ВЕСТНИК машиностроения

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

11

2007

Орган информации

МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИКИ РФ

Главный редактор А.И. САВКИН

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Алексейчук Г.П., Алешин Н.П., Братухин А.Г., Воронцов А.Л., Гусейнов А.Г., Дмитриев А.М. (председатель секции обработки материалов без снятия стружки), **Драгунов Ю.Г.**, **Древаль А.Е.** (председатель секции технологии машиностроения), **Дроздов Ю.Н.** (председатель секции конструирования и расчета машин), **Кутин А.А., Логунов А.В., Омельченко И.Н.** (председатель секции организации и экономики производства), **Пименов А.Ф., Попов Д.Н., Салтыков М.А., Трегубов Г.П., Цыганкова И.А.** (ответственный секретарь)

ИЗДАЕТСЯ С НОЯБРЯ 1921 ГОДА

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

Журнал переводится на английский язык, переиздается и распространяется во всем мире фирмой "Аллертон Пресс" (США)

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО «Издательство "Машиностроение"» 107076, Москва, Стромынский пер., 4

Адрес редакции:

129626, Москва, проспект Мира, д. 106, а/я 78.
Телефоны: (495) 687-63-37, (495) 682-77-11
E-mail: vestmash@mashin.ru
www.mashin.ru

Журнал зарегистрирован 19 апреля 2002 г. за № 77-12421 в Комитете Российской Федерации по печати
Учредитель: А.И. Савкин

Индексы: **70120** ("Роспечать"),
27841 ("Пресса России"),
60264 ("Почта России")

Цена свободная

Отпечатано в ООО "Подольская периодика", 142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, 15

СОДЕРЖАНИЕ

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ, ИСПЫТАНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

Мельников В. З. — Синтез червячных передач на основе стандартного производящего червяка . . . 3
Назаров А. Д. — Теоретические основы компенсации суммарной неуравновешенной массы деталей КШМ двигателей V-8 изменением углов расположения противовесов коленчатого вала . . . 5
Тверсков Б. М. — Резонансные колебания трансмиссии автомобиля . . . 10
Гринчар Н. Г. — Методика определения рациональной схемы контрольных точек при диагностике гидросистем . . . 14
Нарбут А. Н., Иванов М. Ю. — Особенности характеристик двухпоточных передач с гидротрансформатором обратного хода . . . 19
Бирюков В. И. — Учет влияния обратных токов на рабочий процесс ЖРД, работающего на гидразине . . . 21
Савкин А. Н. — Оценка долговечности материала при нерегулярном нагружении с пиковыми перегрузками . . . 24

Цикл статей
"Проблемы трибологии — трения, изнашивания и смазки"

Семенов А. П. — Трибология материалов на основе углерода . . . 26

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Солер Я. И., Прокопьева А. В., Казимиров Д. Ю. — Автоматизированное управление шлифованием быстрорежущих пластин различной жесткости по критериям микрогеометрии и точности формы поверхности . . . 33
Железнов Г. С., Железнова С. Г., Сергеев В. В. — Основополагающие параметры процесса резания материалов . . . 40
Мигранов М. Ш., Махмутова А. Ш. — Износостойкость и трибологические свойства покрытий для режущего инструмента . . . 43
Агапов С. И. — Повышение стойкости инструмента при зубонарезании мелкомодульных зубчатых колес с наложением ультразвуковых колебаний на заготовку . . . 46
Щедрин А. В., Ульянов В. В., Бекаев А. А., Матвеев Р. М. — Режущее прошивание отверстий по предварительно деформированному слою . . . 48
Емельянов С. Г., Чевычелов С. А., Гладышкин А. О. — САПР корпусов фрез для восстановления профиля колесных пар . . . 51
Боченин В. И. — Неразрушающий контроль полноты закалки локальных участков штамповых поковок . . . 53
Ахмедпашаев М. У. — Зависимость механических свойств поверхностно упрочненных сложнолегированных сталей для металлообрабатывающего инструмента от условий насыщения . . . 55

ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА

Клячко Л. М., Степанов А. Е., Саламатина Н. И., Юдин И. Е. — Формирование современной промышленной политики, способствующей активизации инвестиционного процесса . . . 58
Булей Н. В. — Информационное обеспечение системы мониторинга производственного процесса . . . 64
Тютюков С. А. — Аспекты экологизации инженерно-педагогического образования . . . 67

Проблемы промышленной экологии

Шайхиев И. Г., Зарипова А. Г., Зарипов Г. Ш. — Исследование очистки металлосодержащих гальванических стоков производства ОАО "КамАЗ" щелочными стоками нефтехимических производств . . . 72

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Аскаров Е. С. — Конструкция ветроустановки малой мощности . . . 74
Зивзивадзе Л. Б., Маградзе А. Г. — Определение основных факторов, влияющих на точность компоновки сборных инструментов . . . 77
Бендерский Г. П., Кислуха А. Е. — Инновационный подход при создании радиолокационных средств двойного назначения . . . 78
Иванов А. Н. — Выставка "Технофорум-2007" . . . 80
Иванов А. Н. — Выставка "Росупак-2007" . . . 83
Скугаревская Н. В. — 3D Форум компании Autodesk . . . 86
Савкин А. И. — Компания Autodesk предлагает новые решения для производственной отрасли . . . 88
Потапова Г. С. — Обозрение зарубежных изданий . . . 90
Крупнейшая в мире мобильная выставка самых современных технологий автоматизации Siemens Exiderdome . . . 93
ОАО "Промтрактор" внедряет «Систему управления "Парус"» . . . 95
Реклама . . . 42
Вниманию читателей . . . 39, 57, 76, 96

CONTENTS

DESIGN, CALCULATION, TESTS AND RELIABILITY OF MACHINES

Mel'nikov V. Z. — Synthesis of worm gears on the basis of standard generating worm
Nazarov A. D. — Compensation theory of sum unbalanced detail mass of V-8 crank engines by change of disposition angles of crankshaft counterbalances
Tverskov B. M. — Resonance oscillations of automobile transmission
Grinchar N. G. — Determination technique of a rational scheme of check points at the hydraulic systems diagnostics
Narbut A. N., Ivanov M. Yu. — Characteristics features of double-flow drivers with a return fluid converter
Biryukov V. I. — Accounting of the reverse currents influence on the working process of hydrazine liquid-fuel rocket engine
Savkin A. N. — Estimation of the material longevity under non-regular loading with peak overloads

Series of articles
"Problems of tribology — friction, wearing away and lubrication"

Semenov A. P. — Tribology of the materials on basis of carbon

MANUFACTURING TECHNOLOGY

Soler Ya. I., Prokop'eva A. V., Kazimirov D. Yu. — Automated control of grinding process of different rigidity fast-cutting plates by microgeometry and surface form precision criteria
Zheleznov G. S., Zheleznova S. G., Sergeev V. V. — Basic parameters of the materials cutting process
Migranov M. Sh., Makhmutova A. Sh. — Wearing capacity and tribological properties of coatings for a cutting tool
Agapov S. I. — Tool life improvement under gear-cutting of fine-grained gear wheels with ultrasonic oscillations overlay on the preform
Shchedrin A. V., Ul'yanov V. V., Bekaev A. A., Matveev R. M. — Cutting broach of holes over a prestrained layer
Emel'yanov S. G., Chevychelov S. A., Gladyshkin A. O. — Computer-aided design system of mill bodies for wheel pairs restoring
Bochenin V. I. — NDT inspection of hardening fullness of local parts of stamp forgings
Akhmedpashaev M. U. — Dependence of mechanical properties of face-hardened complicate-alloyed steels for metal-working tool upon the saturation conditions

PRODUCTION ORGANIZATION AND ECONOMICS

Klyachko L. M., Stepanov A. E., Salamatina N. I., Yudin I. E. — Forming of modern industrial policy promoting to an investment process activation
Buleii N. V. — Information assurance of production process monitoring system
Tyutyukov S. A. — Ecologization aspects of engineering-pedagogical education

Problems of industrial ecology

Shaiikhiev I. G., Zaripova A. G., Zaripov G. Sh. — Investigation of metal-containing galvanic outflows cleanup at the "KamAZ" Publ. Corp. by alkaline outflows of petrochemical plants

TECHNICAL INFORMATION

Askarov E. S. — Wind low-power station embodiments
Zivzivadze L. B., Magradze A. G. — Determination of dominant factors affecting upon the precision of combined tools assembling
Benderskii G. P., Kislukha A. E. — A novel approach to creation of double—purposed radar facilities
Ivanov A. N. — The "Tekhnoforum—2007" exhibition
Ivanov A. N. — The "Rosupak—2007" exhibition
Skugarevskaya N. V. — The Autodesk Co. 3D Forum
Savkin A. I. — The Autodesk Co. proposes the new solutions for production field
Potapova G. S. — Review of foreign editions
The Siemens Exiderdome — World first-rate mobile exhibition of up-to-the-minute automation techniques
"Promtraktor" Publ. Corp. introdyces the "PARUS" Controlling System
Reclame
Intormation for the readers

Художественный редактор *Т. Н. Галицына*
Технический редактор *О. А. Ефремова*
Корректор *Е. В. Комиссарова*

Сдано в набор 03.09.2007. Подписано в печать 18.10.2007.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 11,76. Уч.-изд. л. 14,61. Заказ 320.

Перепечатка материалов из журнала "Вестник машиностроения" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала; ссылка на журнал при перепечатке обязательна.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

© ОАО "Издательство "Машиностроение", "Вестник машиностроения", 2007

УДК 621:833.38

В. З. МЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук (ГОУ "МГИУ")

Синтез червячных передач на основе стандартного производящего червяка

Рассматриваются вопросы конструкторско-технологического синтеза червячных цилиндрических передач с использованием в качестве производящего червяка стандартных червячных фрез для цилиндрических колес. Унификация размеров исходного и производящего червяков позволяет упростить изготовление червячных пар и повысить эффективность производства за счет сокращения номенклатуры зуборезного инструмента.

Широкое применение червячных цилиндрических передач, например в трансмиссиях привода различных станочных и конвейерных систем, делает проблему обеспечения их надежности и эффективности производства весьма важной научно-технической и экономической задачей. Особенностью червячных передач является необходимость использования при их первичном или повторном в процессе ремонта изготовлении специального зуборезного инструмента, соответствующего конкретному типоразмеру червяка. Несопряженность профилей витков червяка и зубьев червячного колеса вследствие ошибок при проектировании и погрешностей изготовления очень часто является одной из основных причин недопустимого износа зубьев колеса, например, когда зубья червячного колеса почти полностью срезаются червяком (рисунок). Вероятной причиной такого износа может быть также недостаточная жесткость червяка в осевой плоскости, приводящая к кромочному контакту профилей у основания зубьев колеса. Ввиду этого следует стремиться не только к минимизации погрешностей изготовления червячной пары, но и к повышению изгибной жесткости червяка.

Сопряженность профилей в червячной передаче в значительной мере зависит также от степени соответствия производящего и исходного червяков при изготовлении. В частности, для нарезания червячных колес требуются червячные фрезы с типоразмерами, идентичными исходному червяку. Применение для этих целей стандартных червячных фрез, например по ОСТ 2 И41-2—77, рекомендуется только при нарезании червячных колес, сопряженных в основном с эвольвентными червяками. Использование таких фрез для изготовления червячных пар другого типа, например с архимедовым или конволютным червяком, возможно только для мелкомодульных колес. В других случаях применение этих фрез приводит к несопряженности контактирующих профилей и в итоге к ускоренному изнашиванию червячных пар. Рекомендуемые для таких случаев технологические методы локализации контакта, в частности за счет сдвига инструмента, возможны только при определенных условиях и не всегда приводят к желаемым результатам. В итоге при изготовлении червячных пар из-за несоответствия типоразмеров производящего и исходного червяков во многих случаях требуется изготовлять новый производящий червяк в виде специальной червячной фрезы или фрезы-летучки.

Одним из способов решения данной проблемы является использование для изготовления червячных колес стандартных червячных фрез по ГОСТ 9324—80, предназначенных для нарезания цилиндрических колес с эвольвентными зубьями. Такие фрезы представляют собой конволютный производящей червяк и отличаются от фрез для червячных колес по ОСТ 2 И41-2—77 увеличенными из-за большого числа стружечных канавок внешними диаметрами. В общем случае решение подобной задачи заключается в замене червяка исходного типоразмера на конволютный червяк, соответствующий стандартной червячной фрезе для цилиндрических эвольвентных колес. Реализация этой идеи возможна с некоторыми ограничениями, но зато позволяет использовать имеющийся зуборезный инструмент, что упрощает и удешевляет процесс изготовления червячных передач. Для осуществления данной

задачи необходимо определить геометрию исходной червячной передачи при новых размерах червяка, соответствующих размерам выбранной червячной фрезы, при условии сохранения межосевого расстояния a_w, передаточного отношения u, чисел заходов червяка (z_1) и зубьев колеса (z_2) и равенства углов профиля червяка (α) и фрезы (α_0), а также их модулей m и m_0. С этой целью первоначально определяют внешний (d_{a1}) и делительный (d_1) диаметры нового червяка:

$$d_{a1} = d_{a0} - 2c^*m; \quad (1)$$

$$d_1 = d_{a1} - 2h_a^*, \quad (2)$$

где d_{a0} — внешний диаметр червячной фрезы по ГОСТ 9324—80; h_a^* — коэффициент высоты головки витка червяка; c^* — коэффициент радиального зазора.

Далее определяют новые значения коэффициента q диаметра червяка и коэффициента x смещения червяка:

$$q = d_1/m; \quad (3)$$

$$x = \frac{a_w}{m} - 0{,}5(z_2 - q). \quad (4)$$

После этого на основании новых исходных данных рассчитывается геометрия червячной передачи и определяются ее новые исполнительные и контрольные размеры. При условии, что результаты геометрического расчета передачи удовлетворяют критериям качества зацепления и собираемость передачи не нарушается, следующим шагом является проверочный расчет передачи на контактную и изгибную выносливости. Если условия прочности передачи с новыми размерами червяка и червячного колеса удовлетворяются, то можно приступать к ее непосредственному изготовлению с использованием стандартной червячной фрезы. В противном случае для изготовления червячной пары потребуются специальные червячные фрезы, соответствующие первоначальным размерам червяка.

В качестве примера в табл. 1 приведены сравнительные данные по исходной червячной передаче и передаче, изготовленной с использованием стандартной червячной фрезы по ГОСТ 9324—80. Первоначальные характеристики червячной пары: m = 8 мм; a_w = 180 мм; z_1 = 1; z_2 = 36; q = 8 (вариант 1); α = 20°; h_a^* = 1; ширина венца колеса b_2 = 50 мм; тип червяка — архимедовый; частота вращения червяка n_1 = 450 мин$^{-1}$; режим работы — повторно-кратковременный; крутящий момент на валу колеса T_2 = 620 Н · м; материал — бронза БРО10Ф1; допускаемые напряжения на зубьях колеса: по контактной прочности — σ_{HP} = 295 МПа; по изгибу — σ_{FP} = = 165 МПа. Основные параметры червячной фрезы по ГОСТ 9324—80: модуль m_0 = 8 мм; внешний диаметр d_{a0} = 125 мм; коэффициент диаметра фрезы q_0 = 13.

Таблица 1

Параметры червячной передачи	Значения параметров передачи, изготовленной		
	по исходному варианту		стандартной фрезой по ГОСТ 9324—80
	1	2	
Модуль нормальный, мм	8	8	8
Межосевое расстояние, мм	180	180	180
Число витков червяка	1	1	1
Число зубьев червячного колеса	36	36	36
Коэффициент q диаметра червяка	8	10	13
Коэффициент x смещения червяка	0,5	−0,5	−2
Диаметр вершин витков червяка, мм	80	96	120
Диаметр вершин зубьев колеса, мм	312	296	272
Высота витков червяка, мм	17,6	17,6	17,6
Наибольший диаметр колеса, мм	328	312	288
Начальный угол подъема витка	6°20′24″	6°20′24″	6°20′24″
Толщина витка червяка по хорде, мм	12,47	12,51	12,53
Высота до хорды витка червяка, мм	8	8	8
Контактные напряжения на зубьях колеса, МПа	252	270	291
Изгибные напряжения на зубьях колеса, МПа	46	61	73

Как видно из табл. 1 при нарезании червячных колес стандартными фрезами изменяются в основном только внешние размеры червяка и колеса. Межосевое расстояние, передаточное отношение и условия прочности червячной передачи при этом сохраняются. Изменение параметров зацепления и увеличение контактных и изгибных напряжений на зубьях колеса в подобных случаях будет тем меньше, чем меньше разница в диаметрах исходного червяка и стандартной фрезы, т. е. разница между d_{a1} и d_{a0} должна быть минимальной. Критерием допустимости выбора фрезы является отсутствие подрезания и заострения зубьев червячного колеса.

При малой разнице диаметров исходного червяка и фрезы их можно унифицировать и при проектировании червячных передач специально выбирать червяк под соответствующую фрезу, что позволяет повысить эффективность их изготовления путем применения стандартного инструмента. Для этого необходимо, в частности, чтобы значения коэффициентов диаметра червяка (q) и червячной фрезы (q_0) были бы равны или отличались на допустимо малую величину. В соответствии с ГОСТ 2144—76 на основные параметры червячных передач каждому значению модуля m соответствует несколько значений коэффициента q. Например, значению модуля m = 8 мм соответствуют значения q, равные 8; 10; 12,5; 16 и 20. В табл. 1 (вариант 1) для исходного

Таблица 2

m_0	q_0	m_0	q_0	m_0	q_0
1	37,5	2,75	23,0	5,5	17,5
1,125	42,0	3,0	24,0	6,0	16,0
1,25	37,5	3,25	22,0	6,5	15,5
1,375	33,5	3,5	20,0	7,0	14,0
1,5	39,5	3,75	21,5	8,0	13,0
1,75	33,5	4,0	20,0	9,0	13,0
2,0	29,0	4,25	18,5	10,0	12,5
2,25	29,0	4,5	17,5	11,0	12,0
2,5	25,5	5,0	17,5	12,0	11,5

червяка значение $q = 8$, а у нового червяка, соответствующего стандартной фрезе с модулем $m_0 = 8$ мм, значение $q = 13$. Если для нового червяка выбрать значение $q > 8$, например $q = 10$, то разница в диаметральных размерах червяка и колеса для вариантов 1 и 2 может быть сведена к минимуму.

Значения коэффициента q_0 для стандартных фрез определяются по выражениям, аналогичным формулам (1), (3):

$$d_0 = d_{a0} - 2(h_a^* + c)m_0; \quad (5)$$

$$q_0 = d_0/m_0, \quad (6)$$

где d_0 — делительный диаметр стандартной фрезы; $m_0 = m$.

Рекомендуемые значения коэффициентов q_0, полученные на основе уравнений (5), (6) для червячных фрез с модулем $m_0 = 1 \div 10$ мм, приведены в табл. 2.

Как следует из табл. 2, монотонность убывания значений коэффициента q_0 при увеличении значений модуля m соблюдается не для всех значений m, что указывает на возможность корректировки ряда значений внешних диаметров d_{a0} фрезы путем введения дополнительных значений d_{a0} с целью уменьшения разницы между диаметрами фрезы и червяка.

Таким образом, конструкторско-технологический синтез червячных передач, основанный на унификации размеров исходного червяка и стандартной червячной фрезы для цилиндрических зубчатых колес, позволяет снизить издержки при изготовлении и эксплуатации червячных передач, а также повысить эффективность производства как червячных, так и цилиндрических передач вследствие унификации и сокращения номенклатуры зуборезного инструмента.

УДК 621.43:621.827

А. Д. НАЗАРОВ, д-р техн. наук, академик (США)

Теоретические основы компенсации суммарной неуравновешенной массы деталей КШМ двигателей V-8 изменением углов расположения противовесов коленчатого вала

Рассмотрены теоретические основы и предложены способы компенсации суммарной неуравновешенной массы деталей КШМ и устранения дополнительного свободного суммарного неуравновешенного момента, возникающих при установке в двигатели V-8 ремонтных, конструктивно и технологически усовершенствованных поршней, шатунов, поршневых колец и шатунных вкладышей, путем изменения углов расположения противовесов коленчатого вала. Приведены формулы для расчета изменений рассматриваемых углов, полностью компенсирующих указанную массу и устраняющих упомянутый момент.

