



Ключевые слова:
конкурентоспособность, технический уровень, производственная и технологическая системы, металлорежущий станок, эквивалент, аналог, прототип

Keywords:
competitiveness, technological level, production and technological systems, cutting machine, equivalent, analogue, prototype

ТЕХНИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Александр КУЗНЕЦОВ

Дана методологическая основа оценки качества (выходных параметров) металлорежущих станков и технологической системы для обработки деталей, под качеством которых понимается точность размеров, формы и расположения поверхностей обрабатываемых деталей по величине отклонений геометрического образа детали, оценивается качество металлорежущего станка. Рассмотрена методика оценки технического уровня технического объекта и подбора аналогов. На основе анализа массива данных, сформированного из элементов множеств качественных и количественных характеристик основных свойств, приведены степени подобия (прототип, аналог, эквивалент) технических объектов.

The article presents methodological basis of quality assessment (output parameters) of cutting machines and technological system for processing of components, which quality is understood as precision of the size, shape and location of treated surface, and the quality of the cutting machine is estimated by the largest variance of geometric image of the component. It considers the method of evaluation of the technical level of the technical object and the selection of analogues. On the basis of analysis of the data array, formed of elements of the sets of quantitative and qualitative characteristics of the basic properties, the article describes the degrees of similarity (the prototype, analogue, equivalent) of technical objects.

Конкурентоспособность товара – это способность противопоставить себя аналогичным товарам, формируя у покупателя предпочтение при его выборе для приобретения. Как известно, товар имеет две формы стоимости: потребительную и меновую. Полезность вещи определяет ее потребительную стоимость, которая выражается только в процессе пользования (потребления). А меновая стоимость определяет количественные соотношения, в которых одни товары обмениваются на другие.

Потребительная стоимость (полезность) товара, в частности технических средств, характеризуется показателями назначения, включающими в себя техническую эстетику, эргономические и техниче-

ские характеристики. Чем выше показатели назначения, отражающие уровень полезности товара и их потребительную стоимость, и чем ниже меновая стоимость, выраженная через цену изделия, тем выше его конкурентоспособность. Технические характеристики и свойства изделий, особенно средств производства, являются главной и наиболее важной частью, определяющей их полезность и, соответственно, конкурентоспособность. В то время как цена на самом деле определяет конкурентоспособность изделия не однозначно, а опосредованно – через совокупную стоимость владения, учитывающую и экономический эффект, и эксплуатационные затраты, обуславливающие срок окупаемости изделия.

Таким образом, для комплексного представления о конкурентоспособности изделия необходимо оценить не только его технический уровень, но и провести технико-экономический анализ рациональности приобретения и использования данного изделия.

Единый подход к оценке эффективности процессов, оборудования и производств, с точки зрения общности методологической оценки, позволяет рассматривать их в виде энергоинформационной модели, в которой происходит преобразование различных форм и видов энергии, материи и информации. Данный подход дает возможность рассматривать понятие «эффективность» в качестве интегрального КПД совокупности всех видов преобразующих элементов системы.

Тогда «эффективность» системы – это степень использования какого-либо ресурса. А производительность системы – это скорость изменения свойств, состояния, структуры материи.

Точность процессов, оборудования и производств определяется уровнем соответствия или степенью приближения объема информации о реальных свойствах, параметрах и характеристиках изделия (предмета, продукта или детали) номинальному объему информации, заданному или идеальному.

Следовательно, рассматривая такие свойства производственных систем, как «конкурентоспособность» и «технический уровень» мы оперируем понятием системы, определяемой множеством составляющих ее элементов, их связями и взаимодействиями между собой, а также между ними и внешней средой. Такой системе присущи целостность, качественная определенность и целенаправленность. В системах происходят процессы преобразований, в результате которых осуществляется изменение состояний элементов. Входные элементы поступают в систему и преобразуются ею, а выходные – являются результатом процесса преобразования. Окружающая среда – это совокупность систем, изменение свойств которых изменяет свойства производственной системы и ее элементов, свойства окружающей среды также могут изменяться под воздействием самой системы.

Система S представляет собой упорядоченную пару $S = (A, R)$, где A – множество элементов, R – множество отношений между элементами A . Данный подход позволяет на системном уровне рассматривать два класса задач: первый – когда система базируется на определенных типах элементов (при этом никакой определенной тип отношений не фиксируется), и второй – когда система базируется на определенных типах отношений (в этом случае тип элементов, на которых определены отношения, не задается).

Понятием «элемент» будем определять (рассматривать или характеризовать) наименьший, далее неделимый компонент в рамках системы. Неделимым он является лишь по отношению к данной системе, в других же отношениях он сам может быть системой.

Бинарные отношения между элементами формируют и определяют свойства системы. Ее состояние характеризуется устойчивыми отношениями, а изменение отношений влечет за собой изменение состояний.

Процессы описывают поведение системы – изменение ее свойств и состояний при взаимодействии элементов, а также под воздействием на саму систему – как последовательность изменений состояния системы и пространственно-временных изменений свойств объекта. Функции системы определяют виды, формы, параметры и характеристики свойств системы.

Таким образом, рассмотрение конкурентоспособности и технического уровня металлорежущих станков с позиций системной унификации позволяет сформулировать объективные критерии их описания и оценки свойств.

Например, различные подходы к методам оценки и контроля качества металлорежущих станков, разнообразие терминологии описания характеристик, несоответствие предпочтительности способов оценки станков производителями и потребителями обусловлены широким спектром представлений о выходных параметрах точности станков, хотя подразумевается, что термины и понятия одинаково понимаются всеми участниками процесса, а аналогичные толкования несут одну и ту же смысловую нагрузку.

Рассмотрим структуру параметров точности металлорежущего станка и их взаимосвязь с выходными параметрами технологической системы, реализующей процесс обработки металлов резанием, результатом которого является изделие (рис. 1). Свойства изделия, формируемые в процессе выполнения технологического процесса, характеризуют его качество и являются естественным выходным параметром. При этом, сам технологический процесс рассматривается как последовательность взаимосвязанных технологических состояний, для которых можно также оценить показатели качества (например, геометрическая точность), являющиеся локальными выходными параметрами, достигаемыми в результате выполнения отдельных технологических операций. Набор технологических операций оказывается удобным способом для того, чтобы описать и рассмотреть процесс преобразования от начального к конечному технологическому состоянию, формирующий изменение и преобразование показателей и параметров точности.

