

**Ключевые слова:**

технологическая независимость, импортоприменение (импортозамещение), уровень и степень локализации производства, трудоемкость, эффективность локализации

**Keywords:**

import application (import substitution), the level and degree of production localization, labor intensity, localization efficiency

# ЛОКАЛИЗАЦИЯ В РОССИЙСКОМ СТАНКОСТРОЕНИИ — ФАКТОР ДОСТИЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

**Александр КУЗНЕЦОВ**

Рассмотрены вопросы углубленной оценки уровня импортоприменения (импортозамещения) в российском станкостроении с точки зрения достижения технологической независимости. Дана методология расчета объективной оценки уровня локализации производства, рассмотрены основные показатели оценки степени и уровня локализации. Показано, что данный подход может эффективно применяться при принятии оптимальных управленческих решений.

Considers the problems of in-depth assessment of the level of import application (import substitution) in the Russian machine-tool industry in terms of achieving technological independence. It provides methodology for evaluating of the level of production localization, reviews the basic indicators for assessing the degree and level of localization. It shows that this approach can be effectively applied in making optimal management decisions.

Технологическая независимость — это такое состояние развития науки, техники, технологий, производства технологических машин, оборудования и методов их использования, которое соответствует современному мировому уровню развития. Технологическая независимость обеспечивает необходимые минимально допустимые (без учета импорта) потребности национальной экономики, а также предоставляет возможность увеличения собственного производства на базе имеющегося производственно-технологического опыта и собственных ноу-хау при росте внутреннего спроса.

Развитие технических объектов происходит в направлении от макроуровня, когда объект, как система, состоит из сложных структур и элементов, осуществляющих передачу и преобразование физических явлений, к микроуровню, при котором элементы структуры объекта сами реализуют физиче-

ские процессы, связанные со строением и свойствами материи, из которой они состоят. Таким образом, в процессе развития повышается уровень взаимодействия физических полей и вещества.

Несмотря на давнюю историю станкостроения, на практике удалось внедрить небольшое число технологических методов, реализуемых металлорежущими станками, однако станки при этом сыграли ключевую роль в промышленных революциях. Большой объем технических знаний и ноу-хау, аккумулированных в станкостроительной отрасли, могут быть использованы во многих других отраслях. Станки являются важным конкурентным преимуществом любой национальной промышленности. Для создания новых, более прогрессивных и инновационных станков необходимо не только обеспечить структурные (жесткость, пространство обработки и т.п.) и функциональные (формообразо-

Таблица 1. Взаимосвязь знаний при создании станков и оборудования

Детали, узлы и системы станка	03 Область знаний					01 03 09
	Механика	Механика сплошной среды	Физика твердого тела	Информатика	Математика	
Неподвижные		+	+		+	Область решений
Подвижные	+	+	+	+	+	
Функциональные	+			+	+	
01 Область требований						09

вание, управление, контроль и т.п.) возможности, основанные на принципах проектирования станка, но и быстро внедрять передовые технологии, материалы и компоненты, разрабатывать новые технологии в области станкостроения. Станкостроение интегрирует в себе различные технологии, связанные с широким спектром областей научного знания (табл. 1), а также результаты, полученные в разных областях научных дисциплин: электроники, мехатроники, инженерного проектирования, метрологии, технологического проектирования, информатики и др. Взаимосвязь различных областей научного знания, научно обоснованных и практически апробированных решений обуславливает возможность обеспечения требований, предъявляемых к станкам современной промышленностью.

Область знаний содержит и определяет методы описания поведения, состояния, структуры и свойств процесса или явления как объекта рассмотрения. Применительно к технологическому оборудованию и металлорежущим станкам такими объектами рассмотрения являются детали, узлы и системы станка, которые укрупненно можно разделить на неподвижные, подвижные и функциональные.

Область требований содержит и определяет параметры, характеристики и свойства объекта рассмотрения и его структурных частей, обусловленные запросом со стороны промышленности.

Область решений содержит и определяет фактически достигнутые или, возможно, достижимые параметры, характеристики и свойства объекта рассмотрения и его структурных частей на период времени создания объекта (станка).

Таким образом, при проектировании требуется определить наилучшие из достижимых параметров, характеристик и свойств объекта проектирования, структура элементов которого и их взаимодействие формируют систему с заданными функциями и поведением. Следовательно, областью существования такого объекта (станка) будет пересечение областей знаний, требований и решений, в которой одновременно выполняются все условия существования.

В настоящее время заканчивается переход от традиционных механических конструкций универсальных станков (через электромеханические конструкции станков с ЧПУ первых поколений) к мехатронным конструкциям современных станков.

