

**Ключевые слова:**

модульная технология, модульная инструментальная наладка, технологическая система, эквивалентная упругая система станка, узел крепления

МОДУЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ НАЛАДКИ

Андрей МАСЛОВ

Кратко изложены принципы создания модульных инструментальных наладок для обеспечения комплексных модульных технологий в современных цифровых машиностроительных производствах.

ВВЕДЕНИЕ

Правительство Российской Федерации утвердило Программу фундаментальных научных исследований на период 2021–2030 годов. В задачи Программы входят:

- формирование эффективной системы управления научными исследованиями, обеспечивающей повышение результативности, значимости и востребованности полученных результатов для развития национальной экономики и общества;
- создание условий для свободного научного творчества с учетом возможности для научных организаций, исследовательских коллективов и других участников исследований выбирать и сочетать направления исследований и формы взаимодействия при решении исследовательских задач с целью реализации и развития интеллектуального потенциала российской науки;
- создание научно-технического задела, реализуемого в сфере оборонно-промышленного комплекса в интересах обороны страны и безопасности государства.

Среди основных направлений реализации Программы выделено получение передовых научных и научно-технологических результатов, обеспечивающих готовность страны к появлению новых больших вызовов.

Одной из подпрограмм Программы являются фундаментальные и поисковые научные исследования по направлениям научно-технологического развития в соответствии с Указом Президента Российской Федерации «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».

По разделу «Машиностроение» в 2021–2030 годах предусмотрена разработка научных основ специализации машиностроительного производства с использо-

ванием принципов модульной технологии, в том числе производства деталей и сборочного производства машин и механизмов с целью повышения эффективности производства.

Для этого предлагается разработать научные основы создания технологического оборудования на принципах модульной технологии, в том числе металлорежущих станков и инструментов.

Модульная технология является важным шагом в развитии единичной, типовой и групповой технологий и аккумулирует их преимущества. Она позволяет значительно повысить эффективность механообработывающего производства [1, 2].

В настоящее время разработаны научные основы модульной технологии [3–6], включающие:

- классификацию видов модулей поверхностей;
- представление детали совокупностью модулей поверхностей;
- статистический анализ модулей поверхностей деталей и различных машиностроительных изделий;
- описание конструкции детали в модульном исполнении;
- метод анализа конструкций изделий на модульном уровне – доказательство возможности представления любой детали совокупностью модулей поверхностей в соответствии с классификацией модулей поверхностей.

На научной основе модульной технологии могут быть созданы модули средств технологического обеспечения изготовления деталей, к которым, в первую очередь, относятся модульные инструментальные наладки.

Среди главных направлений исследований в области модульных инструментальных наладок выделяются следующие:

- разработка фундаментальных основ создания модульных инструментальных наладок под изготовление модулей поверхностей деталей;
- разработка интеллектуальных программно-аппаратных комплексов проектирования модульных инструментальных наладок для модульных технологических процессов [7];
- создание САПР модульных инструментальных наладок для модульных технологических процессов [8, 9];
- проведение прикладных инженерных исследований по решению задач технологической подготовки производства модулей;
- создание цифровой базы данных инструментального обеспечения производства деталей на модульном уровне.

СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК МОДУЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАЛАДОК

Опережающее развитие металлообработки и ее эффективность в значительной степени зависят от качества инструмента как одного из основных компонентов технологической системы [10, 11].

В современной металлообрабатывающей промышленности наиболее полно поставленным требованиям отвечают инструментальные системы, создаваемые по принципу перенастраиваемых наладочных приспособлений из базисных и сменных наладок (модулей), которые представляют собой, в большинстве случаев, модульные инструментальные наладки (МИН).

Применение МИН на существующем уровне их развития обеспечивает уменьшение производственных затрат за счет:

- сокращения доли индивидуальных заказов инструмента;
- гибкости использования инструмента;
- автоматизации подготовки инструмента к работе;
- сокращения номенклатуры инструмента в несколько раз, а его количества – до 25% [12].

Различным аспектам проектирования МИН посвящены работы [13, 14, 15], в которых МИН рассматривается как отдельная область инструмента, обладающая рядом существенных особенностей как в плане эксплуатации, так и с конструктивной точки зрения. Показано, что использование МИН наиболее эффективно для производственных участков из нескольких многоцелевых станков, объединенных общей системой инструментального обеспечения.