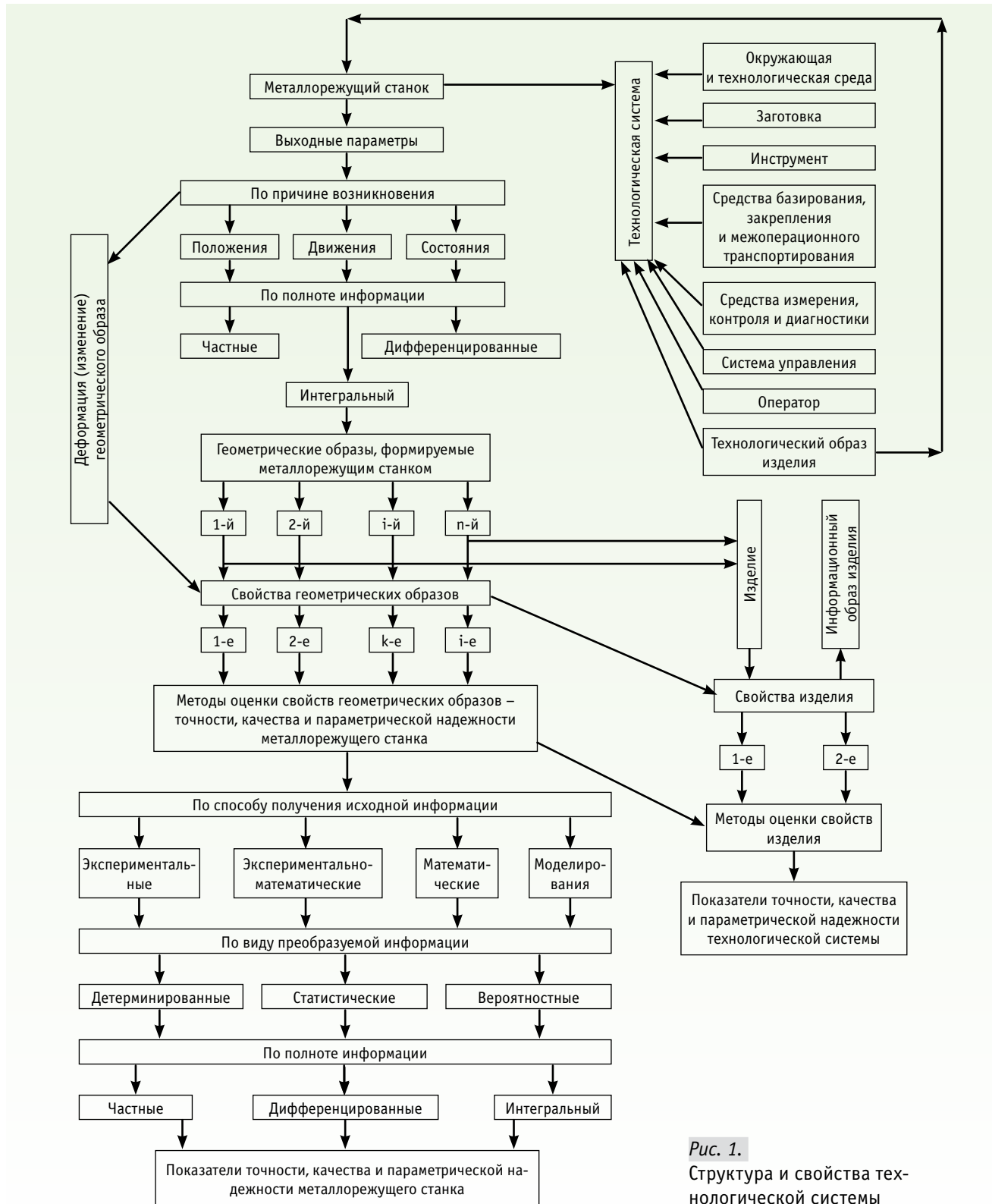


Рис. 1. Структура и свойства технологической системы

Технологический процесс считается завершенным тогда и только тогда, когда достигается равенство информации, относящейся к материальному объекту (изделию), и информации, заданной в виде чертежа изделия (информационной модели

материального объекта). Несоответствие – отклонение – этих информационных массивов характеризует качество технологического процесса.

Информация о геометрических параметрах, форме, структуре и свойствах изделия, заключен-

ная в его чертеже, является информационным образом изделия. Информация о последовательности преобразования материального объекта, заключенная в документах, определяющих способ достижения идентичности информации о готовом изделии его информационному образу – технологический образ изделия.

Информационный образ изделия можно представить в виде множества единичных информационных образов, характеризующих однородностью качественной и количественной информации и способом ее преобразования. Тогда технологический образ изделия так же может быть представлен множеством единичных технологических образов.

Таким образом, технологическая система, построенная на основе металлорежущего станка, предназначена для осуществления всего технологического процесса обработки резанием либо его определенной информационно и технологически законченной части, выполняемой на одном рабочем месте и обеспечивающей формирование изделия с заданными свойствами.

Как уже отмечалось, в качестве выходных параметров станка используются (и понимаются) точность размеров, формы и расположения поверхностей обрабатываемых деталей. По величинам отклонений этих показателей оценивается качество металлорежущего станка. С другой стороны, под выходными параметрами технологической системы, одним из элементов которой является станок, также понимают качество и/или производительность выполняемого технологического процесса. В этом случае, показателями качества обрабатываемых изделий, характеризующими отдельные их свойства, служат точность размеров, формы и расположения обрабатываемых поверхностей, их шероховатость и физико-механические параметры.

Очевидно, что одни и те же выходные параметры не могут одновременно объективно характеризовать точность и качество станка – элемента технологической системы – и всю технологическую систему, выходные параметры которой формируются совокупностью элементов, каждый из которых вносит свой вклад и имеет свою собственную долю влияния на параметры и свойства изделия.