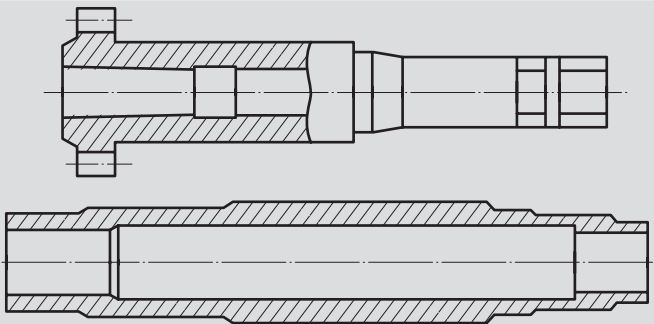
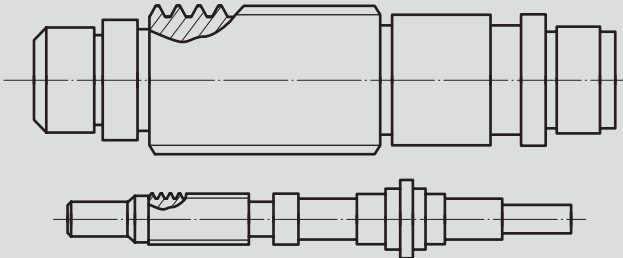
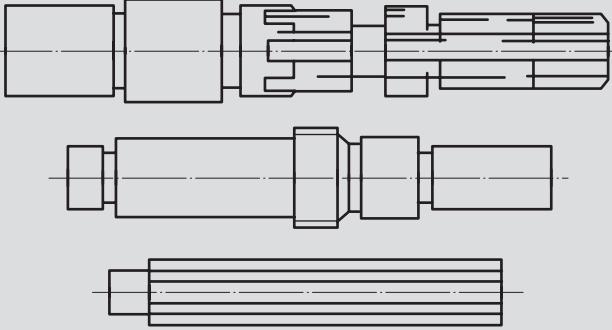
Во второй половине 20 начале 21 века на изменение конструкции и рост технологических возможностей металлообрабатывающих станков оказывали влияние факторы, сформировавшиеся в результате стремительного развития фундаментальных областей знания (квантовая физика, физическая химия, электроника, вычислительная техника и др.). В первую очередь их влияние проявилось в массовом использовании систем ЧПУ, регулируемых приводов, новых инструментальных материалов, оптических и лазерных измерительных систем и новых физических принципов обработки материалов.

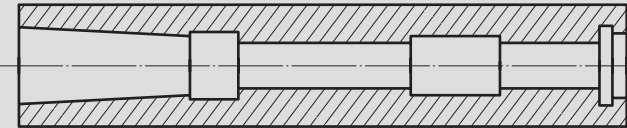
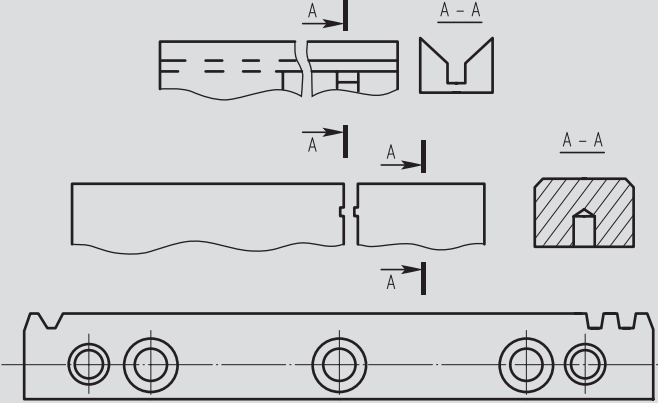
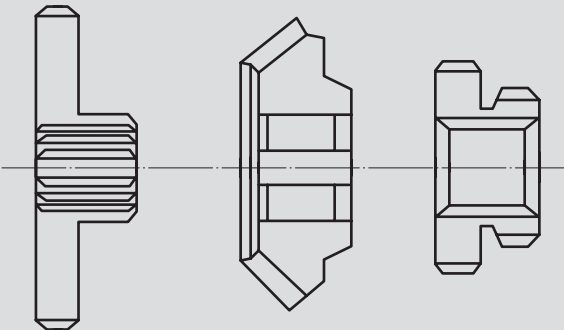
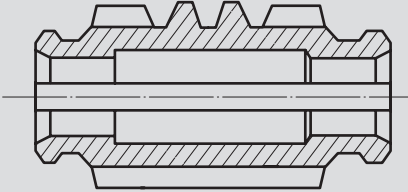
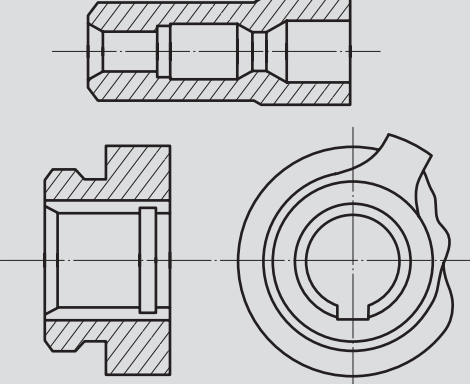
Учитывая взаимосвязи между приведенными областями знаний (табл. 1), можно выделить ряд основных направлений поиска новых решений, которые сформировались за эти годы:

- при создании и совершенствовании конструкций станков, для принятия решения часто используют системный анализ, а поиск решений осуществляется на альтернативной основе;
- разрабатываются станки, реализующие новые виды технологических операций, основанных на использовании физических и физико-химических методов обработки, или их сочетании с традиционными методами, при этом в одной конструкции объединяют различные технологические процессы;
- широко применяется агрегатно-модульный принцип, который требует унификации и типизации конструкторских решений, повторяемости и взаимозаменяемости узлов и деталей;
- технологические возможности оборудования расширяются за счет установки на станках дополнительных узлов и приспособлений, а на стадии разработки концепции предусматриваются все возможные модификации;

- создаются многофункциональные модули, которые расширяют технологические возможности станков (шпиндельные узлы с поворотом оси в пространстве, поворотные и «глобусные» столы и т.п.);
  - широко применяются новые материалы (керамика, полимербетон, композиты и др.) и технологические процессы, особенно при производстве точных, прецизионных и ультрапрецизионных станков;
  - существенно сокращаются механические цепи при одновременном повышении сложности механизмов;
  - функция согласования исполнительных движений передается от цепей механических передач к системе управления и регулируемым приводам различных видов;
  - используются механизмы, созданные на основе новых физических принципов, например магнитострикционные приводы, магнитная подвеска шпинделей;
  - широко применяются мехатронные устройства, что создает хорошие предпосылки для получения принципиально новых конструкторских решений;
  - в систему управления вводятся все более сложные элементы искусственного интеллекта, включая распознавание образов деталей, контроль качества изделий и адаптацию к процессу обработки.
- Все это приводит к тому, что количество оригинальных деталей уменьшается в 3÷5 и более раз, что, в свою очередь, обуславливает и изменения технологических пропорций в процессе производства станков, поскольку в кинематических цепях значительно сокращаются или отсутствуют зубчатые, червячные передачи, валы, опоры, муфты, число которых в традиционных станках составляет сотни единиц. Проведенный анализ деталей металлорежущих станков позволил объединить их в типовые группы, классификация которых сведена в *табл. 2*.

