

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И ВЫБОРА ТИПА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ

*Приведена методика, позволяющая оценить и определить с научной и практической точек зрения соотношения режущего и вспомогательного инструментов, применяемых в многоцелевых станках, а также различных модулей (базовых, переходных, удлинительных, конечных) в модульной инструментальной системе. Приведен технико-экономический расчет и обоснована целесообразность выбора модульной или цельной инструментальной системы.*

Выбор инструментальной системы (ИС) — это один из ответственных и основных этапов разработки технологических процессов обработки деталей на многоцелевых станках (МС) как токарной, так и сверлильно-фрезерно-расточной группы (СФРГ). Инструментальные системы состоят из режущего и вспомогательного инструментов. Причем вспомогательный инструмент может быть модульным, т.е. разделенным на отдельные элементы, составляющие модульную инструментальную систему (МИС), или цельным без разделения на элементы, составляющим цельную инструментальную систему (ЦИС).

На рис. 1 приведены конструкции однотипного инструмента для МС СФРГ: *а* — модульного; *б* — цельного, состоящего из модулей (1 — базового; 2 — удлинительного; 3 — переходного; 4 — конечного; 5 — режущего; 6 — режущей части; 7 — режущей части).

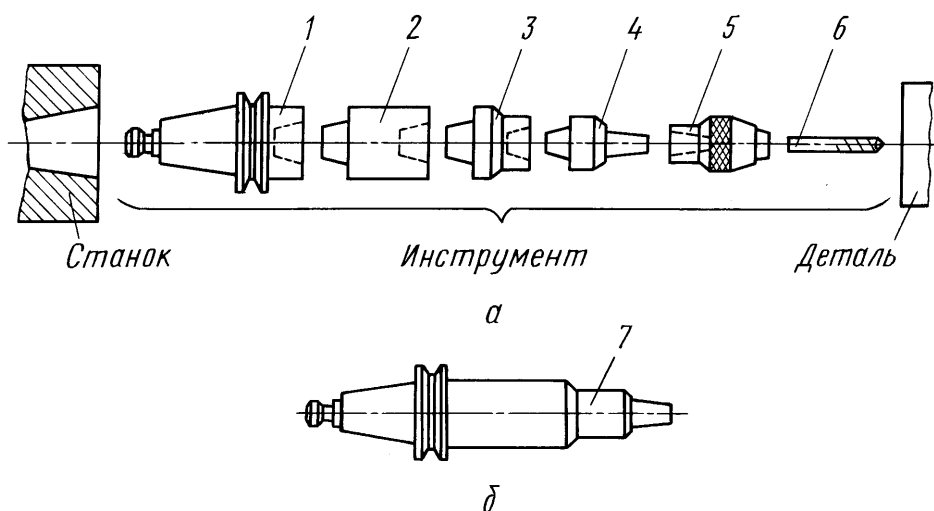


Рис. 1. Конструкция однотипного инструмента для МС СФРГ

5 — инструментального; 6 — режущего инструмента; 7 — цельной оправки).

Состав МИС и ЦИС, а также конструкции соединений модулей и цельных оправок с режущим инструментом нормированы стандартами разного уровня, в том числе предприятий или фирм, если они имеют оригинальные технические решения, прошедшие все стадии создания, и широко используются в производстве.

Установка вспомогательного инструмента (базирование и крепление) в шпинделе МС СФРГ осуществляется с помощью конусов SK 7/24, выполненных по стандартам: ISO 7388/1, ГОСТ 25827-83, МАЗ 403 ВТ и другими, или укороченных конусов HSK по DIN 69893.

Соединения модулей МИС подразделяются на однотипные одно-размерные многомерные, многотипные одноразмерные и многотипоразмерные. Тип МИС определяется формой и размерами посадочных поверхностей, а также конструкцией зажимных элементов и может быть с осевым и радиальным креплением модулей. Радиальное крепление быстросменное (несколько секунд), и применяется в большинстве случаев для смены конечных модулей прямо на станке. Осевое крепление требует съема вспомогательного инструмента со станка, поэтому его наладка более долговременна (несколько минут), и применяется для создания высокожестких соединений, в основном, с базовыми модулями.

Один из главных параметров МИС — наружный диаметр  $d$  соединяемых модулей, определяющий типоразмер системы, который относится к ее силовой характеристике. Типоразмер системы по нагрузочной способности должен быть не больше типоразмера (номера  $N$ ) базового модуля SK или HSK, устанавливаемого в шпинделе станка (рис. 1). Рекомендуемое соответствие типоразмера  $d$  номеру  $N$  базового модуля, по данным фирмы Видиа (ФРГ) обозначено знаком плюс и приведено в таблице.