В настоящее время массогеометрические параметры (МГП) противовесов коленчатого вала автотракторных двигателей V-8 определяют, исходя из номинальной массы деталей КШМ, предусмотренных при первоначальном проектировании и производстве. Проверяемые в процессе производства двигателей конструктивные и технологические усовершенствования их деталей, узлов и механизмов не влияют на значения МГП противовесов. Поэтому при установке в двигатели V-8 ремонтных, конструктивно и технологически усовершенствованных поршней, шатунов, поршневых колец и шатунных вкладышей на оси каждой шатунной шейки коленчатого вала появляется суммарная неуравновешенная масса (СНМ) деталей КШМ — $\Delta m_у$ [1]. Наличие $\Delta m_у$ приводит к возникновению действующего в двигателях V-8 дополнительного свободного суммарного неуравновешенного момента ΔM_R [1], который нарушает уравновешенность и ухудшает основные качественные показатели как новых, так и прошедших капитальный ремонт двигателей V-8. С целью обеспечения уравновешенности, повышения надежности и вероятности безотказной работы, снижения вибраций и уровня шума новых и капитально отремонтированных двигателей V-8 необходимо компенсировать $\Delta m_у$ и устранить ΔM_R. Это может быть достигнуто изменением (увеличением или уменьшением) в определенных пределах углов расположения отдельных или всех противовесов коленчатого вала. Теоретические основы компенсации СНМ деталей КШМ и обеспечения уравновешенности двигателей V-8 для общего случая, когда их уравновешивают установкой противовесов на продолжении отдельных или всех щек коленчатого вала, приведены ниже.

В двигателях V-8 действует свободный суммарный неуравновешенный момент M_{R0}, соответствующий номинальной массе деталей КШМ, предусмотренных при их первоначальном проектировании и изготовлении:

$$M_{R0} = b\omega^2 m_{0с}, \quad (1)$$

где b — постоянный конструктивный параметр [1]; ω — угловая скорость коленчатого вала; $m_{0с}$ — масса, постоянная для конкретных конструкций и моделей двигателей.

Эта масса рассчитывается по уравнению

$$m_{0с} = m_j + 2m_R + m_к = 2k_р m_р + k_м m_м, \quad (2)$$

где m_j и m_R — первоначальные номинальные массы поступательно движущихся и вращающихся деталей КШМ; $m_к$ — масса неуравновешенных частей колена вала; $k_р$ и $k_м$ — безразмерные постоянные конструктивные [1] параметры (коэффициенты); $m_р$ — масса пробки грязесборника в шатунных шейках коленчатого вала;

$m_м$ — масса смазочного масла в полости шатунных шеек коленчатого вала работающего двигателя.

В общем случае указанный момент уравновешивают установкой противовесов на продолжении всех или отдельных щек коленчатого вала. Суммарный момент $M_{в0}$ центробежных сил инерции от МГП противовесов коленчатого вала уравновешивает момент M_{R0}. Моменты центробежных сил инерции, вызываемые МГП противовесов, определяют по формулам:

$$M_{0i} = m_{вi}\rho_i l_{вi}\omega^2;\ M_{0(i+1)} = m_{в(i+1)}\rho_{(i+1)} l_{в(i+1)}\omega^2; \quad (3)$$

$$M_{0j} = m_{вj}\rho_j l_{вj}\omega^2;\ M_{0(j+1)} = m_{в(j+1)}\rho_{(j+1)} l_{в(j+1)}\omega^2, \quad (4)$$

где $m_{вi}$, $m_{в(i+1)}$, $m_{вj}$ и $m_{в(j+1)}$ — первоначальные массы противовесов, расположенных на продолжении i-й, $(i+1)$-й, j-й и $(j+1)$-й щек коленчатого вала; ρ_i, $\rho_{(i+1)}$, ρ_j и $\rho_{(j+1)}$ — первоначальные расстояния от оси вращения до центра тяжести масс $m_{вi}$, $m_{в(i+1)}$, $m_{вj}$ и $m_{в(j+1)}$; $l_{вi}$ — расстояние между противовесами, расположенными на продолжении i-й и $(9-i)$-й щек коленчатого вала; $l_{в(i+1)}$ — расстояние между противовесами, находящимися на продолжении $(i+1)$-й и $(8-i)$-й щек вала; $l_{вi}$ — расстояние между противовесами, размещенными на продолжении j-й и $(9-j)$-й щек вала; $l_{в(j+1)}$ — расстояние между противовесами, установленными на продолжении $(j+1)$-й и $(8-j)$-й щек коленчатого вала.

Схемы образования и расположения моментов показаны на рисунке. Моменты M_{0ci} и M_{0cj} являются геометрической суммой указанных выше моментов. Рассчитываются по уравнениям:

$$\overline{M}_{0ci} = \overline{M}_{0i} + \overline{M}_{0(i+1)};\ \overline{M}_{0cj} = \overline{M}_{0j} + \overline{M}_{0(j+1)}. \quad (5)$$

Основываясь на теореме косинусов, рассматриваемые моменты определяют так (см. рисунок, *а* и *в*):

$$M_{0ci} = (M_{0i}^2 + M_{0(i+1)}^2 - 2M_{0i}M_{0(i+1)}\cos\gamma_{0i})^{0,5}; \quad (6)$$

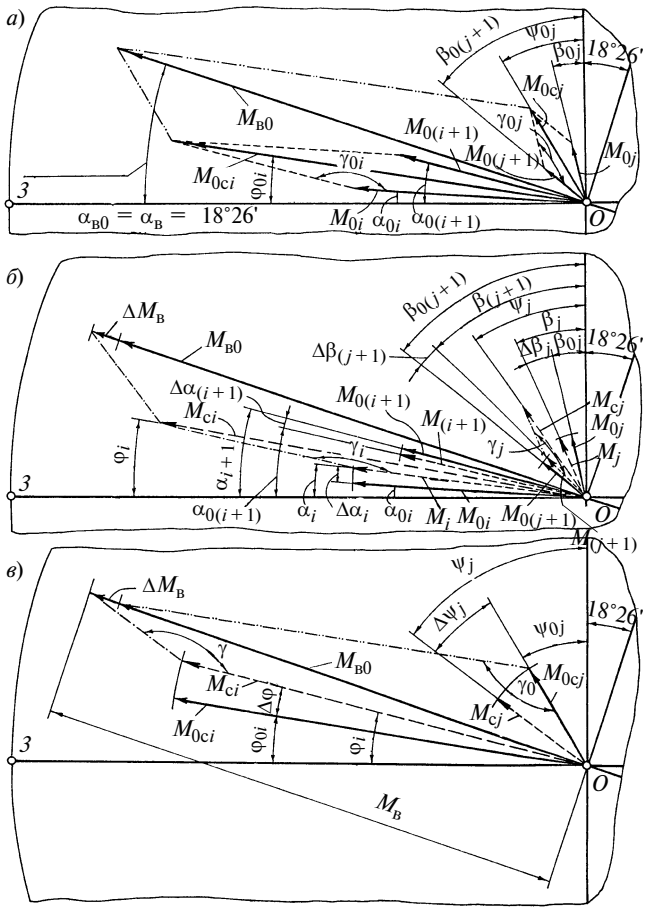
$$M_{0cj} = (M_{0j}^2 + M_{0(j+1)}^2 - 2M_{0j}M_{0(j+1)}\cos\gamma_{0j})^{0,5}, \quad (7)$$

где γ_{0i} — первоначальный угол между векторами моментов M_{0i} и $M_{0(i+1)}$; γ_{0j} — первоначальный угол между векторами моментов M_{0j} и $M_{0(j+1)}$.

Значения упомянутых углов составляют (см. рисунок, *а*)

$$\gamma_{0i} = 180 + \alpha_{0i} - \alpha_{0(i+1)};\ \gamma_{0j} = 180 - \beta_{0j} + \beta_{0(j+1)}, \quad (8)$$

где α_{0i} — первоначальный угол между плоскостями противовесов, находящихся на продолжении i-й, $(9-i)$-й щек коленчатого вала и 1-го и 4-го его кривошипов; $\alpha_{0(i-1)}$ — первоначальный угол между плоскостями противовесов, расположенных на продолжении $(i+1)$-й, $(8-i)$-й щек вала и 1-го и 4-го его кривошипов; β_{0j} — первоначальный угол между плоскостями противовесов, размещенных на продолжении j-й, $(9-j)$-й щек вала и 2-го и 3-го его кривошипов; $\beta_{0(j+1)}$ — первоначальный угол между плоскостями противовесов, находящихся на продолжении $(j+1)$-й и $(8-j)$-й щек вала и 2-го и 3-го его кривошипов.



Схемы образования и расположения создаваемых МГП противовесов коленчатого вала суммарного момента центробежных сил инерции и его составляющих для общего случая при углах размещения противовесов, определенных в процессе первоначального проектирования двигателей V-8, и после их изменения с целью компенсации СНМ деталей КШМ и устранения дополнительного суммарного неуравновешенного момента

Для рассматриваемых углов имеем:

$$\cos\gamma_{0i} = -\cos(\alpha_{0i} - \alpha_{0(i+1)}) = -\cos(\alpha_{0(i+1)} - \alpha_{0i}); \quad (9)$$

$$\cos\gamma_{0j} = -\cos(\beta_{0(j+1)} - \beta_{0j}). \quad (10)$$

С учетом соотношений (9) и (10) формулы (6) и (7) принимают вид:

$$M_{0ci} = [M_{0i}^2 + M_{0(i+1)}^2 - 2M_{0i}M_{0(i+1)}\cos(\alpha_{0(i+1)} - \alpha_{0i})]^{0,5}; \quad (11)$$

$$M_{0cj} = [M_{0j}^2 + M_{0(j+1)}^2 - 2M_{0j}M_{0(j+1)}\cos(\beta_{0(j+1)} - \beta_{0j})]^{0,5}. \quad (12)$$

Углы φ_{0i} и ψ_{0j} действия моментов вычисляются так:

$$\mathrm{tg}\varphi_{0i} = (M_{0i}\sin\alpha_{0i} + M_{0(i+1)}\sin\alpha_{0(i+1)}) \times (M_{0i}\cos\alpha_{0i} + M_{0(i+1)}\cos\alpha_{0(i+1)})^{-1}; \quad (13)$$

$$\mathrm{tg}\psi_{0j} = (M_{0j}\sin\beta_{0j} + M_{0(j+1)}\sin\beta_{0(j+1)}) \times (M_{0j}\cos\beta_{0j} + M_{0(j+1)}\cos\beta_{0(j+1)})^{-1}. \quad (14)$$

Принимая во внимание зависимости (3) и (4), из выражений (1)—(14) получим:

$$M_{0ci} = m_{вi}\rho_i l_{вi}\omega^2[c_i^2 + c_{(i+1)}^2 - 2c_i c_{(i+1)}\cos(\alpha_{0(i+1)} - \alpha_{0i})]^{0,5}; \quad (15)$$

$$M_{0cj} = m_{вj}\rho_j l_{вj}\omega^2[c_j^2 + c_{(j+1)}^2 - 2c_j c_{(j+1)}\cos(\beta_{0(j+1)} - \beta_{0j})]^{0,5}; \quad (16)$$

$$\mathrm{tg}\varphi_{0i} = (c_i\sin\alpha_{0i} + c_{(i+1)}\sin\alpha_{0(i+1)}) \times (c_i\cos\alpha_{0i} + c_{(i+1)}\cos\alpha_{0(i+1)})^{-1}; \quad (17)$$

$$\mathrm{tg}\psi_{0j} = (c_j\sin\beta_{0j} + c_{(j+1)}\sin\beta_{0(j+1)}) \times (c_j\cos\beta_{0j} + c_{(j+1)}\cos\beta_{0(j+1)})^{-1}, \quad (18)$$

где c_i и c_j — постоянные конструктивные коэффициенты (параметры), которые определяются как:

$$c_i = k_{(i-1)}l_{вi}l_{в1}^{-1};\ c_j = k_{(j-1)}l_{вj}l_{в1}^{-1}. \quad (19)$$

Здесь $k_{(i-1)}$ и $k_{(j-1)}$ — постоянные конструктивные коэффициенты (параметры); $l_{в1}$ — расстояние между противовесами, находящимися на продолжении 1-й и 8-й щек коленчатого вала.

Коэффициенты определяют по формулам:

$$k_i = m_{в(i+1)}\rho_{(i+1)}/(m_{в1}\rho_1);$$
$$k_j = m_{в(j+1)}\rho_{(j+1)}/(m_{в1}\rho_1), \quad (20)$$

где $m_{в1}$ — первоначальная масса противовеса, расположенного на продолжении 1-й щеки коленчатого вала; ρ_1 — первоначальное расстояние от оси вращения до центра тяжести массы $m_{в1}$.

Равнодействующую $M_{в0}$ моментов центробежных сил инерции от МГП противовесов коленчатого вала и угол $\alpha_{в0}$ его действия рассчитывают по формулам:

$$M_{в0} = (M_{0ci}^2 + M_{0cj}^2 - 2M_{0ci}M_{0cj}\cos\gamma_0)^{0,5}; \quad (21)$$

$$\mathrm{tg}\alpha_{в0} = (M_{0ci}\sin\varphi_{0i} + M_{0cj}\cos\psi_{0j}) \times (M_{0ci}\cos\varphi_{0i} + M_{0cj}\sin\psi_{0j})^{-1}, \quad (22)$$

где γ_0 — первоначальный угол между векторами моментов M_{0ci} и M_{0cj}.

Угол γ_0 (см. рисунок, *в*) определяется как

$$\gamma_0 = 90 + \varphi_{0i} + \psi_{0j} \quad (23)$$

и для него имеем

$$\cos\gamma_0 = -\sin(\varphi_{0i} + \psi_{0j}). \quad (24)$$

Принимая во внимание равенство (24), из выражения (21) получаем:

$$M_{в0} = [M_{0ci}^2 + M_{0cj}^2 + 2M_{0ci}M_{0cj}\sin(\varphi_{0i} + \psi_{0j})]^{0,5}. \quad (25)$$

С учетом уравнений (15) и (16) формула (25) принимает вид:

$$M_{в0} = m_{вi}\rho_i l_{вi}\omega^2\Big[[c_i^2 + c_{(i+1)}^2 - 2c_i c_{(i+1)}\cos(\alpha_{0(i+1)} - \alpha_{0i})] + c_{ji}^2[c_j^2 + c_{(j+1)}^2 - 2c_j c_{(j+1)}\cos(\beta_{0(j+1)} - \beta_{0j})] + 2c_{ji}\{[c_i^2 + c_{(i+1)}^2 - 2c_i c_{(i+1)}\cos(\alpha_{0(i+1)} - \alpha_{0i})] \times [c_j^2 + c_{(j+1)}^2 - 2c_j c_{(j+1)}\cos(\beta_{0(j+1)} - \beta_{0j})]\}^{0,5}\sin(\varphi_{0i} + \psi_{0j})\Big]^{0,5}. \quad (26)$$

Коэффициент c_{ji} определяется по формуле

$$c_{ji} = m_{вj}\rho_j l_{вj}/(m_{вi}\rho_i l_{вi}). \quad (27)$$

Для конкретных моделей и конструкций двигателей V-8 МГП и размеры коленчатого вала остаются неизменными в течение всего их жизненного цикла. Поэтому зависимость (26) можно представить так:

$$M_{в0} = f_0\omega^2[f_1 + f_2\sin(\varphi_{0i} + \psi_{0j})]^{0,5}, \quad (28)$$

где f_i — постоянные конструктивные параметры (коэффициенты), которые вычисляются по формулам:

$$f_0 = m_{вi}\rho_i l_{вi}; \quad (29)$$

$$f_1 = c_i^2 + c_{(i+1)}^2 - 2c_i c_{(i+1)}\cos(\alpha_{0(i+1)} - \alpha_{0i}) + c_{ji}[c_j^2 + c_{(j+1)}^2 - 2c_j c_{(j+1)}\cos(\beta_{0(j+1)} - \beta_{0j})]; \quad (30)$$

$$f_2 = 2c_{ji}\{[c_i^2 + c_{(i+1)}^2 - 2c_i c_{(i+1)}\cos(\alpha_{0(i+1)} - \alpha_{0i})] \times [c_j^2 + c_{(j+1)}^2 - 2c_j c_{(j+1)}\cos(\beta_{0(j+1)} - \beta_{0j})]\}^{0,5}. \quad (31)$$

Формулы (3)—(31) справедливы для случая, когда при первоначальном проектировании и изготовлении двигателей V-8 и их коленчатых валов, соблюдаются соотношения:

$$m_{вi} = m_{в(9-i)};\ \rho_i = \rho_{(9-i)};\ m_{вi}\rho_i = m_{в(9-i)}\rho_{(9-i)}; \quad (32)$$

$$m_{вj} = m_{в(9-j)};\ \rho_j = \rho_{(9-j)};\ m_{вj}\rho_j = m_{в(9-j)}\rho_{(9-j)}; \quad (33)$$

$$\alpha_{0i} = \alpha_{0(9-i)};\ \beta_{0j} = \beta_{0(9-j)}. \quad (34)$$

Противовесы коленчатого вала полностью уравновешивают двигатели V-8, если во время их первоначального проектирования и изготовления наряду с соблюдением равенств (32)—(34) обеспечиваются требования

$$\overline{M}_{R0} = \overline{M}_{в0};\ \alpha_{R0} = \alpha_{в0} = 18°26', \quad (35)$$

где α_{R0} — угол действия момента M_{R0} [1, 2].

В случае использования в двигателях V-8 ремонтных, конструктивно и технологически усовершенствованных деталей КШМ действующий в них свободный суммарный неуравновешенный момент составляет:

$$M_R = b\omega^2(m_{0c} + \Delta m_у). \quad (36)$$

При этом дополнительный свободный суммарный неуравновешенный момент определяется по выражению

$$\Delta M_R = b\omega^2\Delta m_у. \quad (37)$$

С целью обеспечения полной уравновешенности двигателей V-8 и возможности балансировки их коленчатого вала и вала в сборе с маховиком и сцеплением в условиях производства и ремонта и, как следствие, повышения ресурса и вероятности безотказной работы, улучшения виброакустических показателей новых и ка-

питально отремонтированных двигателей необходимо увеличить момент $M_{в0}$ на $\Delta M_в$ (см. рисунок, *б* и *в*) и добиться соблюдения требований:

$$\overline{M}_R = -M_в;\ \Delta\overline{M}_R = -\Delta\overline{M}_в;\ \alpha_R = \alpha_{R0} = \alpha_в = \alpha_{в0}, \quad (38)$$

где $M_в$ — суммарный момент центробежных сил инерции от МГП противовесов коленчатого вала после увеличения $M_{в0}$ на $\Delta M_в$; α_R и $\alpha_в$ — углы действия моментов ΔM_R, M_R [1] и $M_в$, $\Delta M_в$.

Для значений упомянутых углов, приведенных в последнем из соотношений (38), имеем:

$$\mathrm{tg}\alpha_R = \mathrm{tg}\alpha_{R0} = \mathrm{tg}\alpha_в = \mathrm{tg}\alpha_{в0} = 1/3. \quad (39)$$

Рассматриваемые моменты вычисляются по равенствам:

$$\Delta M_R = M_R - M_{R0};\ \Delta M_в = M_в - M_{в0}. \quad (40)$$

Из выражений (11), (12), (15), (16), (21), (26), (28) и рисунка видно, что путем изменения (увеличения и уменьшения) углов расположения соответствующих противовесов коленчатого вала можно достигнуть роста момента $M_{в0}$ на $\Delta M_в$. В результате этого компенсируется $\Delta m_у$, устраняется ΔM_R и обеспечивается полная уравновешенность двигателей V-8. Изложенное подтверждается следующим.

При использовании данного способа компенсации $\Delta m_у$ и устранения ΔM_R масса противовесов коленчатого вала и расстояние от ее центра тяжести до оси вращения остаются постоянными, а углы их расположения изменяются. Поэтому справедливы соотношения:

$$M_i = M_{0i};\ M_{(i+1)} = M_{0(i+1)};\ M_j = M_{0j};\ M_{(j+1)} = M_{0(j+1)}, \quad (41)$$

где M_i, $M_{(i+1)}$, M_j и $M_{(j+1)}$ — моменты центробежных сил инерции от МГП противовесов, находящихся на продолжении i-й, $(i+1)$-й, j-й и $(j+1)$-й щек коленчатого вала после изменения (увеличения или уменьшения) углов их размещения (см. рисунок, *б*).

Увеличение углов α_{0j} и β_{0j} на $\Delta\alpha_i$ и $\Delta\beta_j$, а также уменьшение углов $\alpha_{0(i+1)}$ и $\beta_{0(j+1)}$ на $\Delta\alpha_{(i+1)}$ и $\Delta\beta_{(j+1)}$, как видно из формул (11), (12), (15), (16) и рисунка, *б*, сопровождается увеличением моментов M_{0ci} и M_{0cj}. В этом случае имеем:

$$M_{ci} = (M_i^2 + M_{(i+1)}^2 - 2M_iM_{(i+1)}\cos\gamma_i)^{0,5}; \quad (42)$$

$$M_{cj} = (M_j^2 + M_{(j+1)}^2 - 2M_jM_{(j+1)}\cos\gamma_j)^{0,5}, \quad (43)$$

где M_{ci} и M_{cj} — значения моментов M_{0ci} и M_{0cj} после изменения углов расположения соответствующих противовесов; γ_i — угол между векторами моментов M_i и $M_{(i+1)}$, зависящий от изменения углов расположения соответствующих противовесов; γ_j — угол между векторами моментов M_j и $M_{(j+1)}$, зависящий от изменения углов размещения соответствующих противовесов.