Областью наиболее целесообразного использования МИН в условиях цифрового производства является автоматизированная обработка на многоцелевых станках при комплексной обработке сложных изделий единичного и мелкосерийного выпуска различными типами режущего инструмента. В этих усло-

виях вопросы сокращения затрат времени на переналадку оборудования и экономических затрат на инструментальное обеспечение при сохранении высокого качества обработки имеют решающее значение.

При таком использовании к комплексу функциональных характеристик МИН предъявляются повышенные требования и, в первую очередь, к его динамической жесткости и виброустойчивости. И в этом плане МИН отличается от конструкций сборного режущего инструмента.

В значительной степени качество МИН определяется ее структурой и составом, в частности, количеством и размерами модулей, а также конструктивным исполнением узлов их взаимного соединения.

Проектированию МИН посвящен ряд публикаций. Результаты экспериментальных исследований характеристик жесткости МИН приведены в работах [12, 13, 16–18], расчетам параметров точности МИН посвящена работа [15]. В отмеченных работах получены существенные результаты, однако, недостаточно формализованный подход к механической подсистеме создает трудности при оценке качества МИН в процессе их проектирования и использования. Не решен вопрос о наиболее эффективных решениях конструктивных исполнений МИН.

Отмеченные недостатки частично устранены в работе [19] за счет использования единой методики изучения МИН с точки зрения анализа их структурных и функциональных характеристик.

В указанной работе [19] МИН рассматривается как промежуточное звено технологической системы, связывающее режущие наладки, непосредственно осуществляющие процесс формообразования, и многоцелевой станок, в рамках которого замыкается энергетическая цепочка процесса обработки изделия. Следовательно, МИН играет важную роль передачи энергетического потока от шпинделя станка к режущей части и обратно. От качества этого процесса напрямую зависит качество процесса обработки в целом.

СТРУКТУРА ЭЛЕМЕНТОВ МИН

На основе систематизации и формализованного описания МИН возможно выявление их существенных характеристик, определяемых критериями качества процесса растачивания.

Известно, что подсистема инструмента может быть представлена в виде элемента замкнутой активной динамической технологической системы (ТС) [20]. В работе [21] предложена структурная схема, определяющая место инструмента в модульной ТС и его структурные связи с другими элементами ТС (рис. 1).

В рассматриваемой схеме отдельные компоненты технологической системы, протекающие в ней процессы и обрабатываемый объект (изделие) объеди-

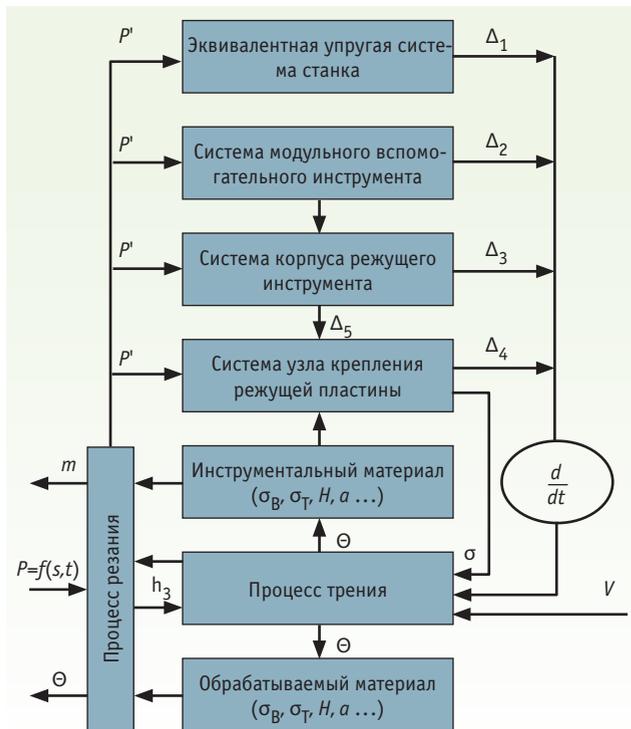


Рис. 1. Структурная схема модульной технологической системы [21]

нены связями, характеризующими взаимодействие между ними. На вход процесса резания поступает силовое воздействие P как функция от глубины резания t и подачи s . На выходе процесса резания – массовые (m) и тепловые (Q) продукты, порождаемые процессом резания (удаляемый с заготовки материал, продукты износа инструмента, тепловая энергия, рассеиваемая излучением, конвекцией и теплопереносом и т.п.).

