технический университет, 2013. 30 с.
22. Основные направления развития систем программного управления в мире. [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.mashcon.ru/article/21>.

РАКУНОВ Юрий Павлович – кандидат технических наук, доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

АБРАМОВ Валерий Васильевич – доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

РАКУНОВ Александр Юрьевич – инженер, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Продолжение статьи будет опубликовано в следующем номере журнала.



ВУЗ ПРОМ ЭКСПО 2020 МОСКВА



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

10-11 ДЕКАБРЯ
VII ЕЖЕГОДНАЯ
НАЦИОНАЛЬНАЯ
ВЫСТАВКА



МОБИЛЬНОЕ
ПРИЛОЖЕНИЕ



ЭКСПОЦЕНТР

Место проведения

VUZPROMEXPO.RU