Таким образом, для более достоверной оценки точности и качества станка необходимо определить такие выходные параметры, которые объективно отражают свойства станка, обусловленные его функциональным назначением, а также могут быть рассчитаны, оценены и/или определены экспериментально.

Хотя обработанная на станке деталь концентрирует в себе свойства всей технологической системы, по ней (детали) нет возможности однозначно

и достоверно оценить выходные параметры каждого из элементов системы, в силу случайности их проявлений и сложных взаимосвязей между ними.

По полноте информации о различных свойствах станка (см. рис. 1) выходные параметры могут быть также разделены на три группы:

- **частные** выходные параметры характеризуют различные свойства отдельных деталей, узлов, блоков и механизмов металлорежущих станков;
- **дифференцированные** выходные параметры характеризуют свойства узлов и деталей станка, объединенных общностью их функционального назначения;
- **интегральный** выходной параметр – характеризует совокупность свойств станка, которые отражают объективные особенности его функционирования.

Частные выходные параметры станка обусловлены функционально обособленными элементами и деталями, они определяются погрешностями положения, элементарными погрешностями движения и погрешностями состояния функционально обособленных узлов и деталей станка.

Дифференцированные выходные параметры обусловлены взаимодействием двух и более деталей и элементов станка и определяют более сложные по сравнению с частными погрешности движения, например траектории отдельных рабочих органов и погрешности их взаимного положения и состояния.

Частные и дифференцированные выходные параметры формируют интегральный выходной параметр.

Изделие, как материальный объект, является результатом функционирования всех элементов технологической системы, выполняющей заданный технологический процесс, и каждый элемент технологической системы (станок, инструмент, технологическая оснастка и т.д.) оказывает воздействия на формирование свойств изделия, обусловленные функциональным назначением этого элемента, его свойствами, параметрами и происходящими физическими процессами. В этом случае изделие выступает как интегрирующее звено всех организованных воздействий и взаимодействий, направленных на достижение заданного качества, значений параметров и свойств. Именно поэтому интегральным выходным параметром технологической системы является изделие, свойства которого характеризуют ее качество.

Металлорежущий станок относится к технологическому оборудованию, выполняющему процесс обработки резанием, то есть является средством технологического оснащения, в котором для выполнения определенной части технологического процесса размещаются материалы или заготов-

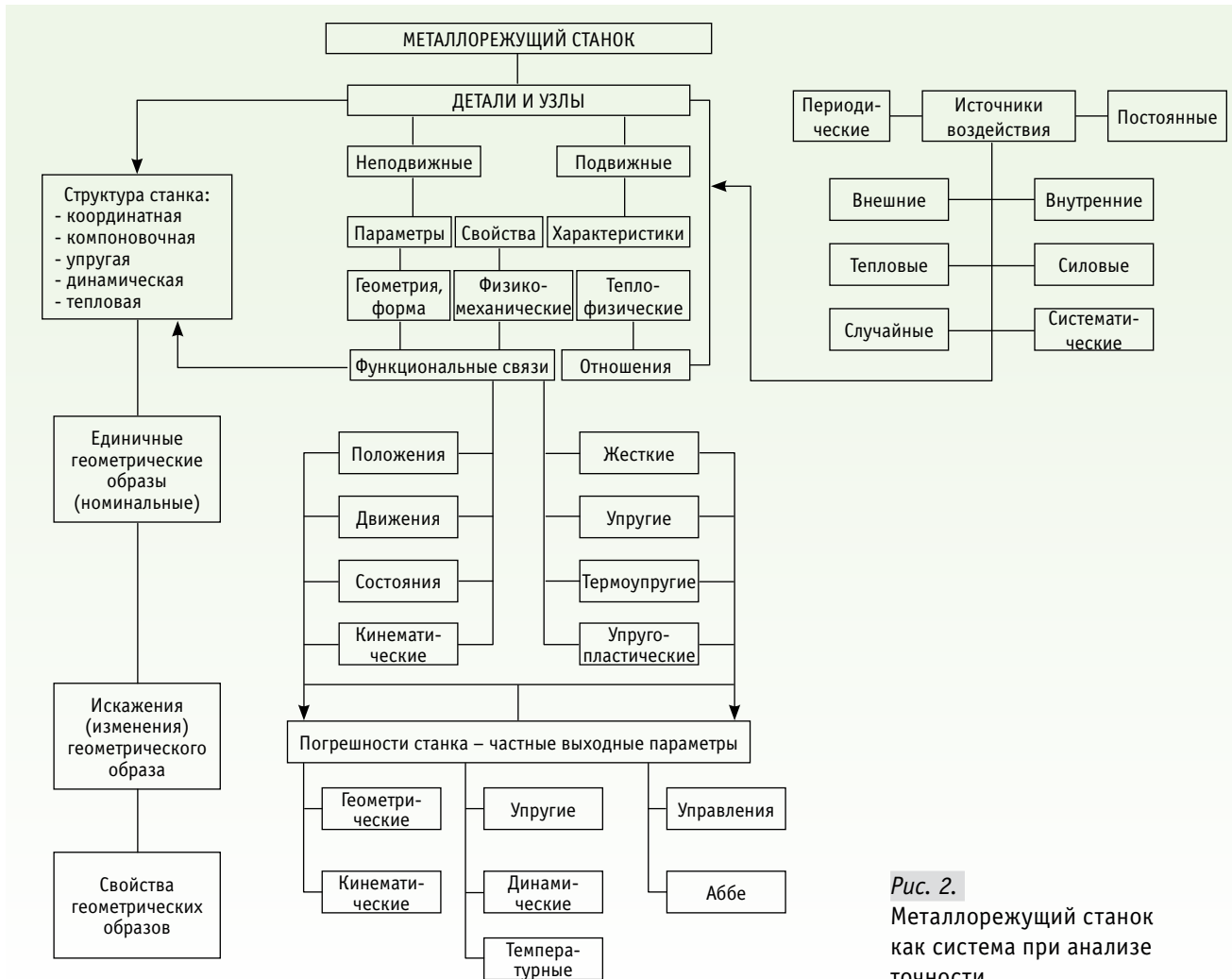


Рис. 2. Металлорежущий станок как система при анализе точности

ки, средства воздействия на них, а также технологическая оснастка и средства контроля.