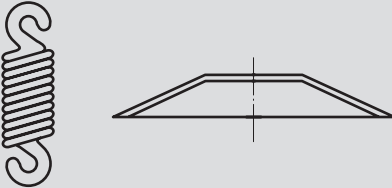
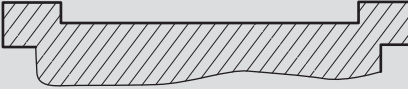
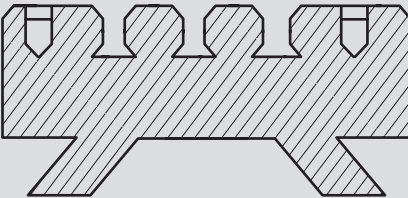
Таблица 2. Классификация деталей и узлов металлорежущих станков

Класс деталей	Наименование типа деталей	Эскиз типа детали	Материал
1	Шпиндели		Сталь: 45, 18ХГТ, 12ХНЗА, 30ХЗМВФ, 30Х2Ю
2	Ходовые винты		Сталь: ХВГ, 7ХГ2ВМ, 8ХФ, 38ХВФА, 38ХМЮА
3	Валы гладкие, ступенчатые и шлицевые		Сталь: 45, 50, 40Х, 50ХН, 40ХНМА, 50Х, 18ХГТ, 2ХНЗА,

Класс деталей	Наименование типа деталей	Эскиз типа детали	Материал
4	Гильзы и пиноли	 <p>Technical drawing showing a cross-section of a sleeve and pin assembly. The sleeve is a hollow cylinder with a pin inserted through its center. The pin has a wider section at one end.</p>	Сталь: 18ХГТ, 12ХН3А, 40ХФА, 30ХЗМВФ
5	Накладные направляющие и рейки	 <p>Technical drawing showing various views of guide rails. It includes a side view with a T-shaped profile, a cross-section labeled 'A-A' showing a V-shaped groove, and a top view of a long rail with four circular holes. Arrows labeled 'A' indicate the direction of sectioning.</p>	Сталь: ШХ15; ШХ15СГ, 18ХГТ, 12ХН3А, 30ХЗМВФ, 38Х20, 45
6	Зубчатые колеса	 <p>Technical drawing showing three views of gear wheels. One is a side view of a gear with a shaft, another is a cross-section of a gear, and the third is a side view of a different gear design.</p>	Сталь: 50ХН, 40Х, 20Х, 12ХН3А, 18ХГТ, 40ХФА
7	Червяки	 <p>Technical drawing showing a cross-section of a worm gear meshing with a gear. The worm gear has a cylindrical shape with a helical thread.</p>	Сталь: 40Х, 50Х, 18ХГТ, 12ХН3А, 38Х2Ю
8	Кулачки, кривые, копиры, втулки, фланцы, рычаги и др.	 <p>Technical drawing showing three views of various mechanical parts. One is a cross-section of a lever or arm, another is a side view of a similar part, and the third is a circular part with a central hole and a curved outer edge.</p>	Сталь: 40Х; 50Х 45 ШХ15; ШХ15СГ 45, 40Х, У8А



Окончание таблицы 2

Класс деталей	Наименование типа деталей	Эскиз типа детали	Материал
9	Пружины		Сталь: 65Г, 60С2Л, 50ХФА
10	Станины, колонны и другие базовые детали		Чугун: СЧ 18-36, СЧ 21-40, СЧ 32-52, ВЧ 40-10, гранит, полимер- бетон
11	Столы, каретки, траверсы и другие корпусные детали		Чугун: СЧ 18-36, СЧ 21-40, СЧ 32-52, ВЧ 40-10

Выделим и сформируем из этих одиннадцати классов группу подвижных и неподвижных деталей и узлов, которые будут определяться следующими видами:

- шпиндели и ходовые винты;
- шпиндельные бабки (головки);
- траверсы;
- каретки;
- ползуны;
- салазки;
- столы;
- колонны (вертикальные станины);
- станины (горизонтальные);
- основания.

Качественное изменение технологических возможностей металлообрабатывающих станков сопровождалось резким усложнением элементов их конструкции. Эти процессы привели к изменению всей структуры производства данного вида оборудования. Произошла трансформация станкостроительных заводов из предприятий полного технологического цикла в относительно компактные, тяготеющие к сборочному производству фирмы с подразделениями финишной механообработки.

Изготовление наукоемких комплектующих сосредоточилось внутри достаточно узкого круга крупных производителей, способных обеспечить их серийное производство и приемлемую стоимость.

Количество видов и типов изделий общестанкостроительного применения ограничено следующим перечнем:

- направляющие линейных и вращательных перемещений;
- узлы и механизмы приводов главного движения и подачи;
- измерительные преобразователи перемещений, контроля и управления;
- механизмы и узлы технологического оснащения для станков;
- механизмы защиты, ограничений и безопасности;
- системы числового программного управления и электроавтоматики.

Исходя из анализа современных тенденций в проектировании и производстве станков обобщенный процесс их производства может быть представлен схемой, приведенной на *рис. 1*. Очевидно, что это такое представление позволяет формировать различные виды производств по уровню охвата полного цикла производства как станка в целом, так и на уровне кооперации, обусловленной показателями технологической и экономической эффективности производства, а также рядом социальных и иных вопросов.