Углы γ_i и γ_j определяются так (см. рисунок, *а* и *б*):

$$\gamma_i = 180 + \alpha_i - \alpha_{(i+1)};\ \gamma_j = 180 - \beta_j + \beta_{(j+1)}, \quad (44)$$

где α_i — угол между плоскостями противовесов, расположенных на продолжении i-й, $(9-i)$-й щек коленчатого вала и 1-го и 4-го его кривошипов после увеличения α_{0i} на $\Delta\alpha_i$; $\alpha_{(i+1)}$ — угол между плоскостями противовесов, находящихся на продолжении $(i+1)$-й, $(8-i)$-й щек вала и 1-го и 4-го его кривошипов после уменьшения $\alpha_{0(i+1)}$ на $\Delta\alpha_{(i+1)}$; β_j — угол между плоскостями противовесов, установленных на продолжении j-й, $(9-j)$-й щек вала и 2-го и 3-го его кривошипов после увеличения β_{0j} на $\Delta\beta_j$; $\beta_{(j+1)}$ — угол между плоскостями противовесов, размещенных на продолжении $(j+1)$-й, $(8-j)$-й щек вала и 2-го и 3-го его кривошипов после уменьшения $\beta_{0(j+1)}$ на $\Delta\beta_{(j+1)}$.

Для упомянутых углов справедливы соотношения (см. рисунок, *б*):

$$\alpha_i = \alpha_{0i} + \Delta\alpha_i;\ \alpha_{(i+1)} = \alpha_{0(i+1)} - \Delta\alpha_{(i+1)}; \quad (45)$$

$$\beta_j = \beta_{0j} + \Delta\beta_j;\ \beta_{(j+1)} = \beta_{0(j+1)} - \Delta\beta_{(j+1)}. \quad (46)$$

Анализ формул (42)—(46) и рисунка, *а* и *б* показывает, что с целью увеличения рассматриваемых моментов необходимо увеличить первоначальные углы расположения противовесов, находящихся ближе к плоскостям коррекции коленчатого вала, и уменьшить эти углы для противовесов, размещенных дальше от указанных плоскостей. С учетом изложенного и выражений (9) и (10) рассматриваемые моменты вычисляются по зависимостям:

$$M_{ci} = \{M_i^2 + M_{(i+1)}^2 - 2M_iM_{(i+1)}\cos[\alpha_{0(i+1)} - \alpha_{0i} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)]\}^{0,5}; \quad (47)$$

$$M_{cj} = \{M_j^2 + M_{(j+1)}^2 - 2M_jM_{(j+1)}\cos[\beta_{0(j+1)} - \beta_{0j} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)]\}^{0,5}. \quad (48)$$

Углы φ_i и ψ_j действия упомянутых моментов определяют так:

$$\mathrm{tg}\varphi_i = (M_i\sin\alpha_i + M_{(i+1)}\sin\alpha_{(i+1)}) \times (M_i\cos\alpha_i + M_{(i+1)}\cos\alpha_{(i+1)})^{-1}; \quad (49)$$

$$\mathrm{tg}\psi_j = (M_j\sin\beta_j + M_{(j+1)}\sin\beta_{(j+1)}) \times (M_j\cos\beta_j + M_{(j+1)}\cos\beta_{(j+1)})^{-1}. \quad (50)$$

Основываясь на соотношениях (3), (4), (19), (20), (41), (45) и (46), после преобразований из уравнений (47)—(50) получаем:

$$M_{ci} = m_{вi}\rho_i l_{вi}\omega^2\{c_i^2 + c_{(i+1)}^2 - 2c_ic_{(i+1)}\cos[\alpha_{0(i+1)} - \alpha_{0i} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)]\}^{0,5}; \quad (51)$$

$$M_{cj} = m_{вj}\rho_j l_{вj}\omega^2\{c_j^2 + c_{(j+1)}^2 - 2c_jc_{(j+1)}\cos[\beta_{0(j+1)} - \beta_{0j} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)]\}^{0,5}; \quad (52)$$

$$\mathrm{tg}\varphi_i = [c_i\sin(\alpha_{0i} + \Delta\alpha_i) + c_{(i+1)}\sin(\alpha_{0(i+1)} - \Delta\alpha_{(i+1)})] \times [c_i\cos(\alpha_{0i} + \Delta\alpha_i) + c_{(i+1)}\cos(\alpha_{0(i+1)} - \Delta\alpha_{(i+1)})]^{-1}; \quad (53)$$

$$\mathrm{tg}\psi_j = [c_j\sin(\beta_{0j} + \Delta\beta_j) + c_{(j+1)}\sin(\beta_{0(j+1)} - \Delta\beta_{(j+1)})] \times [c_j\cos(\beta_{0j} + \Delta\beta_j) + c_{(j+1)}\cos(\beta_{0(j+1)} - \Delta\beta_{(j+1)})]^{-1}. \quad (54)$$

Введем обозначения:

$$f_3 = c_i^2 + c_{(i+1)}^2;\ f_4 = 2c_ic_{(i+1)};\ \alpha_{f0} = \alpha_{0(i+1)} - \alpha_{0i}; \quad (55)$$

$$f_5 = c_j^2 + c_{(j+1)}^2;\ f_6 = 2c_jc_{(j+1)};\ \beta_{f0} = \beta_{0(j+1)} - \beta_{0j}. \quad (56)$$

Тогда, с учетом равенств (27), (29), (55) и (56) зависимости (51) и (52) примут вид:

$$M_{ci} = f_0\omega^2\{f_3 - f_4\cos[\alpha_{f0} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)]\}^{0,5}; \quad (57)$$

$$M_{cj} = f_0c_{ji}\omega^2\{f_5 - f_6\cos[\beta_{f0} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)]\}^{0,5}. \quad (58)$$

Увеличение углов α_{0i} и β_{0j} на $\Delta\alpha_i$ и $\Delta\beta_j$, а также уменьшение углов $\alpha_{0(i+1)}$ и $\beta_{0(j+1)}$ на $\Delta\alpha_{(i+1)}$ и $\Delta\beta_{(j+1)}$, как видно из формул (57) и (58), приводит к уменьшению углов $\alpha_{f0} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)$ и $\beta_{f0} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)$. Следствием этого является уменьшение косинуса последних и рост значений рассматриваемых моментов.

Принимая во внимание выражения (3), (4), (19)—(22), (41), (45) и (46), равнодействующую $M_в$ моментов центробежных сил инерции от МГП противовесов коленчатого вала и угла $\alpha_в$ его действия после изменения углов их размещения рассчитывают так (см. рисунок, *в*):

$$M_в = (M_{ci}^2 + M_{cj}^2 - 2M_{ci}M_{cj}\cos\gamma)^{0,5}; \quad (59)$$

$$\mathrm{tg}\alpha_в = (M_{ci}\sin\varphi_i + M_{cj}\cos\psi_j)(M_{ci}\cos\varphi_i + M_{cj}\sin\psi_j)^{-1}, \quad (60)$$

где γ — угол между векторами моментов M_{ci} и M_{cj}, зависящий от изменения углов расположения соответствующих противовесов коленчатого вала.

Указанный угол определяют как (см. рисунок, *в*)

$$\gamma = 90 + \varphi_i + \psi_j. \quad (61)$$

С учетом уравнений (23)—(25) и (61) из формулы (59) имеем:

$$M_в = [M_{ci}^2 + M_{cj}^2 + 2M_{ci}M_{cj}\sin(\varphi_i + \psi_j)]^{0,5}. \quad (62)$$

С учетом зависимостей (57) и (58) выражения (60) и (62) можно представить в виде:

$$M_в = f_0\omega^2[\{f_3 - f_4\cos[\alpha_{f0} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)]\} + c_{ji}^2\{f_5 - f_6\cos[\beta_{f0} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)]\} + 2c_{ji}[\{f_3 - f_4\cos[\alpha_{f0} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)]\} \times \{f_5 - f_6\cos[\beta_{f0} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)]\}]^{0,5}\sin(\varphi_i + \psi_j)]^{0,5}; \quad (63)$$

$$\mathrm{tg}\alpha_в = [\{f_3 - f_4\cos[\alpha_{f0} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)]\}^{0,5}\sin\varphi_i + c_{ji}\{f_5 - f_6\cos[\beta_{f0} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)]\}^{0,5}\cos\psi_j] \times [\{f_3 - f_4\cos[\alpha_{f0} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)]\}^{0,5}\cos\varphi_i + c_{ji}\{f_5 - f_6\cos[\beta_{f0} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)]\}^{0,5}\sin\psi_j]^{-1}. \quad (64)$$

При дальнейших расчетах необходимо учитывать, что для углов φ_i и ψ_j справедливы равенства (см. рисунок, *в*):

$$\varphi_i = \varphi_{0i} + \Delta\varphi_i;\ \psi_j = \psi_{0j} + \Delta\psi_j, \quad (65)$$

где $\Delta\varphi_i$ и $\Delta\psi_j$ — увеличение углов ψ_{0i} и ψ_{0j}, вызванное изменением (увеличением и уменьшением) углов размещения соответствующих противовесов коленчатого вала.

Анализ формул (17), (18), (53) и (54) показывает, что изменение (увеличение и уменьшение) углов расположения соответствующих противовесов коленчатого вала сопровождается увеличением углов φ_{0i}, ψ_{0j}, φ_i и ψ_j. В этом случае увеличивается сумма углов φ_i и ψ_j и, как следствие, происходит рост ее синуса. В результате, как видно из уравнения (63), увеличивается значение рассматриваемого момента.

Для общего случая компенсации СНМ деталей КШМ, устранения дополнительного свободного суммарного неуравновешенного момента и обеспечения фактической уравновешенности новых и прошедших капитальный ремонт двигателей V-8 на основе соотношений (28), (37)—(40), (51)—(55), (57), (58), (60), (63) и (64) получены формулы:

$$\Delta M_в = f_0\omega^2\Big\{\big[\{f_3 - f_4\cos[\alpha_{f0} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)]\} + c_{ji}^2\{f_5 - f_6\cos[\beta_{f0} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)]\} + 2c_{ji}\big[\{f_3 - f_4\cos[\alpha_{f0} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)]\}\{f_5 - f_6\cos[\beta_{f0} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)]\}\big]^{0,5}\sin(\varphi_i + \psi_j)\big]^{0,5} - b_к\Big\}; \quad (66)$$

$$\{f_3 - f_4\cos[\alpha_{f0} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)]\}^{0,5}\sin\varphi_i + c_{ji}\{f_5 - f_6\cos[\beta_{f0} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)]\}^{0,5}\cos\psi_i - 1 = 0; \quad (67)$$

$$\{f_3 - f_4\cos[\alpha_{f0} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)]\}^{0,5}\cos\varphi_i + c_{ji}\{f_5 - f_6\cos[\beta_{f0} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)]\}^{0,5}\sin\psi_j - 3 = 0; \quad (68)$$

$$\{f_3 - f_4\cos[\alpha_{f0} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)]\}^{0,5}\sin\varphi_i + c_{ji}\{f_5 - f_6\cos[\beta_{f0} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)]\}^{0,5}\cos\psi_j = 3\{f_3 - f_4\cos[\alpha_{f0} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)]\}^{0,5}\cos\varphi_i + c_{ji}\{f_5 - f_6\cos[\beta_{f0} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)]\}^{0,5}\sin\psi_j; \quad (69)$$

$$\sin(\varphi_i + \psi_j) = \Big\{(b_м\Delta m_у + b_к)^2 - \big[\{f_3 - f_4\cos[\alpha_{f0} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)]\} + c_{ji}^2\{f_5 - f_6\cos[\beta_{f0} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)]\}\big]\Big\} \times 0,5c_{ji}^{-1}\big[\{f_3 - f_4\cos[\alpha_{f0} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)]\} \times \{f_5 - f_6\cos[\beta_{f0} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)]\}\big]^{-0,5}, \quad (70)$$

где $b_к$ и $b_м$ — постоянные конструктивные параметры, равные:

$$b_к = [f_1 + f_2\sin(\varphi_{0i} + \psi_{0j})]^{0,5};\ b_м = bf_0^{-1}. \quad (71)$$

С учетом выражений (65) и (70) имеем:

$$\varphi_i + \psi_j = \varphi_{0i} + \Delta\varphi_i + \psi_{0j} + \Delta\psi_j; \quad (72)$$

$$\Delta\varphi_i + \Delta\psi_j = \arcsin\Big[\Big\{(b_м\Delta m_у + b_к)^2 - \big[\{f_3 - f_4\cos[\alpha_{f0} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)]\} + c_{ji}^2\{f_5 - f_6\cos[\beta_{f0} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)]\}\big]\Big\}^{0,5} c_{ji}^{-1}\big[\{f_3 - f_4\cos[\alpha_{f0} - (\Delta\alpha_{(i+1)} + \Delta\alpha_i)]\} \times \{f_5 - f_6\cos[\beta_{f0} - (\Delta\beta_{(j+1)} + \Delta\beta_j)]\}\big]^{-0,5}\Big] - (\varphi_{0i} + \psi_{0j}). \quad (73)$$

Для конкретных моделей и конструкций двигателей V-8 значения конструктивных параметров и коэффици-

Вариант	Значения увеличения и уменьшения углов расположения противовесов			
	$\Delta\alpha_i$	$\Delta\alpha_{(i+1)}$	$\Delta\beta_j$	$\Delta\beta_{(j+1)}$
1	$+\Delta\alpha_i$	$-\Delta\alpha_{0(i+1)}$	$+\Delta\beta_{0j}$	$-\Delta\beta_{0(j+1)}$
2	$+\Delta\alpha_{0i}$	$-\Delta\alpha_{(i+1)}$	$+\Delta\beta_{0j}$	$-\Delta\beta_{0(j+1)}$
3	$+\Delta\alpha_{0i}$	$-\Delta\alpha_{0(i+1)}$	$+\Delta\beta_j$	$-\Delta\beta_{0(j+1)}$
4	$+\Delta\alpha_{0i}$	$-\Delta\alpha_{0(i+1)}$	$+\Delta\beta_{0j}$	$-\Delta\beta_{(j+1)}$
5	$+\Delta\alpha_i$	$-\Delta\alpha_{0(i+1)}$	$+\Delta\beta_{0j}$	$-\Delta\beta_{(j+1)}$
6	$+\Delta\alpha_{0i}$	$-\Delta\alpha_{(i+1)}$	$+\Delta\beta_j$	$-\Delta\beta_{0(j+1)}$
7	$+\Delta\alpha_i$	$-\Delta\alpha_{0(i+1)}$	$+\Delta\beta_j$	$-\Delta\beta_{0(j+1)}$
8	$+\Delta\alpha_{0i}$	$-\Delta\alpha_{(i+1)}$	$+\Delta\beta_{0j}$	$-\Delta\beta_{(j+1)}$

ентов, СНМ деталей КШМ, размеры, МГП и первоначальные углы размещения противовесов коленчатого вала, входящие в формулы (1)—(31), (36), (37) и (42)—(73), известны. Неизвестными являются только изменения (увеличение и уменьшение) углов расположения соответствующих противовесов коленчатого вала, производимые для компенсации СНМ деталей КШМ и устранения действующего в двигателях V-8 дополнительного свободного суммарного неуравновешенного момента. По перечисленным формулам для конкретных моделей и конструкций двигателей определяют необходимые для компенсации $\Delta m_{\text{у}}$ и устранения ΔM_R значения упомянутых углов.

В таблице представлены восемь возможных вариантов компенсации $\Delta m_{\text{у}}$ и устранения ΔM_R для новых и прошедших капитальный ремонт двигателей V-8. Знак плюс означает увеличение угла размещения соответствующего противовеса, минус — его уменьшение. Исходя из конструктивных, технологических и производственных возможностей предприятий—изготовителей конкретных моделей и конструкций двигателей V-8, задаются изменением (увеличением и уменьшением) трех или двух углов (они имеют индекс "0" в обозначениях изменения рассматриваемых углов), а требуемое изменение других углов рассчитывают по формулам (69)—(73) с учетом свойств тригонометрических функций.

Таким образом, разработаны теоретические основы и предложены способы компенсации СНМ деталей КШМ и устранения дополнительного свободного суммарного неуравновешенного момента, возникающих при установке в двигатели V-8 ремонтных, конструктивно и технологически усовершенствованных поршней, шатунов, поршневых колец и шатунных вкладышей, путем изменения (увеличения и уменьшения) углов расположения соответствующих противовесов коленчатого вала. Выведены формулы для расчета изменений рассматриваемых углов, полностью компенсирующих указанную СНМ и устраняющих упомянутый момент. В этом случае обеспечивается полная уравновешенность новых и капитально отремонтированных двигателей V-8. Это повышает ресурс и вероятность безотказной работы, улучшает виброакустические показатели рассматриваемых двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Назаров А. Д.** Повышение долговечности и улучшение виброакустических показателей двигателей // Вестник машиностроения, 2002. № 7. С. 7—11.
2. **Назаров А. Д.** Дисбалансы автотракторных двигателей: определение и нормирование. М.: Машиностроение, 1992. 272 с.

УДК 629.11.01:62-23:534.1

Б. М. ТВЕРСКОВ, канд. техн. наук (Курганский ГУ)

Резонансные колебания трансмиссии автомобиля

Причиной появления значительных колебаний крутящего момента в трансмиссии автомобиля кроме резонансов, когда совпадают частоты собственных колебаний трансмиссии и возбуждающих моментов двигателя, могут возникать нарушения в подаче топлива в цилиндры дизеля. Работа трансмиссии при этом сопровождается сильным стуком и большими пиковыми моментами. При создании транспортных машин известны случаи, когда из-за нарушения подачи топлива выходили из строя коленчатые валы двигателей.

До постановки на производство опытные тягачи КЗКТ-7428 прошли без замечаний по несколько десятков тысяч километров, поломок деталей дотрансформаторной зоны не наблюдалось. Не было и значительных динамических нагрузок резонансного характера. Однако после постановки тягачей на производство было обнаружено, что при движении накатом с заблокированным гидротрансформатором в дотрансформаторной зоне трансмиссии появляются сильные колебания значений крутящего момента, сопровождаемые сильным стуком. Рычаг привода рейки на топливном насосе высокого давления двигателя, к которому присоединяется тяга от педали подачи топлива, совершает при этом угловые колебания. Очевидно, что колебания рейки ведут к изменению количества подаваемого в цилиндры двигателя топлива и являются причиной неравномерного нагружения трансмиссии. Стук исчезает после нажатия на педаль подачи топлива или разблокирования гидротрансформатора.

Так как на опытных образцах этого не наблюдалось, очевидно, что в конструкцию двигателя ЯМЗ-8401.10-04 мощностью 478 кВт (частота вращения коленчатого вала 2100 мин$^{-1}$) были внесены изменения, в том числе возможность отключения цилиндров одного из рядов двухрядного V-образного дизеля. При эксплуатации машин с другими дизелями подобного не отмечалось.

Трансмиссия тягача состоит из редуктора, гидромеханической коробки передач, раздаточной коробки,

центральных главных передач и колесных редукторов. Все перечисленные агрегаты соединены карданными валами. Двигатель и редуктор соединяются между собой торсионом длиной 300 мм.

Так как свободное качение тягача происходит при заблокированном гидротрансформаторе и составляет значительную часть пути, колебания крутящих моментов приводили к поломкам деталей, соединяющих двигатель и гидротрансформатор, а именно, торсиона, согласующего редуктора, карданного вала, входного вала насосного колеса гидротрансформатора. Кроме того, это приводило к отвинчиванию болтов крепления карданного вала, соединяющих согласующий редуктор и насосное колесо.

Осциллограмма крутящего момента на торсионе при появлении колебаний резонансного характера приведена на рис. 1. Диапазон изменений значений крутящего момента достигал 11 000 Н · м.

Как правило, для исключения возникновения резонансов путем изменения жесткости валопровода и моментов инерции отдельных деталей резонансные частоты выводятся из рабочей зоны частоты вращения вала. Если это сделать не удается, то в наиболее нагруженное место валопровода (узел колебаний) устанавливается демпфер крутильных колебаний. Быстрое прохождение резонансных частот, называемых нерабочими, не является опасным, поэтому такие резонансы допускаются. Работоспособность трансмиссии зависит в основном от установившихся резонансных колебаний, если в связи с условиями эксплуатации они продолжаются сравнительно долго и с частыми повторениями.