Таким образом, металлорежущий станок в течение всего периода выполнения заданного технологического процесса является единственным элементом технологической системы, который полностью формирует **геометрический образ** изделия, он, таким образом, объединяет в себе все элементы технологической системы и обеспечивает их последовательное и взаимосвязанное функционирование для получения изделия.

Поэтому интегральным выходным параметром металлорежущего станка целесообразно считать геометрический образ, по свойствам которого можно судить о его качестве.

По аналогии с технологической системой, при анализе точности металлорежущий станок тоже рассматривается как система (рис. 2), состоящая из множества деталей и узлов, которые в соответствии с заданными и осуществляемыми функциями делятся на две группы: подвижные и неподвижные. К ним относятся станины, колонны, столы,

салазки, каретки, направляющие, шпиндельные бабки и т. п., которые в разных случаях могут быть как подвижными, так и неподвижными – фиксированными. Например, стол может быть как подвижным – с линейным перемещением или вращением, так и неподвижным – фиксированным; колонна так же может быть как подвижной, так и неподвижной и т. д.).

Детали и узлы, в свою очередь, характеризуются присущими им параметрами, свойствами и характеристиками: геометрическими размерами и формой, физико-механическими характеристиками и теплофизическими свойствами материала, параметрами теплообмена с окружающей средой и сопряженными элементами станка.

Неподвижные и подвижные детали и узлы станка через функциональные связи и отношения образуют различные структуры металлорежущего станка: координатную, компоновочную, упругую, динамическую, тепловую, термоупругую и др.

Отношения между деталями и узлами, а также их связи определяются видом и характером взаи-

модействия: жестким (неподвижным), упругим, термоупругим и упругопластическим.

Изменение параметров, свойств, характеристик неподвижных и подвижных деталей и узлов, а также их функциональных связей и отношений происходят вследствие воздействия основных видов источников их дестабилизации, таких как силовые и температурные, которые могут быть как постоянными, так и периодическими, случайными и систематическими, внутренними и внешними.

Выходные параметры, характеризующие свойства станка, будут определяться способностью системы сохранять требуемые положения, связи и отношения элементов, обусловленные их функциональным назначением. По типу возникновения отклонений выходные параметры можно разделить на три группы: положения, движения и состояния.

Погрешности положения обусловлены ошибками изготовления и монтажа (а также износом) узлов и деталей станка. К ним относятся такие погрешности, как, например, отклонение от перпендикулярности оси шпинделя к плоскости стола, отклонение от параллельности оси шпинделя направляющим, отклонения от параллельности / перпендикулярности направляющих и т. п.

Исходя из функционального назначения элементов станка погрешности положения определяются в виде характеристик взаимных положений в выбранной системе координат таких типовых геометрических элементов, как точка – точка, точка – линия, линия – линия, линия – плоскость, плоскость – плоскость.

Погрешности движения обусловлены ошибками изготовления, монтажа и управления под-

вижными элементами станка. К ним относятся кинематические погрешности, погрешности функционирования, погрешности траектории движения рабочих органов, погрешность позиционирования и т. п.

К **погрешностям состояния** относят отклонения, вызванные изменением состояния узлов и деталей станка вследствие статических и динамических воздействий на них силовых, тепловых и других видов энергии. К ним относятся, например, вибрации, упругие и тепловые деформации и т. п.

Все это обуславливает, формирует и определяет совокупность погрешностей (параметров точности) металлорежущего станка (см. рис. 2): геометрических, кинематических, упругих, динамических, температурных погрешностей, а также погрешностей управления (аппроксимации), а также погрешности, связанные с нарушением принципа Аббе, которые в достаточной степени описаны и систематизированы в отечественных и зарубежных стандартах.

Тенденции повышения производительности, точности, надежности, гибкости, экономичности технологического оборудования, а также в целом повышение эффективности всей системы производства обуславливают необходимость разработки новых системных методов анализа, применяемых при решении указанных задач и создании новых конструкций.

Для удовлетворения требований промышленности к продукции станкостроения в части необходимости обеспечения свойств, параметров и характеристик выпускаемых (или планируемых к производству) изделий (см. рис. 1), разработана схема формирования требований к множеству

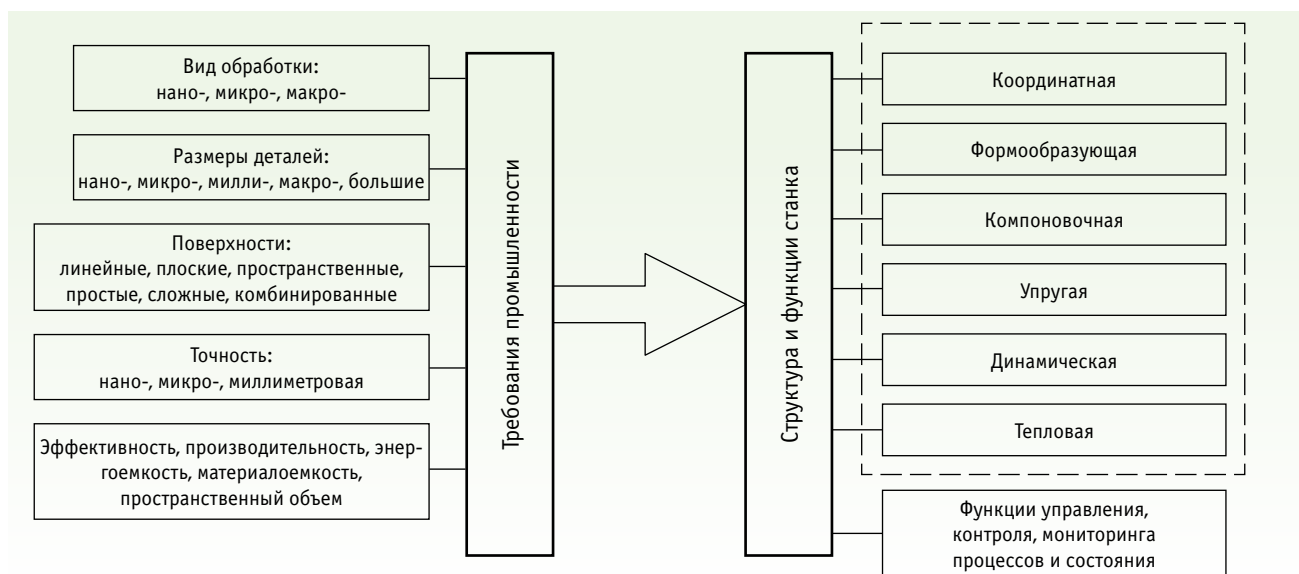


Рис. 3. Взаимосвязь свойств, параметров и характеристик систем изделия и станка

функций, параметров и характеристик станка (рис. 3).