Кроме того, процесс резания воздействует как силовой фактор P' непосредственно на такие элементы ТС, как:

- эквивалентная упругая система (ЭУС) станка;
- система модульного вспомогательного инструмента;
- системы режущего инструмента (корпус и узел крепления режущей пластины).

Выходные характеристики Δ_i указанных элементов ТС наряду с механической характеристикой σ системы узла крепления режущей пластины оказывают влияние на процесс трения.

Входными характеристиками для процесса трения также являются геометрические (s, t) и скоростные параметры ($v, d\Delta_i/dt$), которые влияют на процесс резания через механизм износа (высота h_3 площадки износа).

Процесс трения через тепловой эффект трения (Θ), возникающий в процессе резания, воздействует на механические характеристики инструментального и обрабатываемого материалов (предел проч-

ности σ_B , предел текучести σ_T , твердость H , микротвердость a и т.п.) в зоне контакта. В свою очередь, изменение этих характеристик оказывает обратное воздействие на процесс резания.

Инструментальные системы как компоненты ТС последовательно передают рабочее силовое воздействие в зону резания через режущий элемент. Таким образом, ТС представляет собой сложную замкнутую многоконтурную систему со связями различной физической природы, в которой подводимая к ней энергия многократно преобразуется.

Схема связей, в основу которой положен принцип выделения системы инструмента из ЭУС станка, разработана применительно к режущему инструменту [22, 23]. По этой схеме система обрабатываемого инструмента разделяется на подсистему режущего инструмента и подсистему средств закрепления, которые, в свою очередь, разделены на конструктивные элементы, влияющие на протекание физических процессов при резании и определяющие период безотказной работы режущей части инструмента.

Такой подход является удобным при оценке ТС в целом, как объекта автоматического управления, что позволяет использовать математический аппарат теории автоматического управления для определения частотных характеристик ЭУС станка и решения ряда вопросов, связанных с устойчивостью системы в целом.

Однако при этом невозможно оценить качество системы модульного вспомогательного инструмента (см. рис. 1) по таким параметрам, как жесткость и уровень собственных частот. Представление обрабатываемого инструмента в виде обобщенной передаточной функции не позволяет проследить влияние отдельных конструктивных параметров и элементов МИН произвольной структуры, поскольку в каждом конкретном случае необходимо определять его передаточную функцию и решать вопросы ее согласования с передаточными функциями сопряженных элементов системы станка.

Более логичным следует признать подход, основанный на представлении ТС в виде механической колебательной системы [19], при котором ЭУС станка разбивается на совокупность определенным образом связанных между собой подсистем, которые с достаточной подробностью описываются аналитически как механические колебательные системы, объединенные внешними связями.

В этом случае оценивается вклад МИН в общую картину поведения ЭУС в динамике и появляется возможность направленно влиять на характеристики динамического поведения ТС в целом путем варьирования конструктивных параметров элементов МИН. При этом сохраняется наглядность взаимосвязей между конкретными конструктивными параметрами МИН и их описанием в математических моделях.

В отличие от режущих частей инструмента или приводов движений станка, на модульный вспомогательный инструмент в МИН практически не воздействуют тепловые, электромагнитные или другие виды энергии. Энергетический поток от станка к режущей части инструмента, передаваемый через этот элемент МИН, практически носит характер только механической колебательной энергии. Поэтому есть смысл рассматривать МИН как механическую колебательную систему, что широко используется для обычных видов режущего и вспомогательного инструмента [23–24].

Таким образом, возможно выделить из ТС средства закрепления МИН на станке, а также их исследования в отрыве от упругой системы станка по следующим соображениям:

- они занимают промежуточное положение между режущей частью инструмента, непосредственно осуществляющей процесс резания, и шпинделем, передающим энергию от привода станка;
- относительная удаленность средств закрепления от зоны резания позволяет пренебречь влиянием тепловых процессов, особенно при использовании СОТС;
- значения собственных частот режущего инструмента и средств его закрепления существенно различаются из-за разницы их массово-инерционных характеристик.

Из сказанного следует, что для практических исследований МИН возможно оценивать ТС с приемлемой точностью как колебательную систему с сосредоточенными параметрами, обладающую ограниченным количеством степеней свободы, ограничением частотно-силового диапазона нагрузок при условии подбора параметров элементов расчетной схемы [19].