Для того чтобы вывести трансмиссию тягача из зоны резонансных колебаний, изменяли жесткость торсиона, соединяющего двигатель и согласующий редуктор. Испытания проводили с торсионами диаметром 29, 31, 33, 35, 38, 42 и 45 мм, с резиновой муфтой на конце торсиона и без нее. Было установлено, что резонанс появляется всегда, если диаметр торсиона меньше 38 мм, и исчезает при диаметре более 38 мм. Колебания почти полностью исчезали при установке торсиона диаметром 42 мм и не появлялись при установке торсиона диаметром 45 мм. Однако после установки резиновой муфты резонансы колебаний появлялись и с этими торсионами. Значения крутящих моментов на торсионах диаметрами 38, 42 и 45 мм приведены в табл. 1.

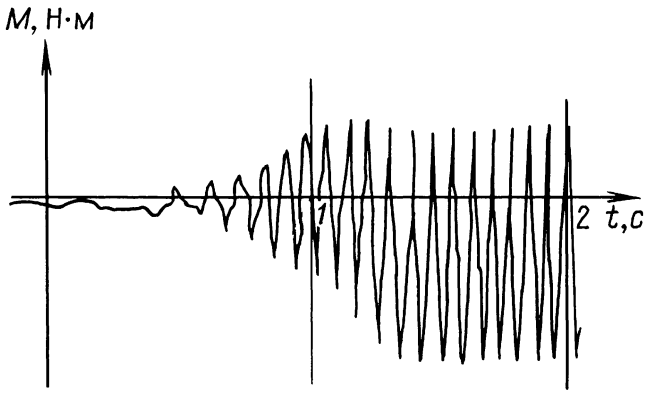


Рис. 1. Осциллограмма крутящего момента в дотрансформаторной зоне тягача КЗКТ-7428

Таблица 1

Значения крутящих моментов на торсионе, кН · м

Режим	Диаметр торсиона, мм	Без дополнительной резиновой муфты		С дополнительной резиновой муфтой	
		положительные	отрицательные	положительные	отрицательные
Пуск двигателя	38	5 ÷ 6	2,5 ÷ 3,5	3,5 ÷ 4	2 ÷ 3
	42	5 ÷ 6,5	3 ÷ 4	4 ÷ 5	2,5 ÷ 3,5
	45	6 ÷ 7	3 ÷ 5	4 ÷ 5	2,5 ÷ 4
Останов двигателя	38		3,5 ÷ 4	2,5 ÷ 3,5	3 ÷ 4
	42	4,5 ÷ 5	4 ÷ 4,5	6 ÷ 7	4,5 ÷ 5
	45	5 ÷ 5,5	4 ÷ 5	3,5 ÷ 4	4,5 ÷ 5
	38	5,5 ÷ 6	5 ÷ 5,5	6 ÷ 7	4,5 ÷ 5
Резонансные колебания	42		—	5,5 ÷ 7	4 ÷ 5
	45	6,5 ÷ 7,5	—	5 ÷ 6	4 ÷ 4,5
		—			
		—			

Примечание. Значение крутящего момента положительно, если крутящий момент совпадает с крутящим моментом двигателя, и отрицательно, если моменты не совпадают.

Жесткости торсионов диаметрами 38, 42 и 45 мм соответственно равны 746, 833 и 1000 Н · м/°. Резонанс колебаний опасен для трансмиссии, если частота хотя бы одного из периодических возбуждающих моментов совпадает с частотой одной из крутильных форм: $\omega_{рез} = \frac{\omega_c}{k}$, где $\omega_{рез}$ — частота резонансных колебаний; ω_c — частота собственных колебаний; k — порядок гармоники возбуждающего момента.

В трансмиссии автомобиля может быть несколько резонансов. На тягачах КЗКТ, на которых при пуске и останове двигателя трансмиссия не отсоединяется, имеют место резонансы при самых низких значениях частоты вращения коленчатого вала. Поэтому резонансные частоты вращения деталей трансмиссии могут наблюдаться как при небольших, например при пуске и останове двигателя, так и при средних и высоких значениях частоты вращения коленчатого вала.

Работа упругих и инерционных моментов при резонансе равна работе возмущающих сил и направлена на преодоление сил сопротивления. Затраты на резонансные колебания составляют до 10 % и более от передаваемой мощности. Амплитуда резонансных колебаний зависит от коэффициента демпфирования. Амплитуда вынужденных колебаний при резонансе пропорциональна амплитуде возбуждающего момента, обратно пропорциональна коэффициенту демпфирования и собственной частоте колебаний. Если коэффициент демпфирования равен нулю, амплитуда теоретически равна бесконечности.

Обозначим сдвиг фаз между амплитудой вынужденных угловых колебаний и амплитудой возбуждающего момента через μ и получим, что в дорезонансной зоне

амплитуды вынужденных колебаний ниже амплитуд возбуждающего момента: $\mu \leqslant \pi/2$, а в резонансной зоне $\pi/2 \leqslant \mu \leqslant \pi$.

Амплитуды колебаний масс при резонансе определяют в следующем порядке:

1) находят собственную частоту крутильных колебаний масс системы и определяют относительные амплитуды;

2) строят фазовую диаграмму для k-й гармоники;

3) строят векторную диаграмму относительных амплитуд колебаний масс, находят геометрическую сумму относительных амплитуд колебаний масс;

4) находят действительную амплитуду колебаний первой массы при резонансе, вызванном гармоническим моментом k-го порядка.

При анализе резонансных колебаний допускается, что формы собственных и резонансных колебаний совпадают. Тогда $A_{ki}/A_i = a_{ki}/a_i$, где A_{ki} — амплитуда колебаний первой массы от гармонического момента k-го порядка; i — номер массы в порядке их расположения; α_{ki} — относительная амплитуда колебаний i-й массы от гармонического момента k-го порядка.

Для расчета резонансных колебаний используется метод, основанный на равенстве работ возбуждающих моментов и моментов сопротивления. Приравняв уравнения этих работ, можно определить резонансные амплитуды всех сосредоточенных масс трансмиссии автомобиля. Так, работа возмущающего момента k-го порядка по всем коленам вала за один цикл колебаний определяется по формуле

$$W_{b\Sigma} = \sum_{i=1}^{n} \int_{i=1}^{\frac{2\pi}{k\omega}} M_{ki}\,\mathrm{d}\alpha_{ki} = M_k\pi\Big(\cos\beta \sum_{i=1}^{n} \alpha_{ki}\cos k\delta_i + \\ + \sin\beta \sum_{i=1}^{n} \alpha_{ki}\sin k\delta_i\Big), \qquad (1)$$

где β — фазовый угол; δ_i — угол между вспышками в первом и i-м цилиндрах двигателя; $\Sigma\alpha_{ki}$ — равнодействующий вектор амплитуд перемещений; M_{ki} — гармонический момент k-го порядка, приложенный к i-му колену коленчатого вала.

Если $\beta = 0$, уравнение (1) можно записать:

$$W_{b\Sigma} = \pi M_k \sqrt{\Big(\sum_{i=1}^{n} \alpha_{ki}\cos k\delta_i\Big)^2 + \Big(\sum_{i=1}^{k} \alpha_{ki}\sin k\delta_i\Big)^2}\,.$$

При условии совпадения форм собственных и резонансных колебаний последнее выражение будет иметь вид: $W_{b\Sigma} = \pi M_k A_{ki} \sum_{i=1}^{n} \vec{\alpha}_{ki}$.

Общая работа момента сопротивления за одно колебание: $W_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^{n} \pi\,\varepsilon\omega_c A_{ki}^2 = \pi\varepsilon\omega_c A_{ki}^2 \sum_{i=1}^{n} \vec{\alpha}_{ki}^2$.

В условиях резонанса $W_{b\Sigma} = W_{c\Sigma}$. Отсюда амплитуды колебаний масс при резонансе могут быть определены по формуле

$$A_{ki} = \frac{M_k \sum_{i=1}^{n} \vec{\alpha}_{ki}}{\varepsilon\omega_c \sum_{i=1}^{n} \vec{\alpha}_{ki}^2},$$

где ε — коэффициент демпфирования для одного колена вала.

Для определения момента трения демпфера П. П. Лукин предлагает следующее [1]: работа возмущающего момента двигателя $W_{\text{дв}} = \pi M_{\text{р}}\lambda_1\Sigma\vec{\alpha}$ (где $M_{\text{р}}$ — гармонический возмущающий момент; λ_1 — амплитуда колебания массы маховика от этого момента; $\Sigma\vec{\alpha}$ — геометрическая сумма относительных амплитуд колебаний в разных цилиндрах двигателя); работа трения в демпфере $W_{\text{тр}} = 4M_{\text{тр}}\lambda_r$ (где $M_{\text{тр}}$ — момент трения демпфера; λ_r — амплитуда колебаний трущихся деталей демпфера).

Отсюда

$$M_{\text{тр}} = \frac{\pi M_{\text{р}}\lambda_1\Sigma\vec{\alpha}_1}{\lambda_{\text{т}}},$$

тогда

$$M_{\text{тр}} = \frac{[C_{\text{экв}}(C_1 + C_2) - C_1 C_2]M_{\text{р}}\Sigma\vec{\alpha}_1}{C_2 C_{\text{экв}}},$$

где $C_{\text{экв}}$ — эквивалентная жесткость трансмиссии; C_1 и C_2 — жесткости первого и второго звеньев трансмиссии.

Правильность расчетов напряжений, появляющихся в деталях трансмиссии при резонансе, в значительной степени зависит от точности определения возбуждающих моментов. Как правило, расчеты напряжений в резонансных режимах не являются достаточно точными, если расчет выполняется с учетом только формы собственных колебаний, а другие гармоники, влияющие на процесс колебаний, не принимаются во внимание, например, такие, как неравномерная работа цилиндров двигателя, недостаточная масса маховика и т. п. Из-за сложности расчетов нагружений в деталях трансмиссии при резонансе данные проверяются экспериментально.

Наибольшим колебаниям подвержена часть трансмиссии, расположенная между двигателем и насосным колесом гидротрансформатора. Поэтому расчеты на крутильные колебания и экспериментальные исследования выполняются в основном для этой дотрансформаторной зоны трансмиссии (рис. 2).

Сложная трансмиссионная система, какой является трансмиссия четырехосного тягача КЗКТ, перед расчетом на крутильные колебания редуцируется, т. е. массы ответвления заменяются одной массой, расположенной в точке ответвления.

Редуцированная масса должна иметь такой же момент инерции, как и действительная:

$$J_{\text{р}}\alpha_{\text{р}}\omega^2 = J_{\text{д}}\alpha_{\text{д}}\omega^2, \qquad (2)$$

где $J_{\text{р}}$ и $J_{\text{д}}$ — соответственно редуцированная и действительная массы; $\alpha_{\text{р}}$ и $\alpha_{\text{д}}$ — амплитуды колебаний со-

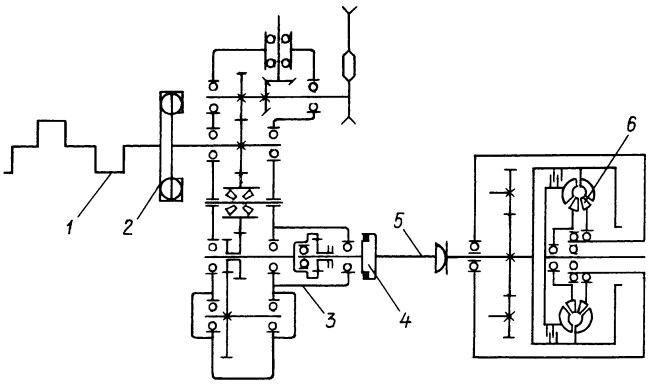


Рис. 2. Схема дотрансформаторной зоны тягача:
1 — коленчатый вал; *2* — демпфер; *3* — согласующий редуктор; *4* — упругая муфта; *5* — карданный вал; *6* — гидротрансформатор

ответственно редуцированной и действительной масс; ω — собственная частота колебаний.

Решая уравнение (2), находим: $J_р = J_д \dfrac{\alpha_д}{\alpha_р} = J_д \dfrac{1}{1 - \omega^2 J_д C}$.

Аналогично можно определить редуцированные массы других ответвлений. Затем определяют частоты главных крутильных колебаний трансмиссии и находят частоту вращения, при которых появляется резонанс.

Резиновые втулки демпфера на карданном валу обеспечивают податливость трансмиссии и способствуют гашению крутильных колебаний.

Определив приведенные моменты инерции и жесткости элементов дотрансформаторной зоны трансмиссии, составим расчетно-динамическую схему (рис. 3), которая включает в себя: шесть шатунных шеек с шатунами и поршнями (приведенный момент инерции каждой $J_1 = J_2 = J_3 = J_4 = J_5 = J_6 = 17$ кг · м^2); маховик двигателя (момент инерции $J_7 = 246$ кг · м^2); повышающую передачу (приведенный момент инерции $J_8 = 27$ кг · м^2); карданный вал с насосным колесом ГТ (момент инерции $J_9 = 196$ кг · м^2).

Перечисленные выше массы соединяются между собой безынерционными звеньями. Их приведенные податливости, рад/(Н · м): $e_{12} = e_{23} = e_{34} = e_{45} = e_{56} = e_{67} = 4{,}6 \cdot 10^{-7}$; $e_{78} = 495 \cdot 10^{-7}$; $e_{89} = 1800 \cdot 10^{-7}$. Податливость одного колена коленчатого вала $e_0 = 4{,}6 \cdot 10^{-7}$ рад/(Н · м).

Система уравнений для данной эквивалентной схемы будет иметь вид:

$$\left.\begin{aligned}
&J_1\ddot{\alpha}_1 + c_{12}(\alpha_1 - \alpha_2) = 0;\\
&J_2\ddot{\alpha} + c_{12}(\alpha_1 - \alpha_2) + c_{23}(\alpha_2 - \alpha_3) = 0;\\
&J_2\ddot{\alpha}_1 + c_{12}(\alpha_1 - \alpha_2) + c_{23}(\alpha_2 - \alpha_3) = 0;\\
&J_3\ddot{\alpha}_3 + c_{23}(\alpha_2 - \alpha_3) + c_{34}(\alpha_3 - \alpha_4) = 0;\\
&\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\\
&J_8\ddot{\alpha}_8 + c_{78}(\alpha_7 - \alpha_8) + c_{89}(\alpha_8 - \alpha_9) = 0;\\
&J_9\ddot{\alpha}_9 + c_{89}(\alpha_8 - \alpha_9) = 0,
\end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

где $\ddot{\alpha}_1, \ddot{\alpha}_2, ..., \ddot{\alpha}_9$ — угловые ускорения соответствующих масс.

Использование при расчетах компьютеров дает возможность применить аналитические методы, отличающиеся большим объемом вычислений, удобных для программирования. Таким, например, является матричный метод. Составив матричный определитель для системы уравнений (3) и приравняв его к нулю, решим его относительно собственной частоты ω колебаний и найдем относительные амплитуды колебаний (табл. 2).

Так как в эквивалентной системе расстояния между массами пропорциональны жесткости участков реального вала, тангенсы углов наклона отдельных участков форм колебаний будут пропорциональны упругим крутящим моментам на этих участках. Формы колебаний (рис. 4) дают наглядное представление о сравнительной напряженности отдельных участков дотрансформаторной зоны трансмиссии четырехосного тягача КЗКТ.

Известно, что гидротрансформаторы хорошо гасят крутильные колебания. Они делят колебательную систему на две части. Кроме того, гидромеханическая коробка передач на тягачах КЗКТ, так называемая гидромеханическая трансмиссия (ГМТ), создает большой инерционный момент (ее масса 1 т). Планетарные ряды ГМТ работают как маховики и сглаживают колебания. После ГМТ колебания крутящего момента небольшие (в том числе и при заблокированном гидротрансформаторе) и не являются опасными. ГМТ обладает значительным внутренним сопротивлением, что также способствует снижению колебаний.

Правильность расчетов напряжений в деталях трансмиссии при резонансе в значительной степени зависит от точности определения возбуждающих моментов, что без экспериментальной проверки сделать весьма сложно. Поэтому расчет нередко заменяется эксперимен-

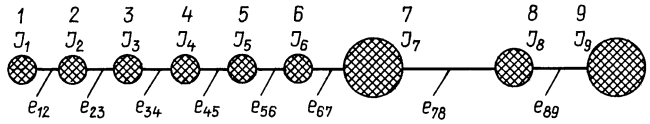


Рис. 3. Расчетно-динамическая схема дотрансформаторной зоны четырехосного тягача КЗКТ

Таблица 2

Значения относительных амплитуд собственных колебаний дотрансформаторной зоны четырехосного тягача КЗКТ

Номер массы	Чеастоты свободных колебаний, с$^{-1}$			
	$\omega_{c1} = 4313$	$\omega_{c2} = 11\,776$	$\omega_{c3} = 18\,738$	$\omega_{c4} = 24\,647$
1	1	1	1	1
2	0,931	0,478	−0,297	−1,245
3	0,798	−0,274	−0,209	0,094
4	0,610	−0,896	−0,551	1,415
5	0,381	−1,05	0,821	0,347
6	0,125	−0,678	1,1280	−1,500
7	−0,139	0,049	−0,029	0,019
8	−0,140	0,053	−0,034	0,028
9	0,141	0,053	−0,036	0,080

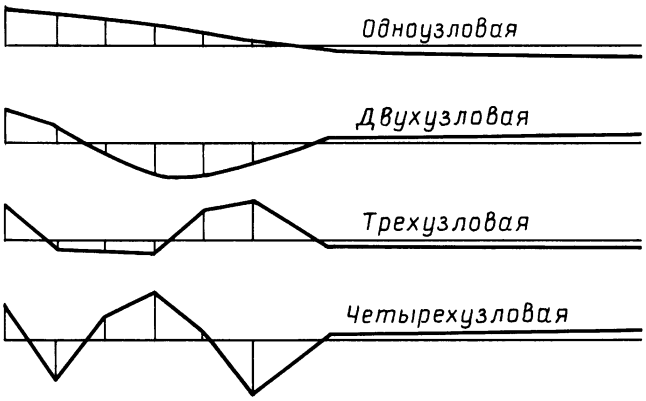


Рис. 4. Формы колебаний трансмиссии тягача

тальными исследованиями. Расчет напряжений в деталях при резонансных режимах не будет точным, если не принять во внимание другие гармоники, влияющие на процесс колебаний. На действительные колебания крутящего момента двигателя, возбуждающего крутильные колебания, влияют также неравномерная работа цилиндров двигателя, недостаточная масса маховика и др.

В процессе испытаний наблюдались резонансы колебаний в широком диапазоне частоты вращения коленчатого вала, амплитуды которых были больше, чем при пуске двигателя.

При пуске двигателя обычно происходит три-четыре значительных колебания крутящего момента, после чего начинается устойчивая работа двигателя. Через 6÷10 оборотов коленчатого вала диапазон изменений крутящего момента уменьшается в 10÷15 раз и, если не наступает резонанс, он не превышает 300÷500 Н · м. При останове двигателя обычно наблюдается не более двух колебаний крутящего момента. При резком нажатии или отпускании педали подачи топлива диапазон изменений крутящего момента может достигать 1000 Н · м.

В дотрансформаторной зоне трансмиссии имеют место резонансные колебания. При этом амплитуды колебаний в 1,5÷2 раза выше, чем при незаблокированном гидротрансформаторе.

Частота колебаний при резонансе — 16÷20 Гц. Положительные значения крутящего момента при резонансе в 3 раза превышали максимальный крутящий момент, а отрицательные — в 2÷2,5 раза, что приводило к усталостным поломкам деталей трансмиссии.

Причиной этих колебаний могло быть также и то, что при работе без нагрузки в одном из рядов цилиндров двигателя ЯМЗ-8401.10-04 прекращалась подача топлива. Это было сделано для экономии топлива и снижения содержания вредных веществ в отработавших газах.

Заключение. При работе двигателя в трансмиссии автомобиля возникают резонансы колебаний, даже при небольшой частоте вращения коленчатого вала. Причиной появления резонансов может быть не только упругость валов трансмиссии, но и работа насоса высокого давления, подающего топливо в цилиндры двигателя. Наиболее нагруженной частью трансмиссии является ее дотрансформаторная зона. Значительные колебания крутящего момента могут наблюдаться и на валах в районе колес автомобиля при движении по неровным дорогам. Незаблокированный гидротрансформатор, установленный в трансмиссии, делает колебания деталей трансмиссии, расположенных до и после гидротрансформатора, практически независимыми. Гидромеханическая коробка передач с заблокированным гидротрансформатором, отличающаяся большим инерционным моментом, служит своеобразным маховиком. Колебания крутящего момента после коробки передач значительно меньше, чем в дотрансформаторной зоне.

УДК 621.22

Н. Г. ГРИНЧАР, канд. техн. наук (Московский государственный университет путей сообщения)

Методика определения рациональной схемы контрольных точек при диагностике гидросистем

Рассматривается проблема определения точек в гидросистемах строительных и других мобильных машин, подлежащих оснащению датчиками контроля основных параметров — расхода и давления. Предлагается классификация отказов по характеру их проявления, позволяющее с высокой степенью вероятности определить участок, где произошел отказ.