Таблица

**Рекомендуемое соответствие типоразмера  $d$  и номера  $N$  базового модуля**

$d$ , мм	SK (HSK), $N$				
	30(40)	40(50)	45(63)	50(80)	60(100)
25	+	+	+	+	+
32	+	+	+	+	+
40	+	+	+	+	+
50		+	+	+	+
63			+	+	+
80				+	+
100					+

Для достижения высокой взаимозаменяемости и экономической эффективности при разработке, изготовлении и эксплуатации (наладке, ремонте и т.д.) целесообразно применять на МС или участке МС — однотипную многоразмерную МИС с осевым и радиальным креплением модулей. Многотипные МИС нецелесообразно применять на одном предприятии (производстве) из-за низкой взаимозаменяемости, вследствие чего в инструментальном хозяйстве предприятия повышено содержание неэффективного инструмента. Они могут встречаться на участках станков с ЧПУ, в том числе МС, в следующих случаях:

1) при случайных, несогласованных и некомпетентных действиях служб предприятия при закупке ИС или МС, различных фирм, с укомплектованием их разнотипными по конструкциям соединениями вспомогательных инструментов;

2) если одна или несколько МИС являются простыми или стандартными (например, построенные на базе конусов Морзе, цилиндрических регулируемых втулок, соединения типа “ласточкин хвост” и др.) и применяются в виде подсистем для улучшения использования режущего инструмента, расширяют технологические возможности, а также дополняют основную базовую МИС;

3) в период перехода от одной (старой) МИС к новой более современной и надежной.

Модульная инструментальная система имеет ряд преимуществ перед цельной, приносящей дополнительные эффекты, к которым следует отнести:

1) высокую гибкость, а следовательно, высокий коэффициент использования или загрузки МС;

2) повышенную виброустойчивость и отсутствие резонансной вибрации;

3) низкую металлоемкость вспомогательного инструмента;

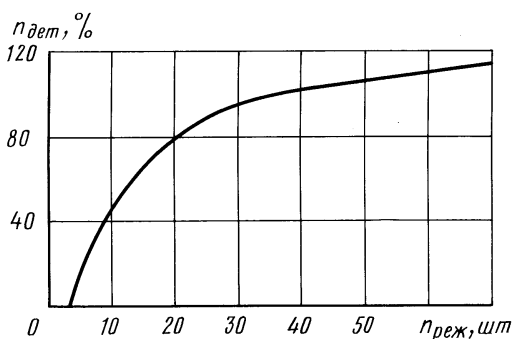
4) относительно малые складские площади;

5) возможность регулировать длину (вылет) и диаметр (типоразмер) оправки.

Однако МИС достаточно дорогостоящие, так как каждая оправка может содержать несколько модулей, соединенных специальными устройствами по высокоточным сопрягаемым поверхностям. В связи с этим при выборе типа ИС (МИС или ЦИС) необходимо предварительно определить состав, затраты и оценить целесообразность ее использования.

*Определение потребности МС в режущем инструменте.* Количество различных типоразмеров (номенклатура) режущего инструмента ( $n_{\text{реж}}$ ) для МС зависит от числа разнообразных деталей, форм и разме-

**Рис. 2.** График зависимости числа обрабатываемых деталей от числа используемого инструмента



ров их обрабатываемых поверхностей, а также типа станков. Чем больше станков, тем относительно меньше инструмента требуется для одного станка, так как увеличение станков повышает число комплектов инструмента. Это влечет за собой многократное дублирование одинакового или взаимозаменяемого инструмента, снижение количества которого на определенную величину ( $\Delta n_{реж}$ ) повышает технико-экономические показатели производства и не отражается на других параметрах, в том числе и производительности МС. Нормативных данных по номенклатуре используемого инструмента для МС нет. В данном случае для расчета пользуются статистическими данными по обработке конкретных деталей.

Исходя из статистических исследований [1] обработки 15000 деталей, построен график (рис. 2) зависимости числа обрабатываемых деталей  $n_{дет}$  (в процентах, где 100 % составляет 15 тыс. деталей) от числа используемого инструмента  $n_{реж}$ . Из графика видно, что при обработке 90 % деталей требуется около 40 инструментов. Отсюда средняя вместимость инструментального магазина  $n_T$  (число гнезд под инструмент) у большинства МС составляет  $n_T \approx 30 \dots 60$  инструментов. Максимальный набор (комплект) инструментов  $n_{max}$ , позволяющий практически решать все технологические задачи (теоретически при 99 %) по данным работы [2] составляет  $n_{max} \approx 250$  шт.