Известно [17, 22, 23, 25], что динамические показатели МИН в процессе резания оказывают значительное влияние на стойкость режущего инструмента. С этой точки зрения весьма важными являются динамические смещения режущего инструмента, скорости и ускорения в направлении главной составляющей силы резания.

При этом точность обработки определяется, главным образом, максимальными смещениями вершины режущего инструмента в направлении нормали к обрабатываемой поверхности и фазовыми смещениями в координатах поперечного сечения обрабатываемой поверхности [26].

Таким образом, с точки зрения динамики, МИН может быть представлена как дополнительное звено в общей передаточной цепи ЭУС станка, соединенное с ней линейными связями. С математической точки зрения это позволяет разделить передаточную функцию ТС на подсистемы, описываемые отдельными дифференциальными уравнениями.

При этом переход к операторной форме позволяет получить общую передаточную функцию технологической системы суммированием отдельных передаточных функций. Кроме того, качество динамических характеристик этой системы непосредственно определяется качеством каждой из составляющих подсистем.

В силу этого, рассмотрение МИН в отдельности от ЭУС станка, с одной стороны, уменьшает количество рассматриваемых элементов колебательной системы и, с другой стороны, позволяет положительно влиять на динамические характеристики ТС в целом путем оптимизации параметров МИН.

Поскольку МИН является механической колебательной системой, к ее математическому описанию применимы методы теоретической механики и теории колебаний.

Как показывают результаты исследований [19], такое решение обеспечивает достаточную степень приближения свойств математической модели к свойствам реальной МИН.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ МИН

Целесообразность отмеченного подхода к исследованию конструкций МИН определяется также их особенностями по сравнению с традиционными видами инструмента. Среди особенностей можно отметить:

- близость собственных частот МИН к собственным частотам элементов упругой системы станка;
- полиморфность структуры МИН, представляющих совокупность нескольких последовательно механически соединенных модулей;
- разнообразие структурно-компоновочных решений сборок МИН, создаваемых из ограниченного набора модулей в рамках базового комплекта по типу универсальных сборно-разборных приспособлений;
- существенную вариантность условий применения, что приводит к разнообразию характеристик нагружения МИН;
- зависимость качества обработки от схемы соединения, качества изготовления узлов соединения модулей и условий сборки, обусловленных наличием в конструкции МИН узлов соединения модулей;
- усложнение узлов крепления при необходимости соответствовать различным эксплуатационным требованиям.

Указанные особенности значительно влияют на выбор конструкции МИН на основе определения оптимального сочетания конструктивных параметров отдельных модулей и узлов их взаимного соединения.

При формировании математической модели, описывающей МИН с учетом высокой собственной жесткости модулей, целесообразно считать элементами математической модели математические объекты, опи-

сывающие соответствующие конструктивные элементы МИН, а именно – модули и узлы их сопряжения. Такое решение позволяет распространить результаты исследования минимальной структурно-функциональной единицы в виде совокупности двух модулей с узлом их взаимного соединения на любое структурно-компоновочное решение МИН, использующее данную структурно-функциональную единицу.

По структурно-функциональному признаку все существующие системы МИН, в том числе и для обработки резанием, включают следующие типы элементов (модулей):

- модули, содержащие узлы крепления режущих элементов или режущих инструментов;
- модули, служащие для крепления инструмента на станке;
- модули, предназначенные для обеспечения требуемого вылета инструмента;
- переходные модули, с помощью которых осуществляется взаимосвязь модулей с различными типоразмерами узлов соединения;
- модули, с помощью которых реализуются многоинструментная и комбинированная обработка.

Конструктивно эти модули представляют совокупность свободных и контактных участков, выполняющих роль узлов крепления модулей друг с другом. Именно они определяют основное конструктивное отличие различных систем МИН и в значительной степени определяют их эксплуатационные характеристики.

В ряде работ, посвященных исследованиям МИН, отмечается, что до сих пор вопрос создания оптимальных по качеству узлов крепления модулей является важнейшим и открытым для решения.

В настоящее время существует широкое предложение инструментальных систем, изготавливаемых различными производителями как в нашей стране, так и за рубежом [12, 14, 15].