Все это обуславливает необходимость решения задачи оптимального (рационального) уровня локализации производства той совокупности деталей и узлов, которая определяет технологическую независимость страны.

Следовательно, под локализацией следует понимать степень полноты охвата независимой национальной промышленностью производства (использования) материалов, деталей, узлов

и механизмов при производстве изделий станкостроения.

В этом случае, для количественной оценки уровня локализации изделия (в данном случае металлорежущего станка) необходимо рассматривать систему, состоящую из множества элементов и их свойств (качественных и/или количественных). На рис. 1 приведено множество элементов, из которых состоит станок, используемых при его сборке, а в качестве свойства отмечена трудоемкость их изготовления.

Предположим, что нами сформировано множество элементов станка, состоящее из  $N$  наименований (А, Б, С, Д...), из которых подмножество  $N_p$  (А, Е, К...) производится на предприятиях или по кооперации внутри страны. Очевидно, что  $N_p < N$ , при этом выполняется равенство  $N = N_p + N_i$ , где  $N_i$  – множество импортируемых элементов станка. Тогда зависимость для оценки уровня локализации может быть выражена следующим образом:

$$U_N = \frac{N_p}{N} = \frac{N_p}{N_p + N_i} = \frac{1}{1 + \frac{N_i}{N_p}} \quad (1)$$

Учитывая, что множество  $N_p$  формируется только из множества наименований  $N$ , количество вариантов построения множества независимых сочетаний выбора способов локализаций одного и того же уровня будет определяться выражением количества сочетаний  $C_N^{N_p}$  из  $N$  элементов по  $N_p$ .

Например, если  $N = 42$ , а значение  $N_p$  составляет 14, 21 и 35 (что соответствует уровням локализации  $U_N$  в 30, 50 и 70%) получим округленное число возможных вариантов достижения одинакового уровня локализации соответственно 53 млрд., 538 млрд. и 27 млн. для одного и того же множества элементов.

Для значений  $N = 30$  по  $N_p = 10$  – 30045015 вариантов, по  $N_p = 15$  – 155117520 вариантов, и по  $N_p = 21$  – 14307150 вариантов.

Для значений  $N = 21$  по  $N_p = 7$  – 116280 вариантов,  $N_p = 10$  – 352716 вариантов и  $N_p = 14$  – 116280 вариантов.

Для значений  $N = 15$  по  $N_p = 5$  – 3003 вариантов,  $N_p = 8$  – 6435 вариантов и  $N_p = 11$  – 1365 вариантов.

Таким образом, огромное многообразие вариантов достижения одних и тех же значений уровня локализации, с одной стороны, дают широкий выбор возможностей для производителя, а с другой стороны, не дают необходимой объективности при выборе направлений решения задач технологической независимости.

Анализ выражения (1) позволяет определить предельный уровень степени локализации при сочетании входящих множеств импортируемых и производимых элементов. На рис. 2 приведены

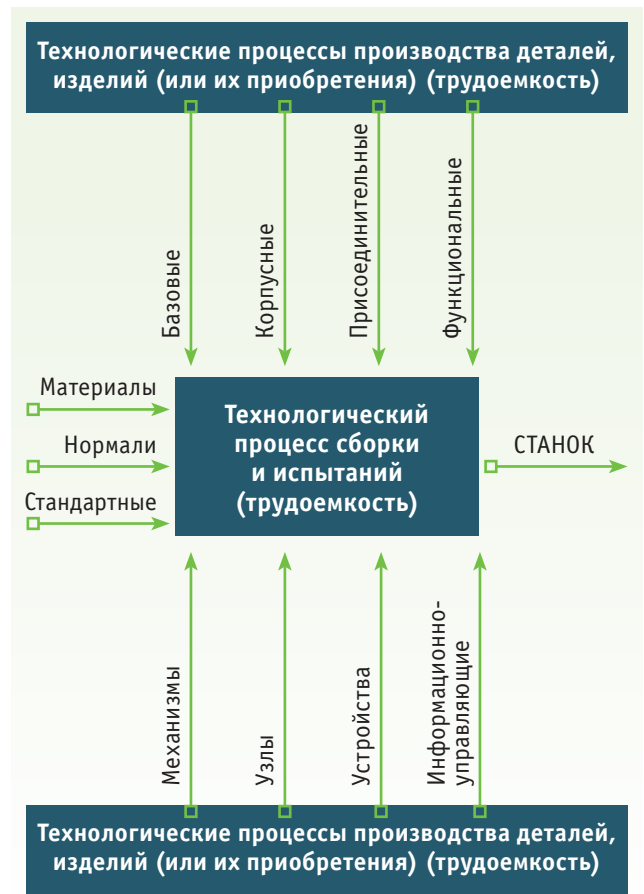


Рис. 1. Обобщенная схема процесса производства станков

графики зависимостей  $U_N$  при изменении  $N_p$  для фиксированных значений  $N_i$ .

Так, для металлорежущих станков (согласно постановлению Правительства № 719 от 17 июля 2015 г.), при поименованном множестве, состоящем из элементов, приведенных в табл. 3, можно получить необходимые исходные данные для формирования требуемого уровня локализации и вариантов его обеспечения.

Из сказанного следует, что обеспечение требуемого уровня локализации зависит также от вида металлорежущих станков, определяющего множество наименований элементов локализации, его точности, массогабаритных размеров и ряда других особенностей. Это потребует на определенном этапе более дифференцированного подхода и разработки соответствующих методик.

Обобщенно, предлагаемые в настоящее время методики можно свести к представлению об оценке степени локализации в том виде, который приведен в табл. 4.