Диагностический процесс можно определить как процесс поиска отказавшего элемента или, что то же самое, определения состояния системы.

В качестве исходной информации при решении задач диагностики используют симптомы отказа и признаки нормального функционирования (ПНФ) системы [1]. Симптомом отказа системы является информация об отклонениях от нормы параметров системы, характеризующих ее работоспособность или состояние, а также об изменении этих отклонений во времени [1].

В гидросистеме отказы различных элементов из-за существующих связей могут иметь один и тот же симптом. Например, признаком падения давления в насосной установке будут показания манометра ниже номинального уровня. Отказ мог произойти в результате зависания плунжера предохранительного клапана, износа насоса, поломки манометра, повышенных утечек в распределителе. С другой стороны, отказ одного элемента может иметь различные симптомы. Например, понижение объемного КПД насоса приводит, с одной стороны, к падению скорости движения рабочего орга-

на и, с другой стороны, к падению темпа нарастания давления. Таким образом, каждому элементу системы может соответствовать комплекс симптомов отказа и наоборот. Взаимосвязи между отказами и их симптомами можно определить по-разному и различными методами, среди которых следует выделить логический и вероятностный.

Основной характерной чертой диагностического процесса является анализ симптомов отказа и ПНФ системы с целью уточнения ситуации и локализации отказавшего элемента или блока, в котором находится последний.

Часто для определения состояния системы недостаточно информации, содержащейся в симптомах отказа и ПНФ. В этом случае прибегают к испытаниям (проверкам). Программы испытаний могут быть гибкими и жесткими. При жесткой программе поиска последовательность проверок определена заранее и в процессе поиска не меняется. При гибкой программе поиска характер каждой очередной проверки устанавливается в ходе диагностического процесса, т. е. решение принимается после анализа результатов предыдущего испытания [1].

Для практической реализации поиска неисправностей в определенных (контрольных) точках гидросистемы необходимо измерить параметры, характеризующие ее состояние. При диагностировании гидросистем статопараметрическим методом, который является на сегодняшний день наиболее распространенным, необходимо учитывать частоту n вращения приводного вала насоса, скорости v и ω движения исполнительных органов, давление P в системе и расход Q. Иногда также контролируются: крутящий момент M_0 на валу приводного двигателя, усилие F и крутящий момент M на исполнительном органе.

Указанные параметры измеряются, как правило, при фиксированной температуре рабочей жидкости.

Появление неисправности приводит к потерям мощности:

$$\Delta N_i \neq [\Delta N_i] = |\Delta N_{i1} - \Delta N_{i2}|,$$

где ΔN_i — потеря гидравлической мощности на i-м участке; $[\Delta N_i]$ — максимально допустимые потери мощности; ΔN_{i1}, ΔN_{i2} — значения мощности на входе и выходе i-го участка гидропривода соответственно.

Потери складываются из потерь расхода Q и давления P. В основном наблюдаются следующие варианты:

для изношенных насосов, когда они не развивают заданное давление, и неисправных предохранительных клапанов, характерны условия:

$$\Delta P > [\Delta P];\ \Delta P = P_{\text{вх}} - P_{\text{вых}},\quad P_{\text{вх}} = [P_{\text{вх}}];\ P_{\text{вых}} < [P_{\text{вых}}]; \tag{1}$$

для насосов и других гидроаппаратов, имеющих объемный КПД ниже допустимого, характерны условия:

$$\Delta Q > [\Delta Q];\ \Delta Q = Q_{\text{вх}} - Q_{\text{вых}},\quad Q_{\text{вх}} = [Q_{\text{вх}}];\ Q_{\text{вых}} < [Q_{\text{вых}}]; \tag{2}$$

для засорившихся фильтров и других неисправных аппаратов, перепад давления на которых превышает допустимые значения, характерны условия:

$$\Delta P > [\Delta P];\ \Delta P = P_{\text{вх}} - P_{\text{вых}},\quad P_{\text{вых}} \approx [P_{\text{вых}}];\ \Delta Q \leqslant [\Delta Q]; \tag{3}$$

для неисправных редукционных клапанов и клапанов последовательности (напорных золотников) характерны сравнительно редкие условия:

$$\Delta P < [\Delta P],\ P_{\text{вх}} = [P_{\text{вх}}],\quad P_{\text{вых}} > [P_{\text{вых}}],\ \Delta Q \leqslant [\Delta Q]. \tag{4}$$

Итак, все основные неисправности гидропривода условно можно разделить на четыре группы, по-разному влияющие на переменные физические величины — расход и давление.

Признаки (симптомы) отказов, характеризующие принадлежность гидропривода к определенной группе состояний, проявляются при наличии или отсутствии внешней нагрузки R, приложенной к приводу: если $R = 1$, нагрузка есть; если $R = 0$, нагрузка отсутствует. Неисправности 1, 2 и 4-й групп проявляются только при наличии внешней нагрузки, приложенной к гидроприводу; неисправности 3-й группы не зависят от наличия внешних нагрузок, более того, они ярче проявляются при их отсутствии. Признаком, характеризующим неисправности 3-й группы, является повышенное давление P в гидроприводе, которое можно определить по инвентарному манометру.

Чтобы различить неисправности первой и второй групп, используем выходные последовательные и параллельные переменные: F, M, V и ω [2]. При неисправностях 1-й группы все указанные величины ниже допустимого предела; при неисправностях 2-й группы — только скорости движения исполнительных органов.

Для составления теста используем двоичный код, полагая при этом:

$$R = [R] \to 1;\ R = 0 \to 0;$$

$$P_{\text{и}} = [P] \to 1;\ P_{\text{и}} = 0 \to 0;$$

$$F;\ M = [F;\ M] \to 1;\ F;\ M \neq [F;\ M] \to 0;$$

$$V;\ \omega = [V;\ \omega] \to 1;\ V;\ \omega \neq [V;\ \omega] \to 0.$$

Тест представим в виде таблицы, в которой строки соответствуют возможным группам состояний системы (обозначены символом L_i), а столбцы — симптомам отказов. Первые две строки L_{01}; L_{02} учитывают случай, когда система исправна, а проверка проходит соответственно без нагрузки (строка L_{01}) и под нагрузкой (строка L_{02}). Все строки таблицы попарно различны, следовательно, тест является достаточным. Тест оговаривает

Состояние	R	P	F; M	V; ω
L_{01}	0	1	1	1
L_{02}	1	1	1	1
L_1	1	0	0	0
L_2	1	1	0	1
L_3	0	0	1	1
L_4	1	1	1	0

условия проведения проверок (наличие или отсутствие нагрузки) и результаты определения симптомов отказа.

Тест является также минимальным, так как можно легко убедиться, что вычеркивание любого столбца приводит к тому, что некоторые пары строк становятся одинаковыми. Важной особенностью параметров R, P, F, M, V и ω является то, что для их определения, как правило, не требуется специальных (дополнительных) аппаратных средств.

В общем случае при поиске отказа в гидросистеме нет необходимости проверять все элементы системы подряд. Наиболее эффективным является проведение такого поиска в два этапа:

1) определение подгруппы элементов, содержащей отказ, вследствие чего резко сужается поле поиска и соответственно уменьшается энтропия;

2) определение собственно отказавшего агрегата.

Естественным методом является такое деление на группы, при котором одна группа соответствует одной подсистеме исполнительного механизма, например, группа механизма подачи, группа механизма вращения и т. д. При этом необходимо учитывать специфику гидропривода рассматриваемой машины. В гидроприводах строительных и дорожных машин, как правило, имеются несколько насосов, обслуживающих несколько исполнительных механизмов. Обобщенная схема гидропривода приведена на рис. 1. Полную группу образуют "насос — распределители — регулирующая аппаратура — исполнительный механизм". Насос, таким образом, входит в состав всех групп, так же как и регулирующая аппаратура. Поэтому, очевидно, целесообразно разделить каждую полную группу на две: насосную установку (насос и необходимые гидроаппараты защиты — предохранительный клапан, обратный клапан и т. д.) и исполнительный механизм вместе с обеспечивающей его работу контрольно-распределительной аппаратурой. Из этого можно сделать вывод о целесообразности выделения насосной станции в отдельную приоритетную группу, так как вследствие более высокого коэффициента использования под нагрузкой насосные станции гидросистем мобильных машин имеют самые высокие коэффициенты отказа.

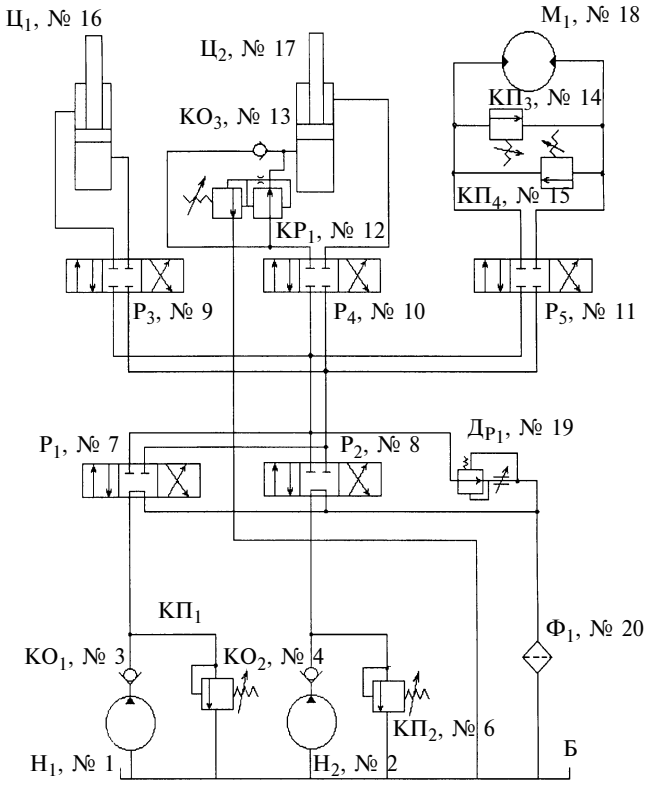


Рис. 1. Обобщенная схема гидропривода мобильной машины: $Н_1$, $Н_2$ — насосы; $КО_1$—$КО_3$ — обратные клапаны; $КП_1$—$КП_4$ — предохранительные клапаны; $Р_1$—$Р_5$ — распределители; $КР_1$ — клапан редукционный; $Ц_1$, $Ц_2$ — гидроцилиндры; $М_1$ — гидромотор; $Др_1$ — дроссель с регулятором; Б — бак; $Ф_1$ — фильтр

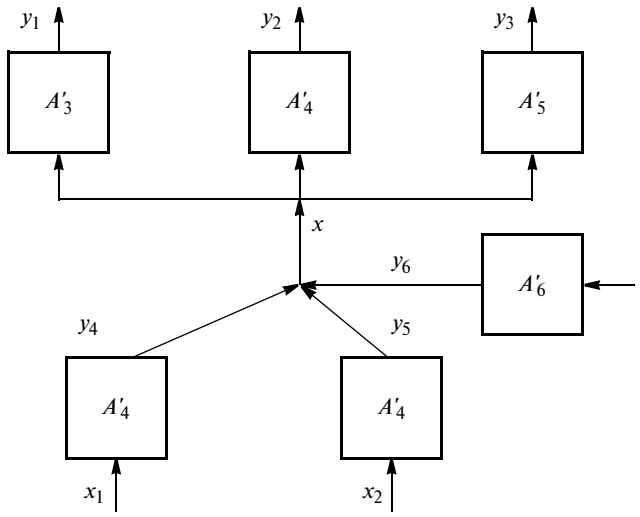


Рис. 2. Преобразованная структура гидросистемы

Однако не всегда можно только на базе анализа схемы разбить систему на группы оптимальным образом, хотя наибольший эффект достигается именно при учете схемного решения гидропривода.

Для системы, представленной на рис. 2, возможны, например, следующие варианты разбиения на группы:

вариант 1:

A_1 = № 1; № 3; № 5; № 7; A_2 = № 2; № 4; № 6; № 8;
A_3 = № 19; № 20; A_4 = № 9; № 16;
A_5 = № 10; № 12; № 13; № 17;
A_6 = № 11; № 14; № 15; № 18;

вариант 2:

A_1 = № 1, № 2, № 5, № 7, № 9, № 16;
A_2 = № 1, № 3, № 5, № 10, № 12, № 13, № 17;
A_3 = № 1, № 3, № 4, № 5, № 7, № 11; № 14—15, № 18;
A_4 = № 2, № 4, № 6, № 8, № 19, № 20; и т. д.

Процесс разбиения на группы может быть формализован. В качестве исходных формируются группы, точно отражающие процесс функционирования каждой подсистемы, в нашем случае:

A_1 = № 1, № 3, № 5, № 7, № 19, № 9, № 16, № 20;
A_2 = № 2; № 4, № 6, № 8, № 19, № 9, № 16, № 20;
A_3 = № 1, № 3, № 5, № 7, № 19, № 10,
№ 12, № 13, № 17; № 20;

A_4 = № 2, № 4, № 6, № 8, № 19, № 10, № 12, № 13, № 17, № 20;

A_5 = № 1, № 3, № 5, № 7, № 19, № 11, № 14—15, № 18, № 20;

A_6 = № 2, № 4, № 6, № 8, № 19, № 11, № 14—15, № 18, № 20.

Исходные группы преобразуются в группы, формирующиеся по принципу повторяющихся в них элементов:

$$A'_1 = № 1, № 3, № 5, № 7;\ A'_2 = № 2, № 4, № 6, № 8;$$

$$A'_3 = № 9, № 16;\ A'_4 = № 10, № 12, № 13, № 17;$$

$$A'_5 = № 11, № 14—15, № 18;\ A'_6 = № 19, № 20. \quad (5)$$

Дальнейшие преобразования могут вестись на базе объединения полученных групп. Структурная схема гидросистемы, соответствующая набору групп (5), представлена на рис. 2, где y_i, x_i — соответственно выходные и входные параметры для каждой группы.

Запишем функции истинности для выходных параметров y_1, y_2, y_3:

$$y_{11} = A'_1 \ \&\ A'_6 \ \&\ A'_3;\ y_{12} = A'_2 \ \&\ A'_6 \ \&\ A'_3;$$

$$y_{21} = A'_1 \ \&\ A'_6 \ \&\ A'_4;\ y_{22} = A'_2 \ \&\ A'_6 \ \&\ A'_4; \quad (6)$$

$$y_{31} = A'_1 \ \&\ A'_6 \ \&\ A'_5;\ y_{32} = A'_2 \ \&\ A'_6 \ \&\ A'_5,$$

где & — знак конъюнкции.

Анализируя логические уравнения (6), нетрудно локализовать подгруппу, содержащую неисправный аппарат, исходя из предположения, что в системе нет двух одновременных отказов. Рассуждения в этом случае довольно просты. Например, пусть отказал дроссель $Др_1$ (№ 19), входящий в группу № 6. Следовательно $y_{11} \div y_{32} = 0$. Такая ситуация возможна лишь тогда, когда отказ содержится в подгруппе, входящей во все уравнения системы. Такой подгруппой является подгруппа A'_6. Данное рассуждение справедливо в случае, когда в системе имеется только один отказавший элемент.

В общем случае для определения состояния элемента необходимо определить параметры на его входе и выходе. Совокупность всех параметров даст полный диагностический тест для системы. Очевидно, что такой тест не является минимальным и часть измерений не будет нести полезную информацию.

Будем считать, что отказ одного элемента есть отказ системы. Каждой неисправности соответствует некоторое состояние системы.

Перечислим, исходя из условий (1)÷(4), в обобщенной гидросистеме, показанной на рис. 1, возможные неисправности (рис. 3):

S_1 — $Н_1$ не развивает давление при нагружении; S_2 — $Н_1$ имеет объемный КПД ниже нормы; S_3 — $Н_2$ не развивает давление при нагружении; S_4 — $Н_2$ имеет объемный КПД ниже нормы; S_5 — перепад давления на $КО_1$ выше допустимого; S_6 — перепад давления на $КО_2$ выше допустимого; S_7 — $КП_1$ не поддерживает давление в системе; S_8 — $КП_2$ не поддерживает давление в системе; S_9 — $Р_1$ имеет объемный КПД ниже нормы; S_{10} — потери давления на $Р_1$ выше нормы; S_{11} — $Р_2$ имеет объемный КПД ниже нормы; S_{12} — потери давления на $Р_2$ выше нормы; S_{13} — утечки через $Др_1$ выше допустимых; S_{14} — распределитель $Р_3$ имеет объемный КПД ниже нормы; S_{15} — потери давления на $Р_3$ выше нормы; S_{16} — $Р_4$ имеет объемный КПД ниже нормы; S_{17} — потери давления на $Р_4$ выше нормы; S_{18} — $Р_5$ имеет объемный КПД ниже нормы; S_{19} — потери давления на $Р_5$ выше нормы; S_{20} — $КР_1$ не поддерживает заданное давление; S_{21} — $КО_3$ негерметичен; S_{22} — блок $КП_3$, $КП_4$ не поддерживает давление в системе вращения гидромотора; S_{23} — внутренние перетечки в $Ц_1$ выше допустимых; S_{24} — внутренние перетечки в $Ц_2$ выше допустимых; S_{25} — объемный КПД $М_1$ ниже нормы; S_{26} — механические потери (перепад давления на холостом ходу) в $М_1$ выше нормы; S_{27} — потери давления на $Ф_1$ выше нормы.

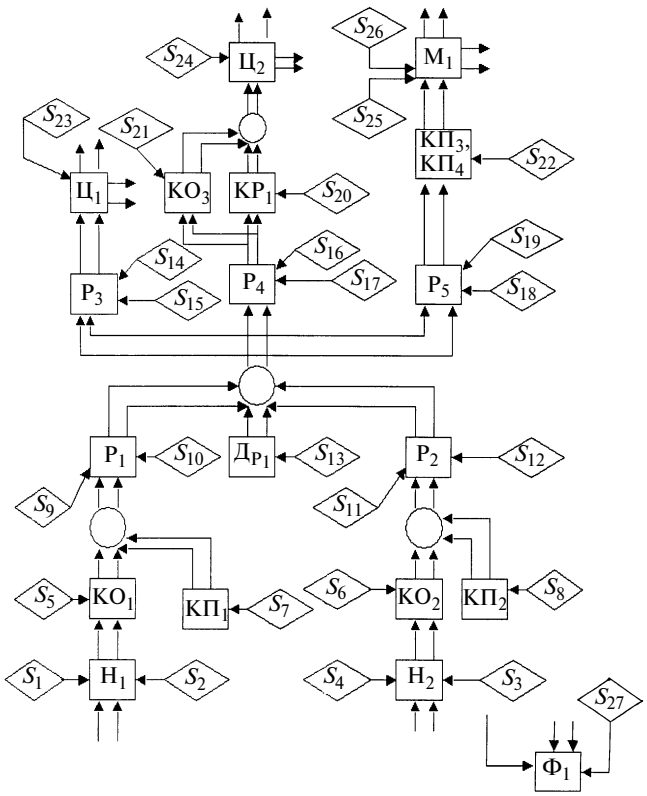


Рис. 3. Граф причинно-следственных связей в системе

Появление данных неисправностей приводит к отказу соответствующего элемента. Если допустить, что в какой-то момент времени в системе может появиться только один отказ, число возможных состояний системы будет равно числу неисправностей плюс единица (исправное состояние).

Так как комбинации значений параметров P и Q в соответствии с условиями (1)÷(4) могут иметь четыре варианта, то непосредственное применение методов составления теста и распознавания состояния, основанных на булевских матрицах [1] не представляется возможным. Поэтому будем строить тесты отдельно по каждой группе неисправностей:

к первой группе по условию (1) относятся неисправности S_1, S_3, S_7, S_8, S_{22};

ко второй группе по условию (2) относятся S_2, S_4, S_9, S_{11}, S_{13}, S_{14}, S_{16}, S_{21}, S_{23}, S_{24}, S_{25};

к третьей группе по условию (3) относятся S_5, S_6, S_{10}, S_{12}, S_{15}, S_{17}, S_{19}, S_{26}, S_{27};

к четвертой группе по условию (4) относится S_{20}.

Для определения влияния указанных неисправностей на параметры системы необходимо рассмотреть причинно-следственные связи между элементами системы, параметрами системы и неисправностями. Для этого представим систему в виде ориентированного графа (см. рис. 3), у которого вершины соответствуют элементам (квадраты), узловым точкам (окружности), неисправностям (ромбы) рассматриваемой системы, а соединительные линии — расходам и давлениям в системе (стрелками указано направление). Каждый элемент может находиться в некотором состоянии D_i ($D_i = 1$ — элемент исправен, $D_i = 0$ — элемент неисправен). Если $D_i = 0$, то элемент имеет некоторую неисправность S_j.