Иными словами, определены выходные параметры станка, как функция преобразования или соответствия свойств изделий выходным характеристикам станка. Поэтому можно говорить, что описанный выше конфликт интересов потребителей и производителей технологического оборудования в системном рассмотрении может быть успешно преодолен, а методы оценки технического уровня, качества и конкурентоспособности будут находиться в обоснованном единстве, то есть множеству описаний (информационный массив) изделия поставлено в соответствие множество описаний (информационный массив) станка.

Постоянно возрастающие требования к качеству выпускаемых металлорежущих станков с ЧПУ обуславливают необходимость совершенствования и разработки методов и средств оценки и контроля качества (как более общей характеристики технического уровня и конкурентоспособности) этих станков на разных стадиях их создания: от проектирования до эксплуатации. Методы и средства оценки качества должны объективно отражать свойства станков, при этом они должны быть просты, удобны и экономичны в применении, доступны широкому кругу специалистов. При проектировании станков необходимы такие методы оценки, которые позволяют определить конструктивное качество станков, выходные параметры их узлов, деталей и элементов и управлять параметрами, формирующими технический уровень и качество металлорежущих станков. На стадии изготовления станков методы и средства должны позволять осуществлять объективный контроль и оценку качества на соответствие заданному уровню. Оценку качества станков также осуществляют потребители при их приемке и периодически в процессе эксплуатации.

На разных этапах жизненного цикла изделия используется информация об аналогах и прототипах. Она необходима при проработке технического задания, разработке технического проекта, испытании опытных образцов, выборе аналогичных станков при покупке из ряда предлагаемых и т. п.

Оценивая качество выбора аналога с точки зрения достоверности используемой информации, правильности методического подхода, объективности и обоснованности применяемых информационных методов можно сделать следующие выводы.

→ Используемая в настоящее время информация об аналогах отражает сегодняшний уровень технического развития. Следует также согласиться с одним весьма существенным допуще-

нием: информация, на основе которой мы строим свои суждения, не обладает инерцией ни в отношении полноты, ни в отношении сроков ее получения по отношению к моменту завершения разработки. Этот факт приходится признать, учитывая длительность сроков создания и освоения новой техники. Иными словами, мы практически всегда имеем дело с задачей, для решения которой используем неполный объем исходных данных.

→ Если говорить об аналогах вновь создаваемого изделия или оборудования, необходимо также иметь в виду, что к моменту серийного производства будет реально существовать новое изделие или оборудование, которое по своим технико-экономическим показателям и характеристикам в той или иной степени будет отличаться от ранее выбранного традиционными методами аналога. В предельном (худшем для создателей) случае оно будет существенно отличаться от выбранного аналога. Следовательно, при постановке такой задачи необходимо говорить не о выборе и определении аналога оборудования как такового, а об информационном образе аналога изделия или оборудования, полученном на основе информационного моделирования и прогнозирования технико-экономических параметров и характеристик, базирующихся на специально разработанных методах анализа информационных потоков. Следовательно, методы выбора сегодняшнего аналога «научно» обосновывают отставание технического уровня и конкурентоспособности вновь создаваемого оборудования.

→ Создание оборудования высокого технического уровня – сложная, важная и достаточно интересная научно-практическая задача. Но ее решение не обеспечит конечного результата без ответа на небольшой и весьма щекотливый вопрос: как экономически обосновать целесообразные области применения, эффективность замены существующих образцов, объективную потребность в оборудовании.

Таким образом, для успешного решения вопроса создания конкурентоспособной техники необходимо рассматривать комплекс взаимосвязанных методов, к числу которых должны быть отнесены:

- методы выбора аналога;
- методы оценки технического уровня;
- методы информационного моделирования;
- методы экономического обоснования целесообразности создания и областей эффективного применения.

Вне зависимости от решаемой задачи, необходимо определить понятие «аналог», а также

в простейших случаях определить операции, выполняемые над информационными массивами, в частности фактографическими, описывающими изделие или оборудование. Следовательно, независимо от вида решаемой задачи, возникает необходимость выбора из множества имеющихся фактографических сведений совокупности наиболее близких технических решений с последующей их оценкой. Вплоть до нахождения ограниченного количества (или одного единственного образца) оборудования (изделия), в наибольшей степени приближенного к объекту сравнения по структуре и содержанию описывающих его данных.

Иными словами, во всех случаях мы имеем дело с понятием «сравнение». Для реализации этого понятия необходимо определить базу множества, на котором это понятие реализуемо, а затем из этой базы извлечь наиболее близкое (аналогичное) оборудование, то есть объекты сравнения должны быть определены. Кроме того, сравнение двух и более образцов оборудования должно осуществляться корректно в отношении основных свойств, характеризуемых набором фактографических данных, которые, в свою очередь, должны быть систематизированы и упорядочены относительно их вида и содержания. Корректность рассмотрения заключается в выполнении операций над множеством параметров основных свойств, содержание которых сопоставлено как в качественном, так и в количественном отношении.

Визуализация описанного алгоритма и методологии может быть представлена в виде ныне составляемых фактографических таблиц или справок, на основе которых разработчиком предоставляется право выбора аналога. Нетрудно доказать, что таким образом всегда можно поставить в соответствие выбранному аналогу другой, не менее «объективный аналог» по комплексу анализируемых свойств. Единственным ограничением такого утверждения является выбор аналога для уникального объекта.

Рассмотрим основные и наиболее общие понятия и определения, которые положим в основу практической работы при поиске и сравнении оборудования.