Эта классификация, по нашему мнению, недостаточно строго и однозначно определяет уровень импортозамещения, а скорее характеризует уро-

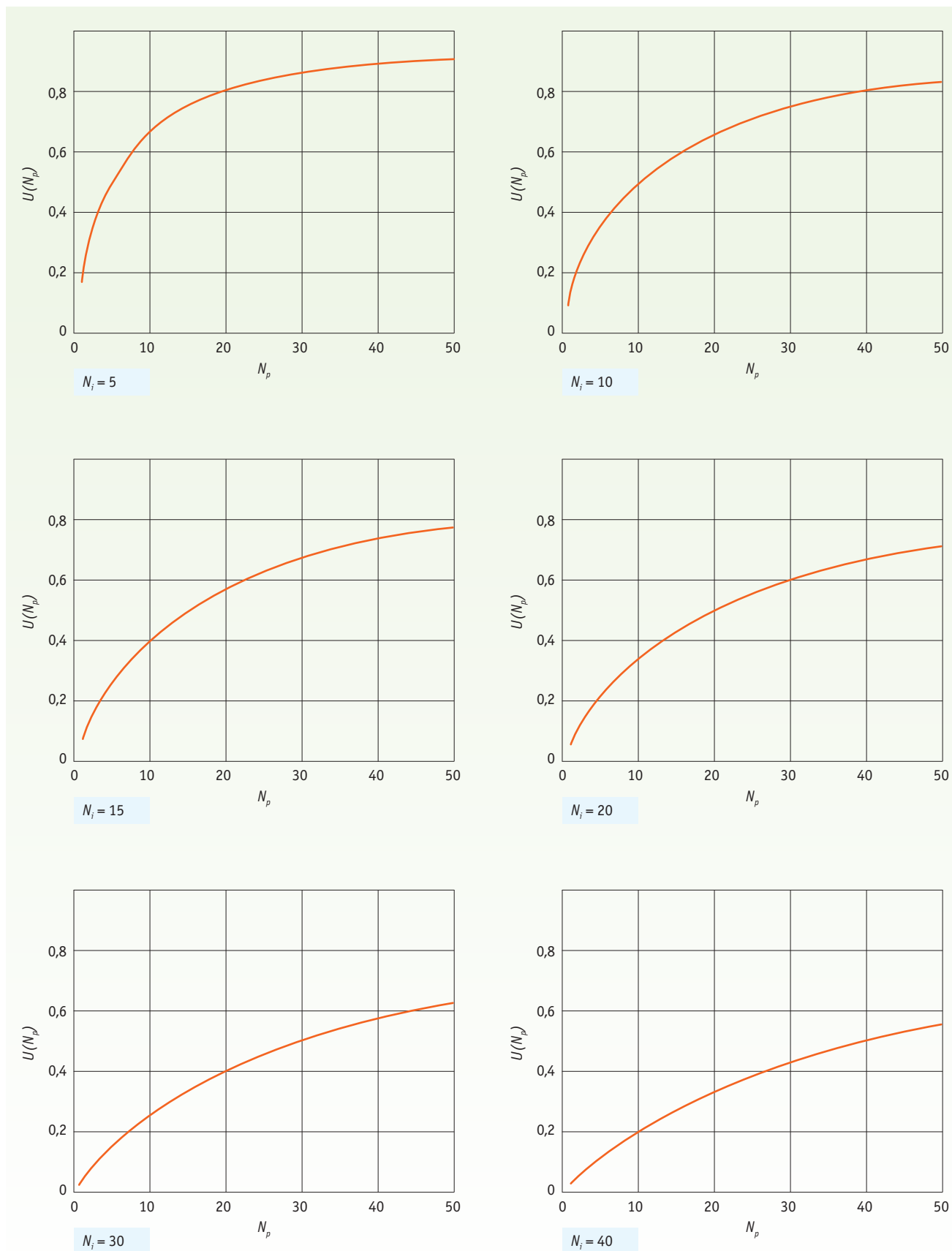


Рис. 2. Графики изменения уровня локализации

Таблица 3. Перечень рекомендуемого множества элементов станка для оценки степени локализации