Запишем логические функции исправности (истинности) переменных, значения которых зависят от состояния элементов по каждой группе неисправностей

по первой группе [условие (1)]:

$$(Q_1;\ P_1) = (\omega_1;\ M_1)\ \&\ D_1;\ (Q_2;\ P_2) = (\omega_2;\ M_2)\ \&\ D_2;$$
$$(Q_3;\ P_3) = (Q_1;\ P_1);\ (Q_4;\ P_4) = (Q_2;\ P_2);$$
$$(Q_5;\ P_5) = D_5;\ (Q_6;\ P_6) = D_6;$$

$$(Q_7;\ P_7) = (Q_3;\ P_3)\ \&\ (Q_5;\ P_5);$$
$$(Q_8;\ P_8) = (Q_4;\ P_4)\ \&\ (Q_6;\ P_6);$$

$$(Q_9;\ P_9) = (Q_7;\ P_7);\ (Q_{10};\ P_{10}) = (Q_8;\ P_8);$$
$$(Q_{11};\ P_{11}) = D_{19};$$

$$(Q_{12};\ P_{12}) = (Q_9;\ P_9)\ \&\ (Q_{10};\ P_{10})\ \&\ (Q_{11};\ P_{11});$$

$$(Q_{13};\ P_{13}) = (Q_{12};\ P_{12});\ (Q_{14};\ P_{14}) = (Q_{12};\ P_{12});$$

$$(Q_{15};\ P_{15}) = (Q_{14};\ P_{14});\ (Q_{16};\ P_{16}) = (Q_{14};\ P_{14});$$

$$(Q_{17};\ P_{17}) = (Q_{15};\ P_{15})\ \&\ (Q_{16};\ P_{16}) = (Q_{14};\ P_{14});$$

$$(Q_{18};\ P_{18}) = (Q_{12};\ P_{12});\ (V_1;\ F_1) = (Q_{12};\ P_{12});$$

$$(Q_{19};\ P_{19}) = (Q_{18};\ P_{18})\ \&\ D_{14-15};$$

$$(Q_{20};\ P_{20}) = (Q_{13};\ P_{13});\ (Q_{21};\ P_{21}) = (Q_{17};\ P_{17});$$

$$(Q_{22};\ P_{22}) = (Q_{19};\ P_{19});\ (\omega_3;\ M_3) = (Q_{19};\ P_{19})$$

по второй группе [условие (2)]:

$$Q_1 = \omega_1\ \&\ D_1;\ Q_2 = \omega_2\ \&\ D_2;$$
$$Q_3 = Q_1;\ Q_4 = Q_2;\ Q_5 = D_5;\ Q_6 = D_6;$$

$$Q_7 = Q_3\ \&\ Q_5;\ Q_8 = Q_4\ \&\ Q_6;$$
$$Q_9 = Q_7\ \&\ D_7;\ Q_{10} = Q_8\ \&\ D_8;$$

$$Q_{11} = D_{19};\ Q_{12} = Q_9\ \&\ Q_{10}\ \&\ Q_{11};\ Q_{13} = Q_{12}\ \&\ D_9;$$

$$Q_{14} = Q_{12}\ \&\ D_{10};\ Q_{15} = Q_{14};\ Q_{16} = Q_{14};\ Q_{17} = Q_{16};$$

$$Q_{18} = Q_{12}\ \&\ D_{11};\ Q_{19} = Q_{18};\ (V_1;\ Q_{20}) = Q_{13}\ \&\ D_{16};$$

$$(V_2;\ Q_{21}) = Q_{17}\ \&\ D_{17};\ (\omega_3;\ Q_{22}) = Q_{19}\ \&\ D_{18};$$

по третьей группе [условие (3)]:

$$P_{20} = D_{20};\ P_{19} = P_{20}\ \&\ D_{18}\ \&\ M_3;\ P_{18} = P_{19};$$
$$P_{17} = P_{20}\ \&\ F_2;\ P_{13} = P_{20}\ \&\ F_1;\ P_{15} = P_{17};$$
$$P_{16} = P_{17};\ P_{14} = P_{16};$$

$$P_{12} = P_{13}\ \&\ P_{14}\ \&\ P_{18}\ \&\ D_9\ \&\ D_{10}\ \&\ D_{11};\ P_{11} = P_{12};$$
$$P_{10} = P_{12};\ P_9 = P_{12};\ P_7 = P_9\ \&\ D_7;$$

$$P_8 = P_{10}\ \&\ P_{12};\ P_5 = P_8;\ P_3 = P_7;\ P_4 = P_8;\ P_6 = P_8;$$
$$P_1 = P_3\ \&\ D_3;\ P_2 = P_4\ \&\ D_4;$$

по четвертой группе [условие (4)]:

$$P_{16} = P_{14}\ \&\ D_{12};\ P_{17} = P_{16}\ \&\ P_{15};\ F_2 = P_{17};$$

$$P_{14} = P_1\ \&\ P_2\ \&\ P_3\ \&\ P_4\ \&\ P_5\ \&\ P_6\ \&\ P_7\ \&$$
$$\&\ P_8\ \&\ P_9\ \&\ P_{10}\ \&\ P_{11}\ \&\ P_{12}.$$

По приведенным выше уравнениям составим диагностические матрицы для каждой группы неисправностей, у которых строки соответствуют всем возможным состояниям элементов, а столбцы — переменным расходам и давлениям, а также усилиям и скоростям. Для заполнения матрицы используем двоичный код (1; 0), присваивая логическим переменным D_i, характеризующим состояние элементов при неисправности S_j, значение 0. Если при этом значение переменной обращается в 0, то на пересечении строки S_j и столбца (P_i; Q_i) ставится 0, если нет — 1. Совокупность всех значений (P_i; Q_i) образует диагностический тест, достаточный для распознавания любой неисправности, так как все строки попарно различимы. Значение параметров (P_i; Q_i) определяется в предположении, что на i-м участке системы прикладывается нагрузка для всех групп неисправностей, кроме третьей [по условию (3)]. Конструктивно этот принцип может быть легко реализован с помощью гидротестера и разъемных муфт.

Полученный таким образом тест (совокупность параметров) в общем случае не является минимальным. Для минимизации тестов по коду (0; 1) наиболее подходящим является алгоритм Яблонского — Мак-Класки [3].

Кафедрой "Путевые, строительные машины и робототехнические комплексы" МИИТа разработаны программы для ПК, автоматически реализующие указанный алгоритм. Исходными данными являются логические уравнения по каждой группе неисправностей. Полученная в итоге совокупность параметров определит, очевидно, рациональный перечень, согласно которому должны быть оборудованы соответствующие участки гидросистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дедков В. К., Северцев Н. А.** Основные вопросы эксплуатации сложных систем. М.: Высшая школа, 1976. 406 с.
2. **Бердников В. В.** Прикладная теория гидравлических цепей. М.: Машиностроение, 1977. 192 с.
3. **Верзаков Г. Ф.** Введение в техническую диагностику. М.: Энергия, 1968. 224 с.
4. **Биргер И. А.** Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978. 240 с.

УДК 629.113:62-585.2

А. Н. НАРБУТ, д-р техн. наук, М. Ю. ИВАНОВ (ГТУ МАДИ)

Особенности характеристик двухпоточных передач с гидротрансформатором обратного хода

Проанализировано влияние различных параметров гидромеханических передач с внешним разветвлением потока мощности и гидротрансформатором обратного хода на выходные характеристики передачи.

Теория и анализ автомобильных и тракторных гидромеханических передач (ГМП) с внешним разветвлением силового потока в основном изложены в работе [1], в которой в качестве дифференциала рассматривался трехзвенный планетарный зубчатый механизм. Особенность выходных характеристик двухпоточных передач (ДП), входящих в ГМП, заключается в том, что часть мощности передается, минуя гидродинамическую передачу. Основная задача при расчете таких ДП состоит, как правило, в выборе схемы и передаточных чисел дифференциала при заданных характеристиках гидротрансформатора (ГДТ). В работе [2] предлагаются иные зависимости расчета ДП. В обобщенном виде уравнения для расчета ДП представлены в работах [3, 4].

В работах [1—3] системы уравнений были получены для ДП с внешним разветвлением потока мощности и ГДТ прямого хода (рис. 1, *а*). Публикаций по расчету и анализу схем ДП с ГДТ обратного хода, которые также имеют широкое практическое применение, не было. У ГДТ обратного хода максимальный КПД существенно ниже, чем у ГДТ прямого хода, но может превышать 40 % [5]. В работе [3] была доказана возможность получения высоких КПД двухпоточных передач даже при низких КПД гидротрансформатора прямого хода (около 50 %). Однако отмечалось, что при этом существенно снижается коэффициент трансформации момента. Для устранения этих недостатков ДП с ГДТ обратного хода в одну ветвь с ГДТ вводят дополнительный механический редуктор с целью увеличения выходного момента (рис. 1, *б*). Тогда обобщенная система уравнений [4] для расчета характеристик ДП имеет вид:

$$\begin{cases} (i_{ДП})^m = (i^*)^m\beta - \beta + 1; \\ (K_{ДП})^{-m} = (K^*)^{-m}\beta - \beta + 1; \\ \lambda_{ДП} = \lambda_н \dfrac{1}{\beta}\left(\dfrac{K^*}{(i^*)^2}\right)^n \left(\dfrac{(i_{ДП})^2}{K_{ДП}}\right)^n \left(\dfrac{K^*}{K_{ДП}}\right)^m; \\ \eta_{ДП} = K_{ДП} i_{ДП}, \end{cases} \qquad (1)$$

где $i^* = ii_{МР}$; $K^* = K/i_{МР}$; $i = \omega_т/\omega_н$ — передаточное отношение ГДТ; $i_{МР} = \omega_{2МР}/\omega_{1МР}$ — передаточное отношение механического редуктора; $i_{ДП}$ — передаточное отношение ДП; $K = M_т/M_н$ — коэффициент трансформации момента ГДТ; $K_{ДП}$ — коэффициент трансформации момента ДП; $\lambda_н = M_н/\rho\omega_н^2 D^5$ — коэффициент момента ведущего вала ГДТ; $\lambda_{ДП}$ — коэффициент момента ведущего вала ДП; $\eta = Ki$ — КПД гидротрансформатора; $\eta_{ДП}$ — КПД двухпоточной передачи.

Известно, что для трехзвенного планетарного механизма справедлива зависимость: $M_1{:}M_2{:}M_3 = 1{:}\alpha{:}-(1+\alpha)$, где α — параметр планетарного механизма (1—3 — номера валов), поэтому для заданной конструкции входящий в уравнения (1) параметр $\beta = M_\beta/M_B = \text{const}$ и не меняется с изменением режима работы ДП, так как это отношение моментов на двух валах дифференциала.

Значения параметров *m* и *n* приведены в таблице [4] с учетом $i_{МП}$ для четырех вариантов расположения валов двигателя (д), потребителя (п), насосного (н) и турбинного (т) колес ГДТ согласно обобщенной схеме (см. рис. 1).

В качестве примера можно привести ГМП Voith D851 фирмы "Фойт" (ФРГ), которую устанавливают на городские автобусы, где применен ГДТ обратного хода типа HPT. Данный ГДТ имеет осевую турбину, расположенную в центре рабочей полости. Здесь использовали центробежный насос и центростремительный реактор, причем на 2/3 наружный тор рабочей полости был образован неподвижным корпусом. По данным фирмы этот ГДТ имеет уникальную внешнюю характеристику (рис. 2): $\eta_{max} = 0{,}43$ при $0 \leqslant i \leqslant -4$. На первой передаче силовой поток разделяется в первом планетарном ряду. Силовые потоки суммируются во втором планетарном ряду. Вторая и третья передачи ГМП — механические, причем насос ГДТ оставлен фрикционным, что позволяет использовать ГДТ как эффективный гидродинамический тормоз на каждой из трех передач.

Для определения степени влияния различных параметров на выходные характеристики ДП рассмотрим ДП, аналогичную ДП ГМП Voith D851. Известно, что наиболее часто в автомобильных ГМП применяют пла-

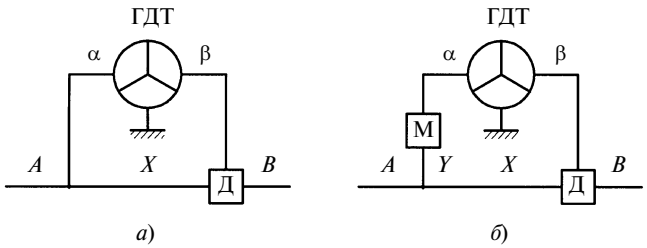


Рис. 1. Обобщенная схема ГМП с внешним разветвлением силового потока с ГДТ прямого (*а*) и обратного (*б*) ходов:
Д — дифференциал; М — механический редуктор

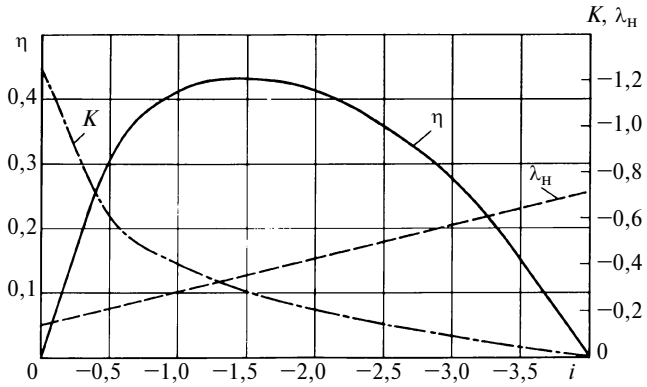


Рис. 2. Характеристики ГДТ Voith D851

Вариант	Расположение валов (см. рис. 1)				Значения параметров					
					m				n	
	A	B	a	β	$(i^*)^m$	$(i_{ДП})^m$	$(K^*)^m$	$(K_{ДП})^m$	$[K^*/(i^*)^2]^m$	$[(i_{ДП})^2/K_{ДП}]^n$
I	д	п	н	т	1	1	1	1	0	0
II	д	п	т	н	−1	1	−1	1	1	0
III	п	д	н	т	1	−1	1	−1	0	1
V	п	д	т	н	−1	−1	−1	−1	1	1

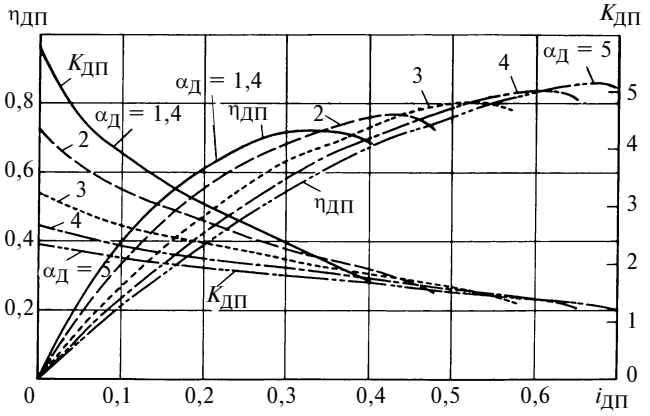


Рис. 3. Характеристики ДП при различных значениях $\alpha_Д$ дифференциала

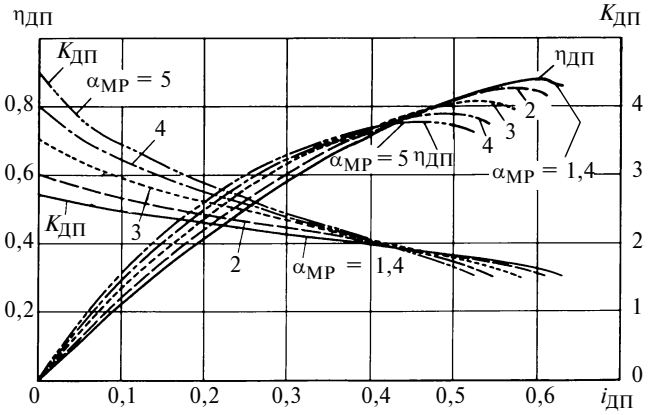


Рис. 4. Характеристики ДП при различных значениях $\alpha_{МР}$ механического редуктора

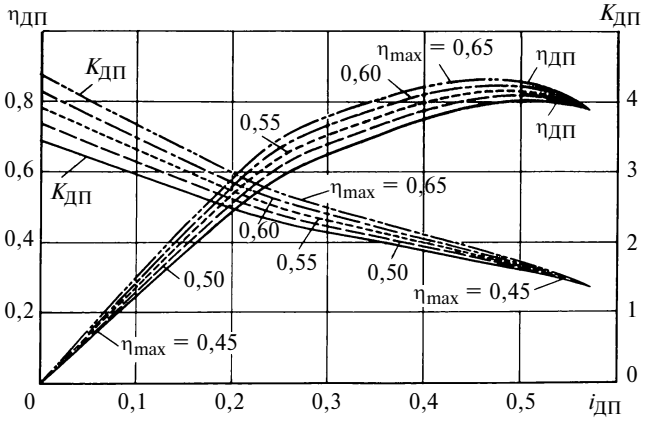


Рис. 5. Характеристики ДП при различных значениях η_{max}

нетарные передачи с параметром α от 1,4 до 5,0. С учетом этого, используя систему уравнений (1), были рассчитаны характеристики ГМП при различных значениях параметра $\alpha_Д$ (дифференциала) и $\alpha_{МР}$ (механического редуктора), а также при различных η_{max}.

Прежде всего были проведены расчеты и построены графики для $K_{ДП}$ и $\eta_{ДП}$ при различных значениях $\alpha_Д$ (рис. 3) и $\alpha_{МР} = 3{,}54$; $\eta_{max} = 3{,}54$ при $0 \leqslant i \leqslant -4$. Расчеты показали, что с увеличением $\alpha_Д$ увеличиваются значения $i_{ДП}$ и $\eta_{ДПmax}$, но при этом существенно снижается коэффициент трансформации момента (аналогично рассмотренным в работе [3] ДП с ГДТ прямого хода). Даже при $\eta_{max} < 0{,}5$ можно получить $\eta_{ДПmax} = 0{,}86$. Наиболее предпочтительными будут характеристики при значениях $\alpha_Д$ от 2 до 3, так как в этом случае $\eta_{ДПmax} > 0{,}75$; $K_{ДП0} > 3{,}2$.

Далее были проведены расчеты и построены графики для $K_{ДП}$ и $\eta_{ДП}$ при различных значениях $\alpha_{МР}$ (рис. 4) и $\alpha_Д = 2{,}78$, $\eta_{max} = 0{,}43$ при $0 \leqslant i \leqslant -4$. Согласно полученным данным с увеличением $\alpha_{МР}$ увеличивается $K_{ДП}$, причем в наибольшей степени $K_{ДП0}$. Однако в этом случае снижаются значения $i_{ДП}$ и $\eta_{ДПmax}$. Поэтому наиболее оптимальными являются значения $\alpha_{МР}$ от 3 до 4. При этих значениях $\eta_{ДПmax} > 0{,}75$; $K_{ДП0} > 3{,}2$; $i_{ДП} > 0{,}55$.

Были проведены расчеты и построены графики для $K_{ДП}$ и $\eta_{ДП}$ при $\alpha_Д = 2{,}78$, $\alpha_{МР} = 3{,}54$, и различных значениях η_{max} при $0 \leqslant i \leqslant -4$ (рис. 5). При расчетах использовались значения η_{max}: 0,45; 0,50; 0,55; 0,60; 0,65. Из полученных графиков можно сделать вывод, что параметр η_{max} не так существенно влияет на характеристики ДП, как параметры $\alpha_Д$ и $\alpha_{МР}$. Однако все же большим значениям η_{max} соответствуют большие значения $K_{ДП}$ и $\eta_{ДП}$, поэтому целесообразнее применять ГДТ с наибольшим η_{max}.

Анализ показал, что значительное влияние на $K_{ДП}$ и $\eta_{ДП}$ оказывает параметр $\alpha_Д$ дифференциала, при этом наиболее предпочтительны значения $\alpha_Д$ от 2 до 3. Параметр $\alpha_{МР}$ влияет главным образом на величину $K_{ДП0}$, наиболее оптимальными являются значения $\alpha_{МР}$ от 3 до 4. Кроме того, целесообразно применять ГДТ обратного хода с $\eta_{max} > 0{,}50$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Прокофьев В. Н.** Основы теории гидромеханических передач. М.: Машгиз, 1957. 421 с.
2. **Злотник М. И., Кондаков С. В.** Обобщенная схема двухпоточной гидромеханической передачи с простым планетарным рядом. ВИНИТИ, Деп. № 2887. 1984. 10 с.
3. **Нарбут Н. И.** О некоторых особенностях КПД двухпоточных передач с гидротрансформатором // Известия вузов. Машиностроение. 1989. № 6. С. 69—72.
4. **Нарбут Н. И.** Обобщенные схемы двухпоточных передач с внешним разветвлением силового потока // Совершенствование методов расчета приводов машин энергетических устройств: Сб. науч. тр. М.: МАДИ, 1987.
5. **Нарбут А. Н.** Гидротрансформаторы. М.: Машиностроение, 1966. 215 с.