Понятие подобия в зависимости от степени различия основных свойств оборудования может иметь следующие уровни сравнения:

- подобие по типу аналога;
- подобие по типу прототипа;
- подобие по типу эквивалента.

Все указанные понятия подобия образуются и определяются степенью совпадения основных свойств оборудования. Очевидно, что для корректного и объективного определения понятий «ана-

лог», «прототип» и «эквивалент» необходимо достаточно строго и однозначно классифицировать содержательную составляющую свойств оборудования, как упорядоченную совокупность множества параметров и характеристик.

Независимо от вида оборудования или изделия основные свойства определяются как множество, состоящее из двух видов:

- множество качественных (неизмеряемых) параметров и характеристик;
- множество количественных (измеряемых) параметров и характеристик.

Каждое из указанных и перечисленных множеств состоит в общем виде из « n » и « m » единиц, а их объединение определяет полное множество основных свойств оборудования.

Тогда определить подобие оборудования – значит найти такие операторы сравнения множеств параметров и характеристик, которые позволяют осуществлять операции над множествами. В простейшем случае этими операторами могут быть: операторы вычитания, деления, логические операторы (и, или, не), операции булевой алгебры, операторы конечных автоматов и т.п. Причем выбор оператора должен производиться от простейших арифметических к более сложным элементам. Как показала практика, наиболее применимыми являются арифметические операторы и операции булевой алгебры – логические операторы.

Этим достигается определенный формализм, в смысле возможности математической интерпретации действий, а следовательно – объективность конечного результата, так как независимо от субъекта порядок действий и конечный результат будут всегда одинаковы при одном и том же массиве данных.

Вид операций, последовательность их выполнения и способы реализации определяют научно-методическую основу и содержание методов сравнения, поиска и выбора аналогов оборудования по их фактографическим данным.

Следовательно, виды оборудования будут подобными, если множества качественных « n » и количественных « m » параметров и характеристик его основных свойств не отличаются. Тогда, относительно оборудования справедливы следующие определения.

- Определение 1. **Эквивалент** – такое оборудование, у которого не отличаются элементы множеств ни качественных, ни количественных параметров и характеристик основных свойств. Иными словами, эквивалентом оборудования является оборудование одноименной модели, выпускаемое на одном и том же заводе. Вероятность того, что среди подобного оборудования, выпускаемого другими заводами (фирмами),

хотя бы один параметр не будет отличаться, ничтожно мала.

- **Определение 2. Прототип** – такое оборудование, у которого не отличается необходимый минимум элементов-множеств качественных и количественных показателей и характеристик основных свойств. В качестве примера прототипа токарного станка могут служить токарные станки с равными и близкими максимальными диаметрами устанавливаемых изделий.
- **Определение 3. Аналог** – такое оборудование, у которого не отличается необходимый максимум элементов множеств качественных и количественных параметров и характеристик основных свойств. Иными словами, аналог – это эквивалент, у которого отличается хотя бы один элемент из множеств количественных и качественных параметров и характеристик.

Очевидно, что принятая система и метод выбора аналога, вместе с вышеизложенными математическими операциями над множествами информационных массивов, позволяют решать задачу объективного подбора аналогов независимо от способа ее реализации: в ручном режиме или автоматизированном. На основе приведенной системы определений легко реализуется программный метод поиска аналогов, позволяющий любому специалисту на основе таблицы фактографических данных получить один и тот же результат.

Метод оценки технического уровня оборудования (изделия) базируется на использовании того же массива исходных данных: структурных элементов множеств качественных и количественных параметров и характеристик основных свойств. Это обусловило возможность при разработке метода предъявить к нему следующие требования:

- универсальность относительно вида оборудования (изделия);
- минимизацию объема экспертной информации и ее разовое введение;
- содержательность определения понятия «технический уровень»;
- обоснованность определения степени соответствия технического уровня по отношению к аналогам;
- возможность устанавливать влияние отдельных параметров и характеристик на оценку технического уровня;
- простоту использования, наглядность интерпретации;
- объективность и достоверность.

Единственным ограничением метода является наличие достаточно представительного массива исходных данных и экспертный выбор показателей до начала применения метода. Метод базируется на трех основных определениях:

- **определение 1:** элементы множества качественных « n » и количественных « m » параметров и характеристик формируют n -мерное векторное пространство основных свойств;
- **определение 2:** множество « $m1$ » характеристик оборудования не менее предпочтительно множеству « $m2$ » характеристик оборудования, если оно не имеет ни одного большего значения;
- **определение 3:** диапазон значений характеристик технического уровня определяется лучшими (минимальными или максимальными) величинами.

Технический уровень оборудования определяется тем положительным эффектом, который достигается его применением при наименьших абсолютных или относительных (удельных) материальных, энергетических и финансовых затратах. Следовательно, из множества сравниваемых единиц оборудования при одинаковом положительном эффекте технический уровень выше у того оборудования, у которого при прочих равных условиях наименьшие затраты. Обычно, говоря о техническом уровне механизмов, имеют в виду такие его обобщенные показатели, как производительность, точность, надежность, себестоимость, которые достигаются при наименьших значениях удельной материалоемкости, энергоемкости и т.п.

Поэтому, проводя оценку технического уровня, необходимо определить модель соответствия технико-экономических параметров и характеристик показателям технического уровня. В зависимости от вида этой модели возможны два варианта:

- технико-экономические параметры и характеристики адекватно соответствуют показателям технического уровня, или это соответствие является линейной комбинацией нескольких технико-экономических параметров;
- технико-экономические параметры и характеристики имеют сложное и не всегда функционально взаимосвязанное соответствие параметрам и характеристикам показателям технического уровня.

Поэтому операторы модели преобразования множеств параметров и характеристик будут различны для каждого вида (группы, класса) оборудования. Эти различия определяются рассмотрением системы станка, приведенной на рис. 2–3. В табл. 1 в качестве примера приведена возможная номенклатура параметров металлорежущих станков.

В табл. 2 приведена схема процесса оценки подобия и выбора уровня сравнения металлорежущего оборудования, а на рис. 4 дана графическая иллюстрация данного процесса при нормальном законе распределения параметров.