№	Множество элементов станка	$N_p$	$N_i$	$T_p$	$T_{pu}$	$T_u$
1	Управляющий программно-аппаратный комплекс		+			+
2	Мотор-шпиндель	+	-	-	+	
3	Электрошпиндель	-	-	-	-	-
4	Рабочая головка (лазерная, электроабразивная и др.)	-	+			+
5	Двухосевой стол	-	-	-	-	-
6	Одноосевой стол	-	+	-	+	-
7	Накладной стол — плоский (устанавливаемый на суппорте), в том числе для трехкоординатной обработки	-	-	-	-	-
8	Двухосевая шпиндельная головка (без шпинделя)	-	-	-	-	-
9	Одноосевая шпиндельная головка (без шпинделя)	-	+	-	-	+
10	Статичная — безосевая шпиндельная головка (без шпинделя), в том числе для трехкоординатной обработки	-	-	-	-	-
11	Револьверная головка	-	+	-	-	+
12	Устройство смены инструмента (штампа, паллет)	+	-	-	+	-
13	Магазин инструмента	+	-	+	-	-
14	Магазин паллет	+	-	+	-	-
15	Стружкотранспортер, устройство дробления, брикетирования	-	+	-	-	+
16	Электрические источники излучения для лазеров и прочие источники электрической энергии	-	-	-	-	-
17	Оптические системы — объективы, линзы, зеркала и др.	-	-	-	-	-
18	Лазерные указатели, датчики положения бесконтактные и др.	-	+	-	-	+
19	Датчики контактные, 3D-щупы и др.	+	-	-	+	-
20	Опоры, в том числе прецизионные подшипники качения, опоры скольжения, опоры гидро-, аэро-, магнитные и др.	-	+	-	-	+
21	Насосы высокого и сверхвысокого давления	-	+	-	-	+
22	Рабочие цилиндры — гидравлические, пневматические	+	-	+	-	-
23	Системы гидро-, пневмоподготовки	+	-	-	+	-
24	Система очистки электролита, переработки масел, смазочно-охлаждающие жидкости	-	-	-	-	-
25	Системы подачи смазочно-охлаждающих жидкостей, воздуха	-	+		-	+
26	Цилиндры, насосы поставляемые отдельно	+	-	+	-	-
27	Направляющие качения, скольжения и др.	-	+	-	-	+
28	Винтовые передачи роликовые, шариковые и др.	-	+	-	-	+
29	Передачи зацепления цепные, ременные	-	+	-	+	-
30	Муфты	+	-	-	+	-
31	Редуктор	+	-	-	+	-
32	Вариатор (мультипликатор)	-	+	-	-	+
33	Коробки передач	+	-	-	+	-
34	Преобразователи электрические — генераторы и др.	-	+	-	-	+
35	Поперечины, ползуны, кривошипы, шатуны, станина, портал, колонны и т.д.	+	-	-	+	-
36	Стойки и другие менее ответственные корпусные, габаритные детали	+	-	-	-	+
37	Средние и мелкие корпусные детали	+	-	-	-	+
38	Дельта-механизмы	-	+	-	-	+
39	Зажим патрона (инструмента) — гидравлические, пневматические	-	+	-	-	+
40	Цилиндры, электромеханизмы зажима, тарельчатые пружины и др.	-	+	-	-	+
41	Тормозные элементы шпинделя (вала) — цилиндры и др.	-	+	-	+	-
42	Конструктивная часть (электрические компоненты): кабельные каналы, сигнализация, осветительные приборы, шкафы	+	-	-	+	-
43	Устройство ограждения (кабинетная защита)	-	+	-	+	-
	Всего $U_N = N^p + N_i = 36$	16	20			

вень полноты охвата деталей и узлов импортного производства в общем объеме. Возможен вариант, когда система (как объект производства: станок, робот, технологическое оборудование и т.п.) включает в себя только те детали, узлы, механизмы и устройства собственного производства, которые в общей трудоемкости изготовления (стоимости) системы занимают незначительную часть, хотя количество таких деталей и узлов велико. Тогда мы получим высокий уровень импортозамещения (точнее уровень охвата деталей собственного производства), хотя трудоемкость (стоимость) их производства незначительна.

Основная задача импортозамещения – создание систем с большой долей деталей, узлов, механизмов и устройств (далее детали или элементы) собственного производства.

Поясним сказанное на простом примере. Допустим, что для создания системы необходимо  $N$  деталей и узлов. Такая система включает  $N_i$  импортных деталей и узлов и  $N_p$  – произведенных на территории РФ. На изготовление  $i$ -й детали требуется  $t_i$  единиц времени (или единиц стоимости). Примем, что система состоит из  $N = 5$  деталей и узлов, причем количество импортных деталей и узлов –  $N_i = 3$ . На создание деталей и узлов затрачивается соответственно:  $t_1 = 2, t_2 = 5, t_3 = 8, t_4 = 1, t_5 = 4$  единиц времени (или единиц стоимости).

Также определим некоторые базовые условия.

1. Трудоемкость изготовления определяется в нормо-часах, стоимость оценивается как производство трудоемкости на стоимость одного нормо-часа и зависит от страны производства и составляет не менее минимальной оплаты труда за 1 ч.

2. Импортная деталь определяется как изделие, изготовленное не на территории РФ. Объединение нескольких импортных деталей (двух и более) с целью получения нового изделия с новыми свойствами, параметрами и характеристиками является

условно произведенным в РФ, то есть российской импортозамещенной.

3. Импортная деталь, над которой выполнены технологические операции не изменяющие ее функции, свойства, параметры и характеристики, не рассматривается как произведенная в РФ.

Предположим, что разработаны системы, состоящие из деталей и узлов, содержащие следующие импортные элементы:

I вариант:  $i = 1, 2, 3; N_p = 3; t_1 = 2; t_2 = 5; t_3 = 8;$

II вариант:  $i = 1, 4, 5; N_p = 3; t_1 = 2; t_4 = 1; t_5 = 4;$

III вариант  $i = 2, 4, 5; N_p = 3; t_2 = 5; t_4 = 1; t_5 = 4;$

Определим уровень импортоприменения (импортозамещения) для указанных вариантов систем по следующим зависимостям:

$$U_N = \frac{N_p}{N} \cdot 100\%; \quad (2)$$

$$U_T = \left( \frac{\sum_{i=1}^{N_p} t_i}{\sum_{i=1}^N t_i} \right) \cdot 100\%. \quad (3)$$

Зависимость (2) равна отношению количества российских деталей и узлов к общему количеству деталей и узлов. Зависимость (3) равна отношению суммы трудоемкостей (или единиц стоимости), потребных для производства российской  $i$ -й детали, к общему времени (или стоимости), затрачиваемому на создание всей системы.