Для повышения производительности МС применяют групповые инструментальные наладки. С увеличением числа режущего инструмента в МС образуется оптимальная инструментальная наладка ( $n_{опт}$ ), при которой в магазине размещаются инструменты, общие для всех деталей некоторой группы, так называемое ядро наладки, с числом инструмента  $n_я$ . Оптимальная групповая наладка — это тот набор инструмента ( $n_я \leq n_{опт} \leq n_T$ ) в пределах емкости  $n_T$  магазина МС, который позволяет обработать максимальное число деталей или все детали определенной группы с минимальными затратами при максимальной производительности и требуемой точности. Имеется также

общая сменная часть ( $n_o$ ),  $n_o = n_{\max} - n_{\text{я}}$  и частная сменная часть ( $n_{\text{см}}$ ) для инструментальной наладки на конкретную деталь определенной группы или деталь, не вошедшую в нее, причем  $n_{\Gamma} \geq n_{\text{я}} + n_{\text{см}}$ . Общая сменная часть обеспечивает формирование инструментальных наладок по всем деталям  $n_{\text{дет}}$  предназначенным для обработки на МС.

Увеличение числа инструмента больше  $n_{\max}$  значительного эффекта не приносит. Так, увеличение  $n_{\max}$  в 4 раза т.е. до 1000 шт. повышает количество обработанных деталей только на 0,5%...1%. Использование же инструмента из другой группы станков, например в МС СФРГ токарного инструмента, дает значительный эффект. Это объясняется тем, что из большого множества деталей встречаются такие, которые невозможно или трудно обработать инструментом, традиционно закрепленным за данной группой станков. Поэтому вопрос расширения технологических возможностей МС с помощью инструмента является актуальным и экономически целесообразным.

*Определение потребности МС во вспомогательном инструменте.* Потребность МС во вспомогательном инструменте определяется по всей его номенклатуре, которая в качестве примера одной из типовых компоновок, графически показана на рис. 1. Для удобства представления соотношений элементов вспомогательного инструмента обозначим числа модулей: базовых —  $n_{\text{б}}$ , удлинительных —  $n_{\text{у}}$ , переходных —  $n_{\text{п}}$ , конечных —  $n_{\text{к}}$ , инструментальных —  $n_{\text{и}}$  и цельных оправок —  $n_{\text{ц}}$ .

Базовые модули служат для непосредственного крепления вспомогательного инструмента в станке. Они имеют стандартный конус SK с номером  $N$  (см. таблицу), соответствующим аналогичному номеру конуса гнезда шпинделя МС. Количество необходимых базовых модулей ( $n_{\text{б}}$ ) пропорционально емкости магазина ( $n_{\Gamma}$ ) МС и равно —  $n_{\text{б}} = k_3 k_{\text{н}} n_{\Gamma} m$ , где  $k_3 = 1,25$  — коэффициент запаса, учитывающий износ и поломку [3];  $k_{\text{н}} = 2 \dots 3$  — коэффициент, учитывающий высокопроизводительную работу на станках с ЧПУ, в которых является обязательным наличие одного комплекта инструмента на станке, другого, такого же в наладке, и третьего в инструментально-раздаточной кладовой. Для ЦИС  $k_{\text{н}} \geq 2$ , для МИС  $k_{\text{н}} \leq 3$ . Такое соотношение коэффициента  $k_{\text{н}}$  объясняется тем, что работы по подготовке (сборке, а также настройке) и установке инструмента на МС для ЦИС менее трудоемки, чем для МИС, где требуется дополнительно сборка модулей;  $m$  — число МС на участке.

Количество удлинительных модулей ( $n_{\text{у}}$ ) зависит от числа разноудаленных обрабатываемых поверхностей заготовки или группы заготовок, для каждой из которых требуется инструмент с разным диапазоном длин, отличных от номинальных.

Количество переходных модулей ( $n_{\text{п}}$ ) зависит от числа ступеней ( $z$ ) перехода одного типоразмера модулей на другой —  $n_{\text{п}} = z_1 n_1 + z_2 n_2 + \dots + z_i n_i$ , где  $z = p - 1$ ,  $p$  — число типоразмеров модулей в МИС; при  $p = 1$ ,  $z = 0$  — МИС одного типоразмера и переходные модули не требуются;  $n_i$  — число модулей, требующих переход на определенную ступень  $z_i$  другого типоразмера.