Как правило, наладки, создаваемые из элементов инструментальных систем, используются на станках сверлильно-расточной и фрезерной групп, включая токарно-фрезерные прутковые автоматы. Предлагаются также специализированные и универсальные системы, позволяющие выполнять дополнительно токарные, долбежно-протяжные и другие виды технологических операций.

Однако остаются актуальными вопросы обеспечения качества и надежности для окончательных переходов и операций, как наиболее критичных с точки зрения конечного результата обработки.

Конструктивно-технологический анализ имеющихся конструкций позволяет выделить ряд характерных требований к перспективным МИН.

1. При выборе размеров узлов сопряжения модулей из соображений обеспечения унификации и взаимозаменяемости с существующими стандартами на присоединительные элементы станков

и инструментов необходимо учитывать, что они обладают рядом таких недостатков, как:

- ✓ низкая точность;
- ✓ недостаточная жесткость в области высоких частот вращения инструмента;
- ✓ малая износоустойчивость контактных поверхностей;
- ✓ большие габариты;
- ✓ значительный разброс характеристик точности при произвольном выборе соединяемых модулей.

2. Для изготовления модулей МИН необходимо использовать малоуглеродистые легированные стали, подвергаемые химико-термической обработке с последующей закалкой базовых поверхностей до твердости HRC₅ 53–58 для достижения их износоустойчивости при сохраненной вязкой сердцевине модулей.
 3. Размеры узлов сопряжения модулей должны выполняться по 4–6 квалитетам точности для диаметральных размеров и 5–7 квалитетам для осевых размеров. При этом зазоры в цилиндрических соединениях не должны превышать 3–10 мкм в зависимости от диаметра соединения.
 4. Точность конусов в большинстве случаев должна задаваться по степеням точности угловых размеров АТЗ–АТ5. При этом используемые параметры конических соединений в ряде конструкций выбираются из соображений обеспечения унификации и взаимозаменяемости с существующими стандартами на хвостовики режущих инструментов и присоединительных элементов станков.
 5. Необходимо стремиться к уменьшению протяженности контактных участков конических соединений до 20 мм и углов конусов этих соединений до 1°15' и менее. Это позволяет снизить требования к точности технологического оборудования для изготовления конических поверхностей.
 6. Целесообразно использование самоцентрирующих соединений, имеющих регулярный контактный профиль в поперечном сечении, обеспечивающих повышение точности и улучшение динамических качеств узлов крепления модулей.
 7. Минимальные значения радиальной жесткости МИН, согласно [15], должны быть не ниже $7 \cdot 10^8$ Н/м. В работе [27] указывается, что жесткость модульных конструкций инструментов находится практически на уровне жесткости инструментов цельной конструкции и существенно выше по сравнению со стандартными способами закрепления инструментов на станках.
- Конструкции МИН, разработанные с учетом перечисленных требований, в процессе эксплуатации позволяют повысить долговечность соединений модулей за счет более точного распределения нагрузки

и упростить сборку модулей, в том числе и автоматизированную.

Выполнение этих условий обеспечивает снижение требований к точности изготовления посадочных поверхностей, уменьшение неравномерности давлений на поверхностях контакта, сокращение габаритных размеров и массы модулей.

Однако пока нет однозначного ответа на вопрос, какой тип узлов соединения модулей наиболее эффективен. Так, в настоящее время изготовители инструментальных систем применяют различные типы цилиндрических соединений модулей (рис. 2).

Выбор тем более затруднен, что потребители отмечают одинаковую точность соединений модулей всех трех типов, характеризуемую разбросом отклонений положения резца в радиальном направлении в пределах 0,002 мм, как например, у системы SKV фирмы Kaiser (Швейцария) (рис. 3).

Однако, различные типы соединения модулей неравнозначны по жесткости. В частности, МИН сохраняют линейную характеристику радиальной жесткости и ее высокое значение только при сравнительно невысоких нагрузках [13].

При этом несущая способность узла крепления в значительной степени зависит от усилия, прикладываемого для затяжки соединения. Оптимальным является усилие закрепления, при котором достигается удельное давление на поверхностях контакта торцов модулей (см. рис. 2) порядка 109 Па.

При этом в области больших нагрузок жесткость соединений модулей резко снижается и возникают вибрации за счет значительных смещений в узле крепления модулей.

Кроме того, как отмечается в [19, 27], для таких конструкций характерно снижение жесткости при высоких частотах вращения за счет искажения формы контактирующих поверхностей.