Используя (2) и (3), получим соответственно для рассматриваемых вариантов:

$$\text{I вариант: } U_N = \left( \frac{3}{5} \right) \cdot 100\% = 60\%,$$

$$U_T = \frac{2+5+8}{2+5+8+1+4} \cdot 100\% = 75\%;$$

Таблица 4. Классификация систем (как объект производства: станок, робот, технологическое оборудование и т.п.) по уровню импортоприменения (импортозамещения)

Код классификационной группы	Наименование классификационной группы импортоприменения	Характеристики классификационной группировки	Наименование классификационной группы импортозамещения
1	Система с низким уровнем импортоприменения	Количество импортных деталей (узлов) от общего количества деталей (узлов) — до 30%	Система с высоким уровнем импортозамещения
2	Система со средним уровнем импортоприменения	Количество импортных деталей (узлов) от общего количества деталей (узлов) — свыше 30% и до 50%	Система со средним уровнем импортозамещения
3	Система с высоким уровнем импортоприменения	Количество импортных деталей (узлов) от общего количества деталей (узлов) — свыше 50% и до 70%	Система с низким уровнем импортозамещения

II вариант:

$$U_N = \left(\frac{3}{5}\right) \cdot 100\% = 60\%, \quad U_T = \frac{2+1+4}{20} \cdot 100\% = 35\%;$$

III вариант:

$$U_N = \left(\frac{3}{5}\right) \cdot 100\% = 60\%, \quad U_T = \frac{5+1+4}{20} \cdot 100\% = 50\%.$$

Как видно из сравнения полученных величин, значение  $U_N$  одинаково для всех трех вариантов построения систем, хотя каждая система имеет отличные уровни по значимости времени (или единиц стоимости) на производство российской  $i$ -й детали к общему времени (или стоимости) создания системы.

Поэтому если оценивать уровень импортоприменения (импортозамещения) системы по зависимости (2), то системы, явно по существу не равнозначные, становятся равноценными. Подобный факт приводит к необъективности в оценках уровня импортоприменения (импортозамещения). Казалось бы, если уровень импортоприменения (импортозамещения) для системы равен 60%, то все три системы относятся к системам с высоким уровнем импортоприменения и они должны были бы дать хотя бы приблизительно равный эффект в достижении главной и основной цели. Однако, созданные таким образом системы, в действительности не получили бы одинакового эффекта в оценке импортозамещения.

Следовательно, показатель уровня импортоприменения (импортозамещения), найденный по выражению (2), не может служить объективной оценкой этого уровня. На самом деле, как это следует из приведенного примера, он характеризует степень (полноту) охвата деталей и узлов отечественного производства и говорит лишь о том, какая часть деталей и узлов подлежит импортозамещению.

Второй показатель —  $U_T$ , найденный по выражению (3), для трех вариантов построения систем оказался неодинаковым, и его значение колеблется в широких пределах — от 35% для второго варианта до 75% для первого. Этот показатель характеризует уровень импортозависимости трудоемкости создания системы, по сравнению с полностью отечественной разработкой и производством всех составляющих элементов (деталей и узлов) системы, то есть является объективной характеристикой, дающей представление об эффективности в достижении поставленной цели — снижении уровня импортозависимости (импортопотребления). Следовательно, этот критерий может служить объективной мерой импортоприменения.

Таким образом, уровень импортоприменения может быть оценен показателями, характеризующими степень полноты охвата системы отечественными деталями и узлами, а также степень импортозависимости (трудоемкости во временном или стоимостном выражении) создания системы по сравнению с полностью отечественной разработкой и производством всех составляющих ее элементов.

Трудоемкость  $T$  создания любой системы в соответствии с ее назначением определяется затратами времени (или стоимостью рабочего времени)  $T_p$  (индекс «Р» означает «полностью произведено в РФ»), связанными с изготовлением деталей на отечественных предприятиях, затратами времени (или их стоимостью)  $T_{pu}$ , связанными с изготовлением изделий на отечественных предприятиях из импортных деталей, а также приведенными затратами времени (или их стоимостью)  $T_u$ , связанными с применяемыми в процессах сборки системы импортными изделиями.

Сумма указанных затрат времени (или их стоимости) составляет полную трудоемкость производства системы. Соотношения указанных составляющих затрат определяют различные свойства системы: степень или уровень применимости, локализации, полноты охвата системы отечественными деталями и др. Действительно, если доля импортных изделий велика по сравнению с отечественными, то такая система зависима от внешних факторов и, в этом смысле, малоэффективна, не совсем удобна в эксплуатации, уровень локализации производства ее компонентов низкий.

Определим интегральный показатель уровня импортоприменения (импортозамещения), который характеризует отношение значений величин затрат времени (или их стоимости), связанного с изготовлением деталей на собственном (отечественном) производстве, с полной трудоемкостью создания любой системы в соответствии с ее назначением.

Тогда интегральный показатель локализации — уровень импортоприменения (импортозамещения) — будет равен:

$$U_u = \frac{T_p}{T_p + T_{pu} + T_u} = 1 - \frac{T_{pu} + T_u}{T_p + T_{pu} + T_u} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{T_p}{T_{pu} + T_u}} = 1 - \frac{1}{1 + U_p} = \frac{U_p}{1 + U_p}, \quad (4)$$

где  $U_p = T_p / (T_{pu} + T_u)$  — степень локализации собственного производства системы.



Таким образом, для объективной оценки уровня локализации производства системы необходимо применение нескольких показателей, отражающих свойства системы по отношению к процессу ее создания и производства. В табл. 5 приведены

обобщенные показатели оценки степени и уровня локализации.

Тогда общая классификация систем как объекта производства может быть представлена в соответствии с табл. 6.