УДК 629.7.036.5-543

В. И. БИРЮКОВ, канд. техн. наук (ГТУ МАИ)

Учет влияния обратных токов на рабочий процесс ЖРД, работающего на гидразине

В камере жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) обратные токи возникают вблизи огневого днища. Они представляют собой рециркуляционные потоки газа, состоящие из смеси паров топлива с конечными продуктами химических реакций. Небольшие обратные токи топлива могут возникать вокруг форсунок. Обратные токи значительных величин протекают вдоль огневого днища. Рециркуляционные потоки (зоны обратных токов) могут иметь большие размеры, в этом случае они осуществляют перенос значительной массы не прореагировавшего топлива. В зависимости от объема и интенсивности турбулентности газа, а также от состава смеси газа и ее температуры обратные токи могут оказывать как положительное, так и негативное влияние. Положительным фактором является интенсивное перемешивание капель топлива с горячим газом вблизи форсунок. Одновременно обратные токи могут вызывать нежелательный перегрев сопел форсунок, огневого днища и т. д. Одной из причин образования обратных токов является взаимодействие при впрыске топлива капель с газом. Обратные токи захватывают пары и мелкие капли топлива, обеспечивая интенсивное перемешивание различных фаз, инициируют химическую реакцию с выделением теплоты, осуществляют предварительную подготовку впрыскиваемого топлива и равномерный подвод теплоты вдоль камеры.

Расчеты показали, что вблизи головки в отсутствие обратных токов температура газов понижается до 700 К и менее. Это обусловливается большой теплоемкостью жидкой фазы топлива. Расчет выполняли для камер объемом 1 л при расходе 1 кг/с. Тепловыделение от разложения пара, захваченного обратными токами, приводит к монотонному росту температуры газа на начальном этапе, исключая так называемый "провал" температуры.

В работе [1] имеются ссылки на публикации, в которых рассматривается возникновение рециркуляционных зон в результате обмена количеством движения между впрыскиваемыми компонентами и продуктами горения. Получены зависимости параметров, описывающих процесс преобразования топлива, от конструктивных параметров форсуночной головки. Отмечается, что в настоящее время роль обратных токов изучена недостаточно, и делается предположение, что влияние обратных токов на динамику процесса горения в камере ЖРД значительно.

В камере ЖРД с термическим разложением гидразина вследствие захвата обратными токами части парообразного топлива низкой температуры скорости химических реакций могут быть невысокими. Это может приводить к релаксационным автоколебаниям, механизм которых для случая горения жидких капель топлива в потоке газообразного окислителя рассмотрен в работе [2]. М. С. Натанзон представил анализ одномерной модели с фиксированной длиной зоны рециркуляции, рассмотрел баланс массы и энергии на квазистационарном режиме для исходных и конечных продуктов реакции, находящихся в зоне обратных токов.

В настоящей работе предполагается, что обмен количеством движения жидкой и газовой фаз при впрыске топлива является причиной образования зон рециркуляции.

Выделим элементарный объем в камере ЖРД, который находится за сечением, отстоящим от огневого днища на расстоянии l, т. е. там, где заканчивается дробление факела или струи жидкости. Сечение элементарного цилиндра соответствует окружности, охватывающей одну форсунку. Смесительная головка представляет собой ряд трубок. Параметры газа и жидкости в элементарном объеме задаются средними величинами.

Уравнение сохранения массы для газовой и жидкой фазы топлива для камеры в целом имеет вид:

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + \nabla\cdot\rho\vec{u} = -\frac{\partial\Sigma(\vec{W}_{\text{к}}C_{\text{к}}m_{\text{к}})}{\partial t} - \\ - \nabla\cdot\Sigma(\vec{W}_{\text{к}}C_{\text{к}}m_{\text{к}}) \equiv \dot{m}_{\text{впр}(t)},$$

где $\dot{m}_{\text{впр}(t)}$ — расход топлива; ρ — плотность идеальной смеси газов; $\vec{u}$ — скорость идеальной смеси газов; $\vec{W}_{\text{к}}$ — скорость капель; $C_{\text{к}}$ — концентрация капель в единице объема; $m_{\text{к}}$ — масса капель.

Спектр капель представляется числом групп j от 1 до n с фиксированным размером капель: $\sum\limits_{j=1}^{n}(m_{\text{к}j}C_{\text{к}j}W_{\text{к}j})$. Для упрощения записи число групп опускаем.

Массовая концентрация смеси в любом сечении представляет собой сумму $\rho = \rho_{\text{п}} + \rho_{\text{г}}$, где $\rho_{\text{п}}$ — плотность пара; $\rho_{\text{г}}$ — плотность продуктов разложения.

Считая газ невязким, кроме случая обмена количеством движения, получим:

$$\frac{\partial\rho\vec{u}}{\partial t} + \nabla\cdot\rho\vec{u}\cdot\vec{u} + \nabla p = \\ = -\frac{\partial\Sigma(\vec{W}_{\text{к}}C_{\text{к}}m_{\text{к}})}{\partial t} - \nabla\cdot\Sigma[\vec{W}_{\text{к}}\cdot(\vec{W}_{\text{к}}C_{\text{к}}m_{\text{к}})].$$

Сила аэродинамического воздействия жидкости рассчитывается по формуле

$$\rho\frac{\partial\vec{u}}{\partial t} + \rho\vec{u}\cdot\nabla\vec{u} + \nabla p = \dot{m}_{\text{впр}(t)}(\Sigma\vec{W}_{\text{к}} - \vec{u}) - \\ \Sigma\left[(C_{\text{к}}m_{\text{к}})\frac{\partial\vec{W}_{\text{к}}}{\partial t}\right] - \Sigma(\vec{W}_{\text{к}}C_{\text{к}}m_{\text{к}})\cdot\nabla\vec{W}_{\text{к}} \equiv \vec{F}_{\text{ж}}. \qquad (1)$$

Тогда уравнение сохранения энергии с учетом фазового перехода и химических реакций будет иметь вид:

$$\frac{\partial\left[\rho\left(c_{\text{р}}T + \frac{1}{2}\vec{u}\cdot\vec{u}\right)\right]}{\partial t} + \nabla\cdot\left\{\left[\rho\left(c_{\text{р}}T + \frac{1}{2}\vec{u}\cdot\vec{u}\right)\right]\cdot\vec{u}\right\} +$$

$$+\frac{\partial\left\{\Sigma\left[C_{\text{к}}m_{\text{к}}\left(c_{\text{ж}}T_{\text{к}}+\frac{1}{2}\vec{W}_{\text{к}}\cdot\vec{W}_{\text{к}}\right)\right]\right\}}{\partial t}+$$

$$+\nabla\cdot\Sigma\left\{\left[C_{\text{к}}m_{\text{к}}\left(c_{\text{ж}}T_{\text{к}}+\frac{1}{2}\vec{W}_{\text{к}}\cdot\vec{W}_{\text{к}}\right)\right]\cdot\vec{W}_{\text{к}}\right\}+\nabla\cdot p\vec{u}=E,$$

где $T_{\text{к}}$ — температура капель; T — температура смеси газов; $c_{\text{р}}$ — теплоемкость при постоянном давлении.

Обозначим энтальпию идеальной смеси газов $J^* = c_{\text{р}}T + \frac{1}{2}\vec{u}\cdot\vec{u}$, а полную энтальпию с учетом давления торможения — $H = J^* + p/\rho$. Тогда изменение энергии двухфазного потока в единице объема вследствие химических реакций, фазового перехода и обмена количеством движения будет иметь вид:

$$\rho\frac{\partial H}{\partial t}+\rho\vec{u}\cdot\nabla H-\frac{\partial p}{\partial t}=$$

$$=E-\Sigma C_{\text{к}}m_{\text{к}}\frac{\partial\left\{[c_{\text{рж}}(T_{\text{к}}-T_{\text{к}0})+h_{\text{исп}}]+\frac{1}{2}\vec{W}_{\text{к}}\cdot\vec{W}_{\text{к}}\right\}}{\partial t}-$$

$$-\Sigma C_{\text{к}}m_{\text{к}}\vec{W}_{\text{к}}\cdot\nabla\Sigma\left\{[c_{\text{рж}}(T_{\text{к}}-T_{\text{к}0})+h_{\text{исп}}]+\right.$$

$$\left.+\frac{1}{2}\vec{W}_{\text{к}}\cdot\vec{W}_{\text{к}}\right\}+\dot{m}_{\text{газ}(t)}\left(\Sigma\left\{[c_{\text{рж}}(T_{\text{к}}-T_{\text{к}0})+h_{\text{исп}}]+\right.\right.$$

$$\left.\left.+\frac{1}{2}\vec{W}_{\text{к}}\cdot\vec{W}_{\text{к}}\right\}-H\right)\equiv\Delta L.$$

Изменение температуры капель на участке, где происходит дробление, пренебрежимо мало. Скорости газа и капель по сравнению со скоростью звука в газе также невелики. В этом случае составляющими, которые учитывают изменение энергии в жидкой фазе, можно пренебречь:

$$\Delta L\approx E+\dot{m}_{\text{газ}(t)}\left\{\Sigma\left\{[c_{\text{рж}}(T_{\text{к}}-T_{\text{к}0})+h_{\text{исп}}]+\right.\right.$$

$$\left.\left.+\frac{1}{2}\vec{W}_{\text{к}}\cdot\vec{W}_{\text{к}}\right\}-H\right\}.$$

Поскольку все члены, учитывающие вязкость и теплопроводность, малы, то следует ожидать, что приращения энтропии и вихреобразования, зависящие от теплопроводности и вязкости, несущественны. Отсюда следует, что возникновение вихрей обусловливают процессы, связанные с обменом количеством движения и энергией между разными фазами топлива. Вязкость и теплопроводность учитываются косвенно через эмпирические коэффициенты, входящие в уравнения сил торможения группы капель и газообразования. Энтропия газа изменяется вследствие приращения энергии при разложении топлива, его фазовом переходе и при работе расширения.

В основном рост энтропии σ обусловлен химическими реакциями:

$$\rho T\left(\frac{\partial\sigma}{\partial t}+\vec{u}\cdot\nabla\sigma\right)=\Delta L-\vec{u}\cdot\vec{F}_{\text{ж}}.$$

Разделив все члены уравнения на плотность смеси газов, выразим ротор для уравнения (1):

$$\frac{\partial\vec{\zeta}}{\partial t}+\vec{u}\cdot\nabla\vec{\zeta}-\vec{\zeta}\cdot\nabla\vec{u}+\vec{\zeta}(\nabla\cdot\vec{u})+\nabla\frac{1}{\rho}\cdot\nabla p=\nabla\cdot\frac{\vec{F}_{\text{ж}}}{\rho},$$

где $\vec{\zeta}$ — напряженность вихря, определяется ротором скорости $\vec{u}$.

Условие $\vec{F}_{\text{ж}}\neq 0$ означает, что существует завихренность, так как $\frac{\partial\vec{\zeta}}{\partial t}+\vec{u}\cdot\nabla\vec{\zeta}\neq 0$.

Для низкочастотных колебаний длина волны много больше зоны разложения. В этом случае модель можно существенно упростить.

Рассмотрим одномерную симметричную по сечению камеры картину переноса неравновесной смеси паров с газом к огневому днищу [2].

В сечении камеры сгорания, отстоящем от огневого днища на расстоянии l, т. е. там, где заканчивается распад факела или струи жидкости, выделим элементарный объем элементарной длины и всей площади сечения камеры. С левой стороны этого объема на газ действует жидкая фаза топлива в виде потока капель, движущихся со скоростью $W_{\text{к}}$. Момент количества движения жидкой фазы равен $\Sigma(\vec{W}_{\text{к}}C_{\text{к}}m_{\text{к}})$. Скорость капель топлива уменьшается вследствие аэродинамического взаимодействия с газовой фазой. Произведение сил сопротивления капель (одинаковой массы) на их концентрацию ($F_{\text{к}} = \Sigma f_{\text{к}}C_{\text{к}}$) и определяет обмен количеством движения. Смесь пара с продуктами разложения при совершении работы сжатия устремляется в сторону огневого днища выделенного объема. Площадь контакта можно представить как сумму площадей $S_{\text{к}}$ сечений капель, находящихся в рассматриваемом объеме, а проходное сечение газа — как разницу сечения S цилиндрического канала и площади $S_{\text{к}}$ контакта.

Для стационарного режима изменения расходов пара (по массе) и продуктов разложения могут быть представлены уравнениями:

$$d(\rho_{\text{п}}u)/dx=\sum_{j=1}^{m}(\dot{m}_{\text{исп}}C_{\text{к}})_j=\dot{m}_{\text{газ}};\qquad(2)$$

$$d(\rho_{\text{г}}u)/dx=\dot{m}_{\text{хим. р}},\qquad(3)$$

где $\dot{m}_{\text{хим. р}}$ — скорость химических реакций; $\dot{m}_{\text{исп}}$ — скорость испарения одиночной капли при термическом разложении гидразина, определяется по методике работы [3]. Скорость химической реакции первого порядка $\dot{m}_{\text{хим. р}} = k\rho_{\text{п}}T^{0,5}e^{-[-Ea/RT]}$, здесь k — константа; Ea — энергия активации для термического разложения гидразина [4].

Концентрация паров топлива вдоль начального участка камеры определяется скоростью его газификации: $\varphi(x) = \dot{m}_{\text{газ}(x)}/\dot{m}_{\text{впр}(x)}$.

Баланс массы для стационарного режима с учетом уравнений (2) и (3) имеет вид:

$$\frac{d\rho u}{dx}=\frac{d}{dx}[\Sigma(W_{\text{к}}C_{\text{к}}m_{\text{к}})]=\dot{m}_{\text{впр}}.$$

Расход жидкой фазы представляется как:

$$\dot{m}_{\text{впр}} = \sum_{j=1}^{n} (m_{\text{к}j} C_{\text{к}j} W_{\text{к}j}).$$

Скорость $u_{\text{обр}}$ обратного тока смеси пара и продуктов разложения определяется перепадом давления от сжатия газа из-за торможения жидкой фазы в рассматриваемом объеме:

$$u_{\text{обр}} = \left\{ \sum_{j=1}^{m} (f_{\text{к}} C_{\text{к}})_j / [\rho(S - S_{\text{к}})] \right\}^{0,5},$$

где $f_{\text{к}j}$ — сила аэродинамического сопротивления одиночной капли j-й группы.

Массовый расход паров топлива в направлении огневого днища $\dot{m}_{\text{обр.м.п.}} = \rho_{\text{п}} u_{\text{обр}}(S - S_{\text{к}})$.

Суммарный тепловой эффект $q_{\text{тв}}$ химических реакций при термическом разложении гидразина определяется из выражения [5]:

$$3N_2H_4 \rightarrow 4(1 - x_{NH_3})NH_3 + (1 + 2x_{NH_3})N_2 + \\ + 6x_{NH_3} H_2 + q_{\text{тв}},$$

где x_{NH_3} — степень диссоциации аммиака. При термическом разложении гидразина $x_{NH_3} \approx 0,25$.

Будем рассматривать баланс теплоты в ограниченном объеме зоны обратных токов (на длине l), как разницу между теплотой, выделенной при разложении пара, и теплотой, унесенной потоком газа, движущегося со скоростью u.

Расчет стационарного режима перетекания газа с постоянной скоростью $u_{\text{обр}}$ движения, обусловленной обменом количеством движения капель одинакового размера (средний диаметр $d_{\text{ср}} = 80$ мкм), определяет поправку в уравнении сохранения количества теплоты в начале камеры сгорания, которая равна ≈ 12 % от общего тепловыделения.

На рис. 1 приведены зависимости изменения температур газовой ($T_{\text{г}}$) и жидкой ($T_{\text{ж}}$) фаз топлива на начальном участке камеры ЖРД от параметра l с учетом и без учета обратных токов. Ниже приведены параметры

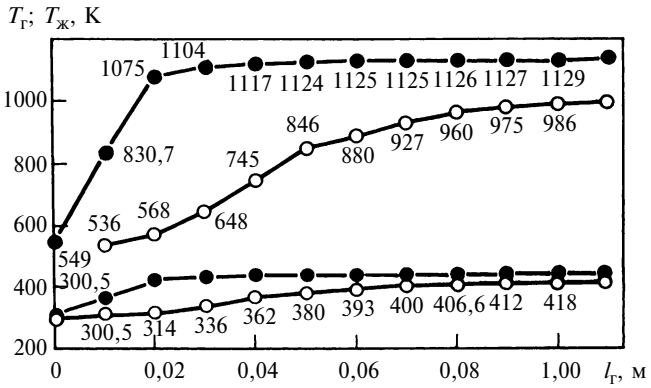


Рис. 1. Зависимости изменения температур газовой $T_{\text{г}}$ и жидкой $T_{\text{ж}}$ фаз топлива на начальном участке камеры ЖРД от параметра $l_{\text{г}}$ с учетом (--●--) и без учета (--o--) обратных токов

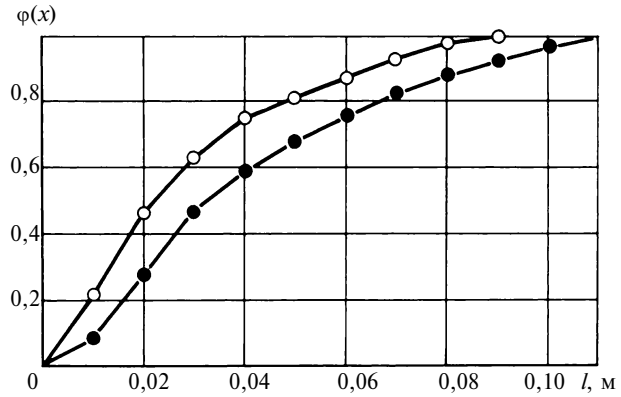


Рис. 2. Зависимости изменения относительной скорости φ(x) газификации от параметра $l_{\text{г}}$ с учетом (--●--) и без учета (--o--) обратных токов

камеры ЖРД и расчетные значения режимных параметров:

Длина камеры, м	0,2
Диаметр камеры, м	0,1
Диаметр критического сечения, м	0,019
Давление в камере $p_{\text{к}}$, МПа	32,94
Перепад давления на форсунках $\Delta p_{\text{ф}}$, МПа	0,5
Расход топлива $\dot{m}$, кг/с	0,7171
Расходный комплекс камеры β, м/с	1302
Среднее значение плотности газа в камере $\rho_{\text{г}}$, кг/м^3	5,4
Максимальное значение температуры газа в камере $T_{\text{г}}$, К	1132
Начальное значение температуры капель $T_{\text{к}0}$	288
Газовая постоянная для продуктов разложения $R_{\text{пс}}$, Дж/(кг · К)	625,68
Радиус капель $r_{\text{к}}$, мкм	40÷76,5
Длина зоны разложения l, м	0,1168
Стационарное время преобразования τ, с	0,0066
Расчетное значение времени дробления $\tau_{\text{др}}$, с	$0,7712 \cdot 10^{-04}$

На рис. 2 представлены зависимости изменения относительной скорости газификации (отношение количества газовой фазы топлива при газообразовании к количеству топлива при впрыске) в камере ЖРД от параметра $l_{\text{г}}$ с учетом и без учета обратных токов. Анализ полученных зависимостей показал, что в зоне огневого днища вследствие возникновения обратных токов не прореагировавших паров топлива происходит дополнительный подвод теплоты от зоны горения к форсуночной головке, величина переноса теплоты может составлять 10÷15 % от общего тепловыделения. Учет обратных токов при расчете рабочих процессов в ЖРД позволяет уточнить их характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Неустойчивость** горения в ЖРД / Под ред. Д. Е. Харрье, Ф. Г. Ридона. М.: Мир, 1975. 869 с.
2. **Натанзон М. С.** Неустойчивость горения. М.: Машиностроение, 1986. 248 с.
3. **Бирюков В. И.** Особенности низкочастотной внутрикамерной неустойчивости рабочего процесса в регулируемых ЖРД на гидразине. Дисс. ... канд. техн. наук. М.: МАИ, 1985. 204 с.
4. **Кондратьев В. Н.** Константы скоростей газофазных реакций: Справочник. М.: Наука, 1970. 351 с.
5. **Бирюков В. И.** Особенности рабочего процесса многорежимных двигательных установок с термическим разложением гидразина // Вестник МАИ. 2006. № 2. Т. 13. М: МАИ. С. 41—47.