Наиболее совершенны с точки зрения несущей способности торцово-конические способы крепления (с «двойным базированием»), которые способны передавать мощности до 15 кВт [24]. При этом

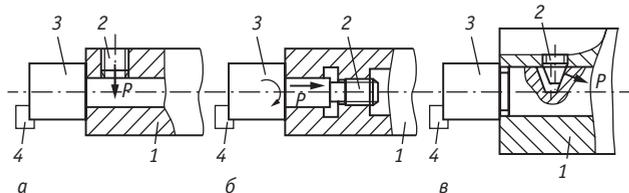


Рис. 2. Типы цилиндрических соединений модулей: а – с односторонним прижимом винтом; б – с осевой затяжкой; в – со смещенным крепежным винтом сбоку (1 – резцовая головка, 2 – крепежный винт, 3 – сменная наладка или державка, 4 – резцовая головка). Направление зажимной силы P показано стрелкой

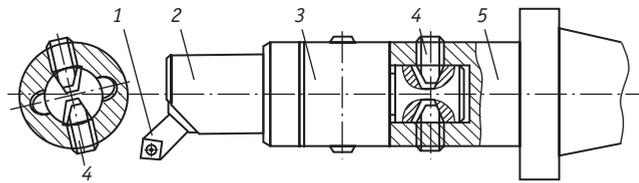


Рис. 3. Модульный инструмент системы SKV: 1 – резец; 2 – удлинитель; 3 – переходник; 4 – винт; 5 – державка

они имеют лучшие динамические характеристики по сравнению с цельными. Например, на частоте 6 кГц у цельного инструмента амплитуда в резонансе составляет около 150 мкм, а у аналогичного МИН с двойным базированием при более протяженной резонансной зоне амплитуда не превышает 30 мкм.

При создании узлов крепления МИН в отдельных ситуациях возникает необходимость:

- внутреннего подвода СОЖ;
- работы с правым и левым направлением вращения;
- работы с прямой и обратной подачей;
- как наружной, так и внутренней обработки.

Кроме того, появляются требования:

- автоматической сборки-разборки;
- автоматической идентификации каждого модуля;
- применения инструмента для высокоскоростной обработки;
- использования как при вращательном главном движении, так и при поступательном.

К сожалению, избыточность требований приводит к усложнению и значительному удорожанию МИН, в то время как значительное количество технологических операций возможно осуществить с помощью достаточно простых МИН при сохранении высокой эффективности.

Эффективность МИН также возрастает при унификации используемых технических решений. Так, в частности, производители режущего инструмента могли бы изготавливать его с узлами крепления, унифицированными с модулями МИН. Более того, при создании новых видов технологического оборудования целесообразно унифицировать не только узлы крепления режущего инструмента и модулей между собой, но и узлы крепления МИН в шпинделях, револьверных головках и в других присоединительных поверхностях станков.

Это позволяет повысить качество ТС в целом за счет:

- сокращения технологической размерной цепи;
- упрощения наладки и обслуживания в автоматизированном режиме;
- повышения надежности и стабильности рабочих характеристик.

Вместе с тем, повышение уровня унификации узлов крепления МИН позволяет снизить затраты на изго-

товление специальных модулей в условиях вспомогательных цехов машиностроительного предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