Таблица 1. Номенклатура параметров металлорежущих станков

№ п.п.	Наименование показателя	Обозначение показателя	Характеристика	Примечание
1	Наименование оборудования	Текст	Полное наименование оборудования в соответствии с конструкторской документацией	
2	Модель	Буквенно-цифровое обозначение	В соответствии с принятой системой классификации	
3	Производитель, адрес	Текст	Полное и сокращенное наименования производителя, полный юридический адрес	
4	Показатели, обрабатываемой на станке заготовки	Цифровые значения	В системе единиц СИ	
4.1	Предельные размеры устанавливаемой заготовки (в люнете, в патроне, над суппортом, над станиной, над столом и т. д.), мм	D, H, L, B	Свойство станка по установке заготовки определенных размеров	
4.2	Предельные размеры обрабатываемых поверхностей детали	$D_{\sigma}, H_{\sigma}, L_{\sigma}, B_{\sigma}$	Возможности станка по обработке заготовки определенных размеров	
4.3	Наибольшая масса устанавливаемой заготовки (с учетом массы закрепляющих элементов при обработке с люнетом и т. д.), кг	Q	Возможности станка по установке заготовки определенной массы	
4.4	Другие характеристики заготовки, дополняющие свойства станка по установке и обработке		Возможности станка, расширяющие или ограничивающие его применение, функциональные и технологические возможности	
5	Показатели применяемого или устанавливаемого на станке инструмента	Цифровые значения	В системе единиц СИ	
5.1	Наибольшие размеры инструмента, устанавливаемого на станке (фрезы, ленты, пилы и др.), мм	D, H, h	Значения допустимых размеров применяемого на станке инструмента	
5.2	Наибольшая масса оправки (блока) в магазине, кг	Q_0	Свойство технологических возможностей и средств технологического оснащения	
5.3	Наличие накопителей инструмента	Да/нет		
5.3.1	Наибольшие размеры инструмента			
5.3.2	Наибольшая масса инструмента			
5.3.3	Количество инструмента в накопителе			
5.3.4	Тип накопительного устройства			
5.4	Другие характеристики инструмента, дополняющие свойства станка по установке и обработке		Свойства станка, расширяющие или ограничивающие его применение, функциональные и технологические возможности	
6	Показатели рабочих и установочных перемещений			
6.1	Наибольшее перемещение (линейных или угловых) рабочих органов станка с инструментом или заготовкой по координатам, мм (град)	L	Технологические возможности	Указывается отдельно по каждой координате
6.2	Дискретность задания линейных и угловых перемещений, мкм и с	Δ	Точность, технологические возможности	Указывается отдельно по каждой координате

№ п.п.	Наименование показателя	Обозначение показателя	Характеристика	Примечание
6.3	Точность позиционирования, мкм (с)	По ГОСТ 27843-2006 (ИСО 230-2:1997)	Точность, технологические возможности	Указывается отдельно по каждой координате
6.4	Количество управляемых осей координат	q	Технологические возможности	
6.5	Количество одновременно управляемых осей координат	q_o	Производительность, технологические возможности	
6.6	Другие показатели рабочих и установочных перемещений, дополняющие свойства станка	По данным изготовителя	Точность, технологические возможности	Зависят от особенностей станка
7	Показатели точности			
7.1	Показатели геометрической точности станка, мкм	По ГОСТ Р ИСО 230-1:1998	Точность, технологические возможности	По запросу
7.2	Показатели точности и шероховатости обработки (в партии) образцов-изделий, мкм	По ГОСТ 25443-82	Достижимая точность обработки	По запросу
7.3	Класс точности станка		Точность	
7.4	Другие показатели точности, дополняющие свойства станка	По данным изготовителя	Точность, технологические возможности	При отсутствии в п. 6 и 7
8	Показатели основных и вспомогательных движений станка			
8.1	Пределы частот вращения стола (шпинделя); об/мин	n	Технологические возможности	
8.2	Пределы рабочих подач стола, ползуна, суппорта, шпинделя и др., мм/мин	S_p	Технологические возможности, производительность	
8.3	Пределы скоростей быстрых (установочных) перемещений стола, ползуна, суппорта, салазок, шпинделя и др., мм/мин	S_y	Технологические возможности, производительность	
8.4	Другие показатели основных и вспомогательных движений, дополняющие свойства станка		Технологические возможности	По запросу
9	Показатели силовой характеристики станка			
9.1	Наибольший крутящий момент на шпинделе (планшайбе), кНм	$M_{кр}$	Технологические возможности	
9.2	Мощность привода главного движения, кВт	$P_{гл}$	Производительность	
9.3	Суммарная мощность установленных на станке электродвигателей, кВт	P_c	Энерговооруженность	
9.4	Другие показатели силовой характеристики, дополняющие свойства станка		Технологические возможности	По запросу
10	Показатели габарита и массы станка			

№ п.п.	Наименование показателя	Обозначение показателя	Характеристика	Примечание
10.1	Габаритные размеры станка (вместе с отдельно расположенными агрегатами и электрооборудованием): длина L , ширина B , высота H		Приспособленность к транспортированию и размещению	
10.2	Масса станка (вместе с отдельно расположенными агрегатами и электрооборудованием), кг	M	Экономичность по расходу материала	
11	Показатель производительности			
11.1	Коэффициент повышения производительности относительно сравниваемой модели	$K_{пр}$	Производительность	
12	Показатели технического совершенства			
12.1	Средства автоматизации (перечень)		Производительность, технологические возможности	
12.2	Оснащенность станка дополнительными устройствами и приспособлениями, расширяющими технологические возможности (перечень)		Технологические возможности	
12.3	Время автоматической смены инструмента	$t_{см}$	Производительность	
12.4	Другие показатели технического совершенства, дополняющие свойства станка			
13	Показатели надежности			
13.1	Установленная безотказная наработка, ч	T_y	Безотказность	
13.2	Установленный срок службы до первого капитального ремонта, лет	$T_{н.к.р}$	Долговечность	
13.3	Установленный ресурс по точности станка до первого среднего ремонта, тыс. ч.	$T_{р.т}$	Параметрическая надежность	
13.4	Коэффициент технического использования	$K_{т.к}$	Надежность	
13.5	Среднее время восстановления, ч	T_v	Ремонтопригодность	
14	Эргономические показатели			
14.1	Уровень звука на рабочем месте, дБА	LA	Соответствие физическим возможностям человека	
14.2	Корректированный уровень звуковой мощности, дБА	LPA	Приспособленность к условиям эксплуатации	
15	Показатели безопасности			
15.1	Показатели, обеспечивающие соблюдение общих требований безопасности при эксплуатации станков			

*Номенклатура показателей автоматических линий для механообработки, станки агрегатные и специальные по ГОСТ 4.130-88.