Количество конечных модулей ( $n_{\text{к}}$ ) зависит от числа режущих инструментов ( $n_{\text{р}}$ ), которые непосредственно устанавливаются на них, и числа инструментальных модулей ( $n_{\text{и}}$ ),  $n_{\text{к}} = n_{\text{р}} + n_{\text{и}}$ .

Применение в ИС инструментальных модулей, в том числе регулируемых (расточных головок, кулачковых патронов и др.), влечет за собой сокращение инструмента, так как они позволяют: изменять (настраивать) размеры режущих элементов (пластин, резцов и т.д.), закреплять, например, осевые инструменты с различными диаметрами хвостовиков в пределах диапазона регулирования или зажима одного модуля.

Число цельных оправок ( $n_{\text{ц}}$ ), равноценных по технологическим возможностям МИС, равно сумме конечных, а также удлинительных и переходных модулей, так как они изменяют параметры вспомогательного инструмента, а именно длину и типоразмер ( $d$ ) МИС,  $n_{\text{ц}} = n_{\text{к}} + n_{\text{у}} + n_{\text{п}}$ . В свою очередь режущий инструмент формирует состав (номенклатуру и количество) цельных оправок ЦИС, т.е. для одного МС и комплекта инструмента  $n_{\text{реж}} \approx n_{\text{ц}}$ , а с учетом  $k_3$ ,  $k_{\text{и}}$ ,  $k_{\text{и}}$  и  $m$  можно записать:

$$n_{\text{ц}} \leq k_3 k_{\text{и}} k_{\text{и}} \sum_i^m n_{\text{реж}i}, \quad (1)$$

где  $n_{\text{реж}} = 120 \dots 200$  — число типоразмеров режущих инструментов в одном или в каждом из ( $m$ ) комплектов, зависит от способа комплектации МС инструментом, который определяется возлагаемыми на него задачами;  $i$  — порядковый номер компонента;  $k_{\text{и}}$  — коэффициент, учитывающий неэффективное использование одинакового или взаимозаменяемого инструмента на участке, при  $m = 1$ ,  $k_{\text{и}} = 1$ , а при  $m > 1$ ,  $k_{\text{и}} \leq 1$ . Фиксированная величина  $k_{\text{и}} = \left(1 - \Delta n_{\text{реж}} / \sum_i^m n_{\text{реж}i}\right)$  — зависит от требуемой степени дублирования инструмента, полученного сочетанием его комплектов от различных МС, определяется конкретно для участка в целом. Причем для двух участков МС при  $m = \text{const}$ ,  $k_{\text{и}}$  меньше там, где одинаковых посадочных инструментальных поверхностей (конусов) в шпинделях МС по номеру  $N$  и стандарту SK (HSK) больше. Это объясняется уровнем взаимозаменяемости инструмента в его комплектах для разных МС.

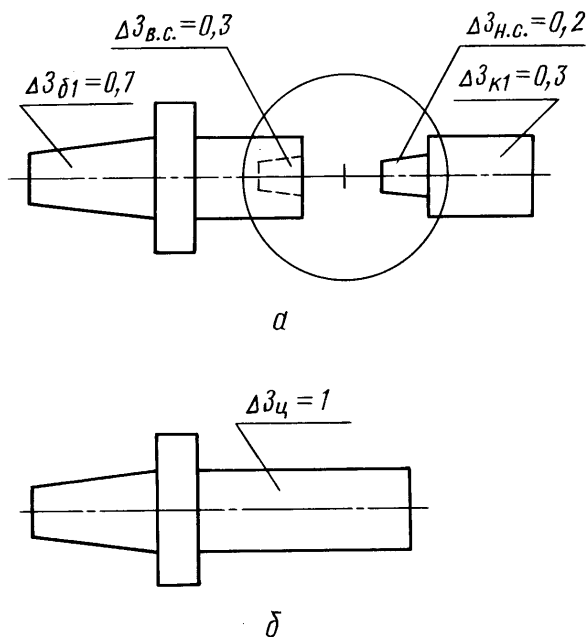


Рис. 3. Базовый, конечный модули (а) и цельный (б)

Из формулы (1) можно предварительно определить число цельных оправок, необходимых для комплектации МС.