- Базров Б.М.** Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 368 с.
- Базров Б.М.** Научно-технические технологии в машиностроении. М.: Машиностроение, 2012. 528 с.
- Базров Б.М.** Модульное построение средств технологического оснащения // Справочник, Инженерный журнал 2007. № 11–12. С. 33–45.
- Базров Б.М.** Разработка техпроцессов изготовления деталей. Модульная технология в механосборочном производстве: Справочник технолога-машиностроителя в 2-х т. Т. 1. М.: Инновационное машиностроение, 2018. С. 564–582.
- Bazrov B.M., Sakharov A.V.** Determining the Position of Surface Modules of the Part within the Working Space of a Machine Tool // Russian Engineering Research. 2019. No. 39(5). PP. 410–413.
- Bazrov B.M., Rodionova N.A.** Classification of Basing Modules for Component Surfaces // Russian Engineering Research. 2020. No. 40(5). PP. 436–438.
- Базров Б.М., Троицкий А.А.** Анализ метода оценки технологичности конструкции изделия как предмета производства // Справочник, Инженерный журнал. 2017. № 4. С. 39–43.
- Базров Б.М.** Технологический подход к описанию конструкции изделия // Научно-технические технологии в машиностроении. 2015. № 5. С. 24–28.
- Базров Б.М.** Метод оценки конструкции изделия // Научно-технические технологии в машиностроении. 2015. № 7. С. 25–29.
- Эстерзон М.А., Рыжова В.Д., Радзиевский Д.В. и др.** Обеспечение технологической надежности обработки деталей на ГПС: методические рекомендации. М.: ЭНИМС, ОНТ, 1988. 59 с.
- Базров Б.М., Фролов Е.Б., Крюков В.В. и др.** Автоматизированное проектирование технологий и формирование групп оборудования на основе интеграции САПР ТП и MES на принципах модульной технологии // Станочный Парк. 2011. № 8. С. 66–73.
- Маслов А.Р.** Нормативная комплектация станков с ЧПУ и ГПМ инструментом. М., 1986. 32 с.
- Аслибекян С.Р., Мещеряков Р.К.** Расширение технологических возможностей вспомогательного инструмента блочно-модульной конструкции // Станки и инструмент. 1988. № 2. С. 12–15.
- Маслов А.Р.** Новые способы крепления инструмента на металлорежущих станках: Обзорная информация. Сер. Инструментальное, технологическое и метрологическое оснащение металлообрабатывающего производства. Вып. 2. М.: ВНИИТЭМР, 1991. 24 с.
- Маслов А.Р.** Инструментальные системы машиностроительных производств: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 2006. 335 с.
- Тивирев Е.Г.** Исследование инструментальных систем для концевой фрезерования на многоцелевых станках с ЧПУ // Сб. статей XIII Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России». М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. С. 22–25.
- Кочеровский Е.В., Лихциер Г.М.** Радиальная жесткость инструмента и точность обработки при растачивании по методу деления подачи // Станки и инструмент. 1985. № 6. С. 17–19.
- Мещеряков Р.К., Никольский А.А., Краев Н.А., Рунг В.Р.** Управление точностью обработки при растачивании отверстий // Вестник машиностроения. 1988. № 4. С. 24–28.
- Худяков М.П.** Повышение эффективности агрегатно-модульных расточных инструментов методами математического моделирования: Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. М.: МГТУ «СТАНКИН», 1998. 213 с.
- Кудинов В.А.** Динамика станков. М.: Машиностроение, 1967. 352 с.
- Малыгин В.И.** Повышение эффективности сборных режущих инструментов методами сложного неоднородного моделирования и неразрушающей активной экспресс-диагностики: Автореферат диссертации на соиск. уч. ст. д-ра техн. наук. М.: МГТУ «СТАНКИН», 1995. 32 с.
- Федоров В.Л., Шустиков А.Д.** Влияние жесткости, частоты и амплитуды колебаний инструмента на его стойкость // Станки и инструмент. 1979. № 6. С. 18–19.
- Федоров В.Л., Шустиков А.Д.** Влияние жесткости, частоты и амплитуды колебаний инструмента на его стойкость // Станки и инструмент. 1979. № 7. С. 18–19.
- Подураев В.Н.** Обработка резанием с вибрациями. М.: Машиностроение, 1970. 315 с.
- Саксена Дж.П.** Исследование колебаний системы СПИД и их влияние на износ режущего инструмента: Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. М.: РУДН, 1991. 216 с.
- Решетов Д.Н., Портман В.Т.** Точность металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1986. 336 с.
- Фадюшин И.Л., Смирнов Б.А., Балков В.П.** Инструментальные сборные модульные наладки // Станки и инструмент. 1984. № 9. С. 27–30.

МАСЛОВ Андрей Руффович –
доктор технических наук, профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии» ФБГОУ ВО «МГТУ имени Н.Э. Баумана» (Национальный исследовательский университет)

18–21.10.2021



В рамках проекта «Наука-Технологии-Инновации Экспо»
международная политехническая выставка

ТЕХНОФОРУМ



www.technoforum-expo.ru

Организатор



При поддержке:

- Государственной Думы Федерального Собрания РФ
- Министерства промышленности и торговли РФ

Под патронатом ТПП РФ

Реклама



«Оборудование
и технологии
обработки
конструкционных
материалов»

Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»