Таблица 5. Обобщенные показатели уровня локализации

Наименование показателя	Метод определения	Диапазон изменения	Характеристика
Уровень охвата собственного производства	$U_N = \frac{N_p}{N}$	0–1	Степень (полнота) охвата деталей и узлов отечественным производством
Степень импортоприменения (импортозамещения)	$U_T = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} t_i}{\sum_{i=1}^N t_i}$	0–1	Отношение затрат времени (или стоимости), связанных с изготовлением деталей на собственном производстве, с полной трудоемкостью производства
Интегральный показатель локализации — уровень импортоприменения (импортозамещения)	$U_u = \frac{U_p}{1 + U_p}$	0–1	Отношение затрат времени (или стоимости), связанных с изготовлением деталей на собственном производстве, с полной трудоемкостью создания системы

Таблица 6. Классификация систем (как объект производства: станок, робот, технологическое оборудование и т.п.) по уровню локализации

Код классификационной группы	Наименование классификационной группы по уровню локализации (импортозамещения)	Характеристики классификационной группировки $U_N$	Интегральный показатель локализации $U_u$	Уровень локализации
1	Система с максимальным уровнем	Количество импортных деталей (узлов) от общего количества деталей (узлов) — от 0% до 30%	0–15%	85–100%
2	Система с большим уровнем	Количество импортных деталей (узлов) от общего количества деталей (узлов) — свыше 30% и до 40%	5–25%	75–95%
3	Система с очень высоким уровнем	Количество импортных деталей (узлов) от общего количества деталей (узлов) — свыше 40% до 50%	10–40%	60–90%
4	Система с высоким уровнем	Количество импортных деталей (узлов) от общего количества деталей (узлов) — свыше 50% до 60%	30–50%	50–70%
5	Система со средним уровнем	Количество импортных деталей (узлов) от общего количества деталей (узлов) — свыше 60% до 70%	40–60%	40–60%
6	Система с малым уровнем	Количество импортных деталей (узлов) от общего количества деталей (узлов) — свыше 70% до 80%	50–75%	25–50%
7	Система с низким уровнем	Количество импортных деталей (узлов) от общего количества деталей (узлов) — свыше 80% до 90%	60–85%	15–40%
8	Система с очень низким уровнем	Количество импортных деталей (узлов) от общего количества деталей (узлов) — свыше 90%	Более 85%	0–15%

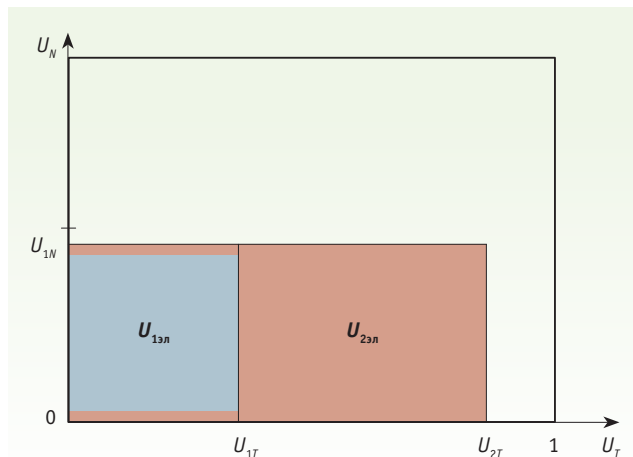


Рис. 3. Показатели эффективности уровня локализации

Достаточно очевидно, что равенство показателей  $U_T$  и  $U_N$  возможно только в одном единственном случае, когда трудоемкости изготовления всех элементов станка равны одной и той же величине  $T_o$ . Это вытекает из рассмотрения выражения:

$$U_N = \frac{N_p}{N} = \frac{N_p}{N_p + N_{pi} + N_i} = \frac{\sum_1^{N_p} T_p}{\sum_1^{N_p} T_{pi} + \sum_1^{N_{pi}} T_{pi} + \sum_1^{N_i} T_i} = \frac{T_o \cdot N_p}{T_o \cdot (N_p + N_{pi} + N_i)} = \frac{N_p}{N}$$

Из этого следует, что показатель эффективности уровня локализации (рис. 3) определяется как произведение независимых событий:

$$U_{Э.л.} = U_N \cdot U_{И.}$$

А его анализ позволяет находить оптимальные условия для управления эффективностью выбора направлений локализации по заданным критериям.

### 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 проектирова-

нии технических устройств // 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. Часть 1. Энергоинформационная модель структуры процессов обработки // Вестник Машиностроения. 2015. № 2. С. 73–83.
7. Кузнецов А.П. Структуры процессов и оборудования обработки резанием. Часть 2. Структуры технологических процессов и их классификация // Вестник Машиностроения. 2015. № 3. С. 65–76.
8. Кузнецов А.П. Структуры процессов и оборудования обработки резанием. Часть 3. Модели и структуры обработки резанием // Вестник Машиностроения. 2015. № 4. С. 76–87.
9. Кузнецов А.П. Структуры процессов и оборудования обработки резанием. Часть 4. Структуры оборудования обработки резанием // Вестник Машиностроения. 2015. № 5. С. 63–77.
10. Grigoriev S.N., Kuznecov A.P., Volosova M.A., Koriath H.-J. Evaluation methods and classification of machine tools in terms of their energy-efficiency. — Innovations of Sustainable Production for Green Mobility. Energy-Efficient Technologies in Production. 3rd International Chemnitz Manufacturing Colloquium ICMC 2014., 3rd International Colloquium of the Cluster of Excellence eniPROD, Part 2. — Fraunhofer Institute for Machine Tools and Forming Technology IWU, Technische Universität Chemnitz, Verlag Wissenschaftliche Scripten, ISBN: 978-3-95735-005-3, 2014. PP. 309–325.
11. Grigor'ev S. N., Kuznetsov A. P., Volosova M. A., Koriath H. J. Classification of metal-cutting machines by energy efficiency. Russian Engineering Research. Volume 34, Issue 3, 2014. PP. 136–141.
12. Бушуев В.В., Кузнецов А.П., Молодцов В.В. Особенности проектирования технологического оборудования на современном этапе развития. СТИН. 2015. № 8. С. 7–12.
13. Бушуев В.В., Кузнецов А.П., Молодцов В.В. Инновации в проектировании технологического оборудования. Инновации. 2015. № 8. С. 100–105.
14. Бушуев В.В., Кузнецов А.П., Сабиров Ф.С., Хомяков В.С., Молодцов В.В. Проблемы точности и эффективности современных металлорежущих станков. СТИН. 2016. № 2. С. 6–16.

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