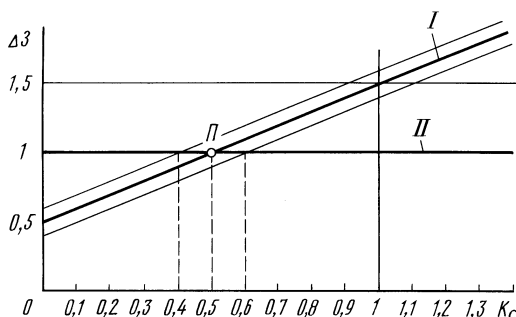
*Определение относительной стоимости вспомогательного инструмента.* Для определения стоимости отдельных модулей МИС, в частности, базовых и конечных, как наиболее распространенных, относительно аналогичных цельных оправок, находились их фактические затраты по стоимости из источников (проспектов, прайслистов, расчетов и т.д.) различных предприятий и фирм. Затем эти значения были усреднены и определялись относительные показатели, стоимость цельных оправок приравнивалась к единице ( $\Delta Z_{ц} = 1$ ).

Базовый и конечный модули (рис. 3, а) рассматривали как разделенный цельный (рис. 3, б). Причем к конечным модулям для упрощения расчетов можно приравнять удлинительные и переходные модули.

Относительные стоимости каждого из модулей МИС ( $\Delta Z_{б}$  — базового и  $\Delta Z_{к}$  — конечного) и их соединительных элементов ( $\Delta Z_{в.с}$  — внутренних и  $\Delta Z_{н.с}$  — наружных, которые рассчитывались и сравнивались со стоимостью цельных оправок) можно записать следующими выражениями с конкретными значениями:

$$\Delta Z_{б} = \Delta Z_{б1} + \Delta Z_{в.с} \approx 1; \quad \Delta Z_{к} = \Delta Z_{к1} + \Delta Z_{н.с} \approx 0,5,$$

где  $\Delta Z_{б1} \approx 0,7$  — базовые без  $\Delta Z_{в.с} \approx 0,3$ ;  $\Delta Z_{к1} \approx 0,3$  — конечные без  $\Delta Z_{н.с} \approx 0,2$  — относительные затраты на модули.



**Рис. 4.** График зависимости относительной стоимости от коэффициента соответствия

Относительные затраты на модульную оправку ( $\Delta Z_M$ ) в сборе базового и конечного модулей определяются по формуле  $\Delta Z_M = \Delta Z_\sigma + \Delta Z_k = 1,5$ .

В качестве посадочных поверхностей для соединений элементов МИС используются цилиндрические, конические и фасонные поверхности. При определении относительной стоимости соединительных элементов были выбраны конические поверхности, которые по стоимости изготовления занимают промежуточное положение.

*Определение технико-экономической целесообразности использования типа ИС.* Для быстрого и удобного определения целесообразности использования типа ИС (МИС или ЦИС) построена зависимость  $\Delta Z = f(K_c)$  относительной стоимости ( $\Delta Z$ ) ИС от коэффициента соответствия ( $K_c$ ), в виде графиков рис. 4 (для МИС-I, ЦИС-II). На графике  $K_c = n_\sigma/n_\pi$  — коэффициент соответствия, который показывает соотношение чисел базовых модулей ( $n_\sigma$ ) МИС и цельных оправок ( $n_\pi$ ) ЦИС, с условием, когда МИС и ЦИС выполняют одинаковые рабочие функции; или какое количество базовых модулей может обслужить число конечных, удлинительных и переходных модулей, так как  $n_\pi = n_k + n_y + n_\pi$ , не снижая работоспособности ИС.

$$\Delta Z = \sum \Delta Z_i / \sum \Delta Z_\pi \text{ — относительная стоимость ИС,}$$

где  $\sum \Delta Z_\pi$  и  $\sum \Delta Z_i = \sum \Delta Z_M, \sum \Delta Z_\sigma, \sum \Delta Z_k$  — общие (суммарные) стоимости оправок и модулей, определяемые как

$$\sum \Delta Z_\pi = \Delta Z_\pi n_\pi; \tag{2}$$

$$\sum \Delta Z_M = \Delta Z_\sigma n_\sigma + \Delta Z_k n_\pi; \tag{3}$$

$$\sum \Delta Z_\sigma = \Delta Z_\sigma n_\sigma; \quad \sum \Delta Z_k = \Delta Z_k n_\pi.$$



Решая уравнения (2) и (3) совместно, определим координаты точки пересечения (П), они соответствуют ( $\Delta Z = 1$  и  $K_c = 0,5$ ).