**Основные параметры и размеры станков должны соответствовать стандартам на конкретные виды станков и техническим требованиям. Общие технические требования по ГОСТ 7599-82.

*** Уникальные ультрапрецизионные технологии, оборудование и инструмент обеспечивают точность и качество обработки особо ответственных деталей спецтехники из металлических и неметаллических материалов в нанометровом диапазоне, нм.

Таблица 2. Схема метода выбора аналога

№ п/п	Наименование степени подобия технического объекта (ТО)	Показатели технического уровня ТО	Показатели эффективности ТО	Правило оценки	Вероятность соответствия, %
1	Эквивалент	6σ	6σ	6σ	≥ 99,98
2	Аналог	4σ	6σ ÷ 4σ	4σ	95÷99,98
3	Прототип	2σ	4σ ÷ 2σ	2σ	68÷95

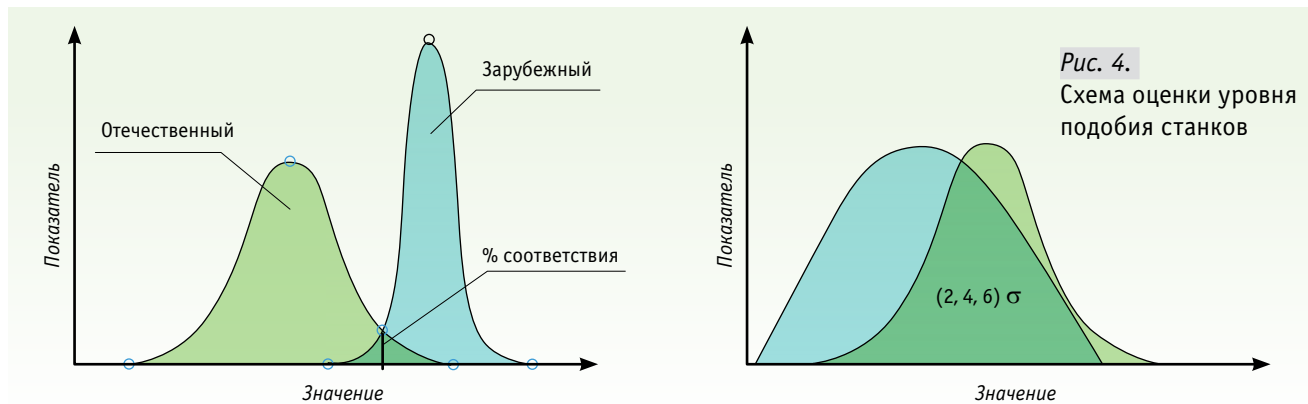


Рис. 4. Схема оценки уровня подобия станков

Для практического применения, в зависимости от требуемого уровня достоверности решаемой задачи сравнения, возможны и иные законы распределения (например, равномерный) или методы относительного уровня сравнения и ряд других.

Оценка технического уровня технического объекта осуществляется на основе массива исходных данных (базы данных) – элементов множеств качественных и количественных характеристик основных свойств ТУ. В качестве примера – для металлорежущих станков номенклатура показателей имеет вид приведенный в табл. 1. Технический уровень технического объекта и его эффективность применения определяют его конкурентоспособность. Следовательно, из множества сравниваемых технических объектов, при одинаковом техническом уровне и эффективности их применения и равных условиях эксплуатации, конкурентоспособность выше у такого ТО, который обеспечивает наименьшие издержки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов А.П. Методы оценки и контроля качества металлорежущих станков с ЧПУ. М.: ВНИИ-ТЭМР, 1985. 68 с.
2. Кузнецов А.П., Гришин В.В. Оценка технического уровня промышленных роботов. М.: ВНИИ-ТЭМР, 1990. 54 с.
3. Кузнецов А.П. и др. Техничко-экономические проблемы создания ГПС.М.: ВНИИТЭМР, 1987. 68 с.
4. Асанов Р.Э., Кузнецов А.П., Косов М.Г. Инженерный метод оценки и выбора мехатронных

модулей по их интегральным параметрам при проектировании технических устройств // М.: Вестник Машиностроения. 2014. № 12. С. 34–41.

5. Асанов Р.Э., Косов М.Г., Кузнецов А.П. Оценка технического уровня мехатронных модулей // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2013. № 1(24). С. 60–66.
6. Кузнецов А.П. Структуры процессов и оборудования обработки резанием. Ч. 4. Структуры оборудования обработки резанием // М.: Вестник Машиностроения. 2015. № 5. С. 63–77.
7. Kuznetsov A.P., Blau P., Koriath H.-J., Richter M. Criteria for Energy-efficiency of Technological Processes, Technological Machines and Production Engineering Procedia CIRP.v.46. 7th HPC 2016 – CIRP Conference on High Performance Cutting. PP. 340–343.
8. Бушуев В.В., Кузнецов А.П., Сабилов Ф.С., Хомяков В.С., Молодцов В.В. Проблемы точности и эффективности современных металлорежущих станков // СТИН. 2016. № 2. С. 6–16.
9. Косов М.Г., Кузнецов А.П. Философское осмысление понятия «образ» в моделировании технологических процессов и машин // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2012. Т. 19. № 1. С. 148–155.
10. Кузнецов А.П. Тепловое поведение и точность металлорежущих станков. М.: Янус-К, 2011. 256 с.

КУЗНЕЦОВ Александр Павлович – доктор технических наук, профессор кафедры станков МГТУ «СТАНКИН» / МГТУ им. Н.Э. Баумана, директор по науке, инжинирингу и инновационному развитию АО «Станкопром»