Из графиков на рис. 4 наглядно видно, что при  $K_c < 0,5_{-0,1}$ , стоимость МИС меньше, чем ЦИС ( $\Delta Z_m < \Delta Z_c$ ), и наоборот при  $K_c > 0,5_{+0,1}$ ,  $\Delta Z_m > \Delta Z_c$ , т.е. использование ЦИС экономически выгоднее, чем МИС. При равенстве  $\Delta Z_m = \Delta Z_c$  целесообразно применять МИС за их дополнительные эффекты.

При выборе типа ИС необходимо иметь в виду то, что коэффициент соответствия  $K_c$  имеет разброс значений примерно  $\pm 0,1$  в зависимости от сложности или упрощения в основном конечных модулей, так как они по конструкции разные, а стоимость — усредненная. По графикам (прямые I и II, см. рис. 4) можно легко определить относительную стоимость ИС для любого значения  $K_c$ . Для этого необходимо от требуемого значения  $K_c$  (на оси абсцисс) восстановить перпендикуляр до пересечения с прямой I, а затем через эту точку провести параллельную прямую относительно оси абсцисс до пересечения с осью ординат  $\Delta Z$ .

В заключение следует отметить, что все расчеты проводились согласно следующим допущениям:

1. При расчетах стоимости ИС не учитывались отдельные дополнительные эффекты от МИС, которые были перечислены ранее. Это связано с тем, что их можно определить в небольшом приближении и только при эксплуатации ИС.

2. Все представленные соотношения носят рекомендательный характер, исходя из накопленного статистического материала и практического опыта по эксплуатации МИС.

На основании этого можно сделать следующие выводы:

1. Приведенная методика может быть использована для предварительного технико-экономического обоснования выбора типа ИС и типоразмеров ее составляющих элементов для МС или участка МС.

2. Обоснование выбора МИС необходимо производить в следующей последовательности: определять потребность МИС в номенклатуре режущего и вспомогательного инструмента; определять относительную стоимость МИС и ЦИС, и условия, при которых целесообразно использовать каждую из них.

3. Данная методика позволяет быстро и без особых затрат, ориентировочно определить стоимость любого типа и состава ИС при известной фактической стоимости хотя бы одного из модулей или цельной оправки. Это дает возможность более правильно распорядится финансовыми средствами при заключении договоров на их выбор и поставку, что требуют современные рыночные отношения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Р а т м и р о в В. А. Основы программного управления станками. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
2. П и л ь Э. А. Оптимальная наладка для станков с ЧПУ // Станки и инструмент. – № 4. – 1990. – С. 5, 6.
3. Ф а д ю ш и н И. Л., М у з ы к а н т Я. А., М е щ е р ь к о в А. И., М а с л о в А. Р. Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.

Статья поступила в редакцию 1.11.2002

Константин Адамович Украженко родился в 1952 г., окончил в 1973 г. Могилевский машиностроительный институт. Канд. техн. наук, заслуженный изобретатель РФ, технический директор НПФ “Динамика” (г. Ярославль). Автор более 100 научных работ в области станкоинструментальной промышленности, робототехники и специально-технологического оборудования для производства микроэлектронных приборов.

K.A. Ukrazhenko (b. 1952) graduated from the Mogilev Mechanical Engineering Institute in 1973. Ph. D. (Eng.), Honoured Inventor of the Russian Federation, technical director of the Scientific and Industrial Firm “Dinamika” (city Yaroslavl). Author of over 100 publications in the field of machine-tool industry, robotics and special technological equipment for microelectronic device production.

---

**В издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана  
вышла в свет книга**

**Светлицкий В.А.**

Статистическая механика и теория надежности: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 504 с.: ил.

ISBN 5-7038-1772-2 (в пер.)

Изложены основные разделы статистической механики, основы теории надежности и их использование в практике проектирования приборов, машин и конструкций в различных отраслях промышленности. Описана теория случайных колебаний механических систем с конечным числом степеней свободы и систем с распределенными параметрами. Приведены методы численного решения прикладных задач статистической динамики; рассмотрены теория и численные методы определения надежности элементов конструкций, а также нетрадиционные задачи, при решении которых нельзя воспользоваться методами статистической динамики. Содержание учебника соответствует курсу лекций, который автор читает в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Книга предназначена для студентов технических университетов, аспирантов и инженеров-механиков, работающих в различных отраслях машиностроения.

По вопросам приобретения обращаться по тел. 263-60-45;  
e-mail: [press@bmstu.ru](mailto:press@bmstu.ru)