УДК 539.4:620.16

А. Н. САВКИН, канд. техн. наук (Волгоградский ГТУ)

Оценка долговечности материала при нерегулярном нагружении с пиковыми перегрузками

Предложен метод определения предельного состояния материала от величины и продолжительности кратковременной циклической перегрузки путем суммирования повреждений по различным моделям, наилучшей из которых является нелинейная модель суммирования.

Анализ эксплуатационных нагрузок показывает, что большинство механизмов на неустановившихся режимах работы могут испытывать большие перегрузки. Это, как правило, связано с моментами их включения и выключения. Такие нагрузки отличаются от продолжительно действующих нагрузок значительной величиной и кратковременностью действия и называются пиковыми.

Так, в работе [1], в которой исследуется нагруженность деталей и механизмов металлургического оборудования, показано, что при эксплуатации динамические нагрузки могут в 4 раза превышать номинальные. Однако вероятность реализации нагрузки такого значения весьма мала и составляет доли процента.

Исследования нагруженности машинотракторного парка [2] показали, что наиболее тяжелыми переходными режимами работы являются режимы трогания и разгона трактора. В этом случае в трансмиссии возникают пиковые нагрузки, которые могут превышать номинальные в 3,5 раза. Продолжительность же пиковых нагрузок составляет 0,17÷0,3 % всего срока службы машины. Пиковые перегрузки учитываются в основном в проверочных расчетах на статическую прочность и малоцикловую выносливость системы. В проектировочных и сравнительных расчетах на долговечность они во внимание не принимаются.

Наличие пиковых нагрузок при эксплуатации может стать причиной снижения срока службы машин [1, 3, 4], но при определенных условиях, в зависимости от величины и продолжительности их действия, они могут оказывать и положительное влияние на систему [5]. Поэтому необходим расчетно-экспериментальный метод оценки долговечности механизмов при их нерегулярном нагружении.

Используем сравнительный анализ для оценки влияния величины и продолжительности действия нагрузок, превышающих номинальные значения, на состояние материала по различным моделям суммирования усталостных повреждений.

На рис. 1 показан график нагружения материала (сталь марки St 37 соответствует стали 40), аппроксимирующий нерегулярные блоковые нагрузки и являющийся нормальным распределением случайного внешнего силового воздействия. При расчете использовали следующие значения показателей [6]: предел выносливости σ_{-1} = 58 МПа; коэффициент наклона кривой выносливости m = 4,34; долговечность $N = 2 \cdot 10^6$ циклов, соответствует пределу выносливости; коэффициент вариации рассеяния значений предела выносливости $\nu_{\sigma_{-1}} = 0{,}1$; пиковое значение амплитуды нагружения $\sigma_{a\text{пр}}$ = 150 МПа; максимальная нагруженность блока $\sigma_{\max}$ = 100 МПа; коэффициент вариации нагруженности $\nu_{\sigma_a} = 0{,}1$.

Блоковое нагружение формировалось в соответствие с ГОСТ 25.507—85, общая продолжительность $\nu_б$ блока нагружения равнялась 10^6 циклам. Продолжительность действия пиковых нагрузок от 0,001 до 0,1 % от числа циклов в блоке нагружения [1]. Поэтому продолжительность $\nu_{\text{пр}}$ перегрузочной ступени установили в пределах 0,0001÷0,5 % от блока нагружения ($\nu_б$), т. е. от 1 до 5000 циклов.

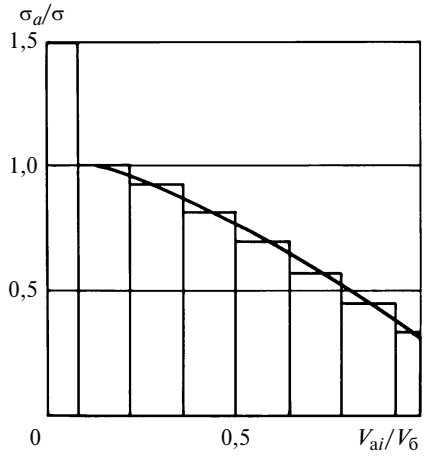


Рис. 1. Диаграмма блокового нагружения, аппроксимирующая нормальное распределение с перегрузочной ступенью нагружения

Распределения суммарной долговечности N_Σ материала рассчитывали по следующим моделям суммирования усталостных повреждений.

Линейная модель:

$$D_л = \sum_{j=1}^{\lambda} \sum_{i=1}^{r} \bar{n}_i = 1, \qquad (1)$$

где i — число ступеней нагружения (при этом ступени, в которых $\sigma_{ai} \leqslant \sigma_{-1}$, отбрасывали); j — число блоков нагружения до разрушения. Повреждение определяли по моменту зарождения трещины.

Скорректированная линейная модель Серенсена—Когаева [7]:

$$D_{\text{кор}} = \sum_{j=1}^{\lambda} \sum_{i=1}^{r^*} \bar{n}_i = a_р; \qquad (2)$$

где $a_р = \dfrac{\sigma_{a\text{пр}} \sum_{i=1}^{r^*} \dfrac{\sigma_{ai}}{\sigma_{a\text{пр}}} \dfrac{\nu_{ai}}{\nu_б} - k\sigma_{-1}}{\sigma_{a\text{пр}} - k\sigma_{-1}}$; r, r^* — число ступеней в блоках нагружения соответственно с продолжительностью $\nu_б$ и $\nu_б^*$; $\nu_б^*$ — продолжительность блоков нагружения, в которых $\sigma_{ai} \leqslant k\sigma_{-1}$ (k = 0,5 — коэффициент, определяющий степень снижения предела выносливости).

Нелинейная модель, в которой учитывали последовательность приложения нагрузок [8] и накопление повреждений, соответствовала моменту разрушения:

$$D_н = \sum_{j=1}^{\lambda} \left\{ \left[\left(\bar{n}_1^{\alpha_1} + \bar{n}_2 \right)^{\alpha_2} + \bar{n}_3 \right]^{\alpha_3} + \ldots \bar{n}_{r^*} \right\}^{\alpha_{r^*}} = 1. \qquad (3)$$

Здесь α_i — коэффициент влияния истории нагружения и наследственных свойств на повреждение металла, зависит от соотношения двух следующих друг за другом амплитуд напряжений и для i-й ступени нагружения определяется по формуле

$$\alpha_i = \frac{\dfrac{\sigma_{ai+1}}{k\sigma_{-1}} - 1}{\dfrac{\sigma_{ai}}{k\sigma_{-1}} - 1} \left(\frac{\sigma_{ai+1}}{\sigma_{ai}} \right)^{\beta}, \qquad (4)$$

где β — структурно-чувствительный параметр материала, характеризующий его наследственные свойства, связанные с развитием неупругих свойств материала при стационарном и нестационарном нагружении [5].

Для определения функции распределения долговечности материала с учетом

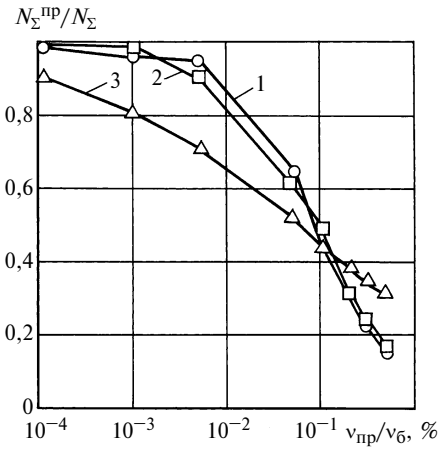


Рис. 2. Зависимости относительной суммарной долговечности $N_\Sigma^{пр}/N_\Sigma$ материала в зависимости от относительной продолжительности $\nu_{пр}/\nu_б$ перегрузочной ступени в блоке нагружения для различных моделей суммирования повреждений: линейной (*1*), скорректированной линейной Серенсена—Когаева (*2*) и нелинейной (*3*)

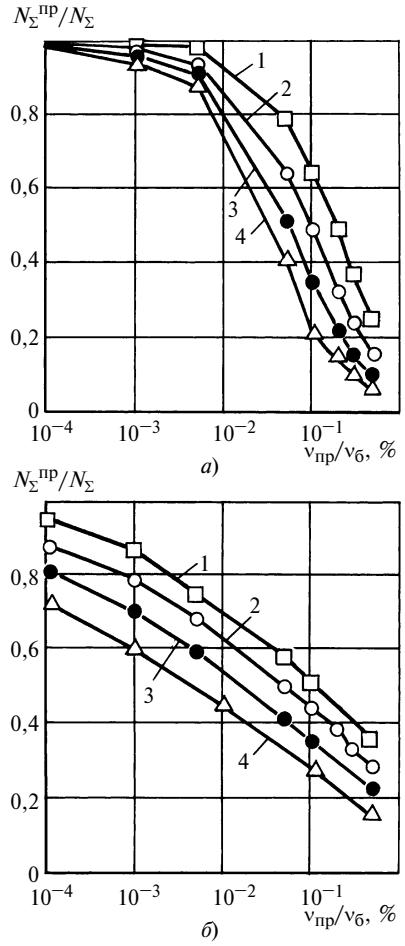


Рис. 3. Зависимости относительного снижения суммарной долговечности $N_\Sigma^{пр}/N_\Sigma$ материала в зависимости от продолжительности $\nu_{пр}/\nu_б$ перегрузочной ступени нагружения для линейной (*а*) и нелинейной (*б*) моделей суммирования повреждений при величине нагрузки $\sigma_{пр}/\sigma_{a\max}$ = 1,25 (*1*); 1,5 (*2*); 1,75 (*3*); 2,0 (*4*)

вероятности его разрушения рассчитывают относительные уровни $n_р$ нагруженности. Для каждого значения $n_р$ вычисляют коэффициенты $n = \sigma_{aпр}/\sigma_{-1}$ и $\tilde{n} = n_р/n$, на основании которых определяется квантиль нормального распределения $u_р = \dfrac{1-\tilde{n}}{\sqrt{\tilde{n}^2\nu_{\sigma_{-1}}^2 + \nu_{\sigma_a}^2}}$, соответствующий вероятности P разрушения.

По функциям распределения долговечности находят суммарную долговечность, которая соответствует 50 % вероятности до наступления предельного состояния материала.

На рис. 2 приведены зависимости относительной суммарной долговечности материала от относительной продолжительности перегрузочной ступени в блоке нагружения для различных моделей суммирования повреждений для режима перегрузки $\sigma_{пр}/\sigma_{a\max}$ = 1,5. Зависимости суммарной долговечности для линейной и скорректированной линейной моделей суммирования повреждений близки, так как в основе лежит линейный принцип суммирования повреждений, не зависящий от последовательности приложения нагрузок. Влияние порядка нагружения, заложенного в скорректированной линейной модели [9], незначительно в связи с непродолжительностью перегрузок (не более 0,5 % от продолжительности нагружения).

Имеет место зона нечувствительности материала к перегрузке (снижение долговечности материала до 10 %), которая соответствует $\nu_{пр}/\nu_б$ = 0,008÷0,01 %.

Снижение значения суммарной долговечности от относительной продолжительности $\nu_{пр}/\nu_б$ для нелинейной модели более значительно. Интенсивность снижения долговечности здесь близка к экспоненциальной зависимости. Отметим, что в зависимости от последовательности нагружения, обусловленной коэффициентом α_i в уравнении (3), долговечность материала может уменьшаться на 60÷70 % от номинальной.

Влияние величины перегрузки на долговечность материала для линейной и нелинейной моделей суммирования повреждений показано на рис. 3. Для линейной модели суммирования (см. рис. 3, *а*) рост перегрузки интенсифицирует процесс повреждения. Зона нечувствительности к перегрузочному режиму сохраняется до $1 \cdot 10^{-2}\,\nu_{пр}/\nu_б$. Для нелинейной модели суммирования усталостных повреждений изменение величины перегрузки даже при $\nu_{пр}/\nu_б = 1 \cdot 10^{-4}$ % приводит к значительному изменению суммарной долговечности.

Полученные расчеты были подтверждены экспериментальными данными. Для линейной модели суммирования значения долговечности несколько ниже экспериментальных данных, причем при большой долговечности до разрушения разброс увеличивается. Для нелинейной модели в уравнении (4) было принято значение структурно-чувствительного параметра β = 2,0. Анализ показал, что расчетные значения долговечности чуть меньше экспериментальных данных [3]. Кроме того, степень влияния величины и продолжительности действия перегрузочной ступени на долговечность материала во многом зависит и от механических свойств материала, в частности от его демпфирующей способности, а также от особенностей конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Коновалов Л. В.** Нагруженность, усталость, надежность деталей металлургических машин. М.: Металлургия, 1981. 280 с.

2. **Доброхлебов А. П.** Исследование нагруженности тракторных трансмиссий на различных сельхозработах // Тр. отраслевой научно-техн. конф. по повышению надежности тракторов и самоходных шасси, их агрегатов и узлов. Ч. II. М.: ОНТИ-НАТИ, 1966. С. 106—120.

3. **Вандышев В. П.** Накопление усталостных повреждений стали 45 при действие "пиковых" нагрузок // Машиноведение. № 6. 1966. С. 97—101.

4. **Коновалов Л. В.** Суммирование усталостных повреждений при спектре с "пиковыми" перегрузками // Машиноведение. № 4. 1969. С. 74—85.

5. **Гурьев А. В., Савкин А. Н.** О влиянии кратковременных циклических перегрузок на усталостную прочность и демпфирующую способность углеродистых сталей // Проблемы прочности. 1978. № 5. С. 112—119.

6. **Gaβner E., Griese F., Haibach E.**: Arch. Eisenhüttenwesen 35. 1964. S. 255—267.

7. **Когаев В. П.** Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. М.: Машиностроение, 1977. 232 с.

8. **Багмутов В. П., Савкин А. Н.** Моделирование усталостных повреждений углеродистых сталей при нестационарном нагружении // Деформация и разрушение материалов. 2006. № 9. С. 33—38.

9. **Багмутов В. П., Савкин А. Н.** Оценка долговечности стали на основании нелинейной модели накопления повреждаемости // Сб. "Механическая усталость-2006": Материалы междунар. науч. конф. MFM-2006. Тернополь: Тернопольский ГТУ, 2006. С. 380—385.

Цикл статей
"Проблемы трибологии — трения, изнашивания и смазки"
(под общей редакцией академика Российской академии космонавтики и Российской инженерной академии, д-ра техн. наук Ю. Н. Дроздова)

УДК 539.62:621.921.34

А. П. СЕМЕНОВ, д-р техн. наук (ИМАШ им. А. А. Благонравова РАН)

Трибология материалов на основе углерода

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния температуры, газовой среды, вида контактирования и методики испытания на триботехнические свойства материалов на основе углерода.

Введение. Наиболее стабильной в обычных условиях кристаллической модификацией углерода является графит. Природный графит с древнейших времен применяется в качестве твердой смазки в сопряжениях, работающих с трением. С развитием машиностроения и методов обработки металлов давлением (особенно в горячем состоянии графит стали применять как в виде твердых смазок и компактных антифрикционных (а затем и фрикционных) материалов, так и в виде добавок к машиностроительным маслам и пластичным смазочным материалам.

Высокие антифрикционные свойства графита в обычных (земных) условиях в значительной мере определяются его слоистой кристаллической структурой [1, 2]. В плоскости базиса (0001) гексагонально расположенные атомы углерода соединены прочными ковалентными связями, характерными для другой кристаллической модификации углерода — алмаза. Длина связи между атомами в плоскостях, расположенных под углом 120°, равна 0,1415 нм, расстояние между плоскостями — 0,3356 нм. Слабая связь между плоскостями осуществляется так называемыми π-электронами.

Долгое время высокие антифрикционные свойства графита объясняли только его кристаллическим строением. Считалось, что плотно упакованные плоскости графита при трении легко скользят относительно друг друга, ориентируясь вдоль поверхностей скольжения. Развитие высотной авиации опровергло это установившееся мнение. Графитовые щетки электродвигателей на больших высотах теряли антифрикционные свойства и начинали интенсивно изнашиваться [3]. Было установлено, что это ухудшение свойств связано с потерей в разреженном воздухе адсорбированных молекул воды. По этой же причине при температуре выше 200÷300 °С графит в значительной мере теряет антифрикционные свойства и при обычном атмосферном давлении. В дальнейшем было установлено, что антифрикционные свойства графита могут проявляться и при адсорбции других веществ [4—10].

Существенную роль в придании графиту антифрикционных свойств кроме адсорбированных веществ играют интеркалированные вещества [11]. Это наиболее ярко проявилось при высокотемпературных испытаниях углеграфитовых материалов в вакууме. При нагревании в диапазоне температур, при которых происходило интенсивное удаление содержавшихся в материале интеркалированных веществ, значения коэффициента трения резко снижались практически до нуля [12]. После полной дегазации графитовых материалов путем предварительного прокаливания в вакууме при температуре 1500 °С значения коэффициента трения возрастают (до 0,7÷0,8 при нормальной температуре) при резком увеличении интенсивности изнашивания. Лишь при температуре выше 1000 °С скольжение становилось плавным при умеренных значениях коэффициента трения. Возможной причиной этого является ослабление связи между плотно-упакованными плоскостями кристаллитов графита при высокой температуре. При повышении температуры подобное поведение является характерным для большинства графитовых и углеграфитовых антифрикционных материалов не только в вакууме, но и в инертных относительно углерода газах (аргоне, гелии, азоте) [13—16].

Графитовые антифрикционные материалы. В нашей стране для удовлетворения потребностей интенсивно развивающейся промышленности были разработаны антифрикционные материалы на основе углерода: графитизированные (АГ-600, АГ-1500) и обожженные (АО-600, АО-1500) [17—19]. Эти антифрикционные материалы получают из нефтяного кокса с добавлением природного графита, а иногда из пекового кокса, сажи и антрацита в различных соотношениях. Для получения антифрикционных обожженных (АО) материалов спрессованные заготовки обжигают в восстановительной атмосфере (обычно в газовых печах) при 1000÷1500 °С. В процессе обжига происходит коксование исходного сырья. Антифрикционные графитизированные (АГ) материалы получают при вторичной термической обработке (графитизации) обожженных твердых материалов в электропечах при температуре 2000÷2500 °С. Исходные углеродные материалы рекристаллизируются, образуя графитовую структуру, совершенство которой зависит от температуры и длительности термической обработки, а также от свойств исходного сырья.

Получаемые таким образом материалы — пористые. Для повышения антифрикционных и прочностных свойств их пропитывают полимерами (фенолформальдегидной смолой, политетрафторэтиленом и др.) и металлами (баббитом, свинцом, свинцовой бронзой). Для

повышения рабочих температур в оксидной среде, по-видимому, целесообразно графитовые материалы пропитывать благородными металлами (серебром, золотом, платиной).

Разработано также много углеродных (графитовых) материалов, которые кроме упомянутых выше компонентов содержат гексагональный нитрид бора, ультрафосфаты и др. [2, 18]. Довольно широкое применение находят композиционные силицированные графитовые материалы, получаемые пропиткой пористого графитового материала кремнием. Состоят такие многофазные материалы из графита, кремния и образующегося при высоких температурах карбида кремния [2, 19]. Эти материалы, в частности, нашли применение в уплотнениях, работающих в жидких средах (на водяной основе и др.). В качестве фрикционных (и антифрикционных) применяют материалы из углеродных волокон и тканей в углеродной матрице [1, 2, 20].

Для триботехники представляют интерес и другие модификации углерода: углеситаллы, пирографит, стеклоуглерод и др. Пока только научный интерес для триботехники представляют открытые сравнительно недавно модификации углерода: фулерены и нанотрубки [21, 22].

Практически все современные антифрикционные и конструкционные углеродные материалы представляют собой графитоподобные (графитовые) формы углерода, отличающиеся фазовым составом, текстурой и степенью совершенства поликристаллической структуры [1].

Испытания антифрикционных графитовых материалов при высоких температурах в вакууме. В связи с развитием космических исследований и технологий, осуществляемых в вакууме, значительный интерес представляют триботехнические свойства графитовых материалов при высоких температурах в вакууме и газовых средах. В выполненных по разным методикам в нашей стране и за рубежом исследованиях трения различных графитовых и углеграфитовых материалов были получены совпадающие результаты. Из них следует, что графит при удалении из него в вакууме адсорбированных и интенкалированных веществ теряет антифрикционные свойства. В качестве примера ниже приведены результаты испытаний на трение в вакууме ($10^{-4}\div10^{-5}$ мм рт. ст.) одноименных образцов графитовых материалов (АГ-600 и АГ-1500) при температурах 20÷1960 °С [13—16]. Испытывали трубчатые образцы, трущиеся торцами, выполненными (для облегчения самоустановки) по сфере большого диаметра. Нагрузка — 5 кгс, скорость скольжения — 0,01 м/с. При испытаниях на трение установку с подготовленными образцами собирали на воздухе, после чего определяли коэффициент трения. Затем в камере прибора создавалось высокое разрешение, близкое к вакууму, в котором образцы очищались путем нагрева до температуры 1500 °С. При этом удалялись адсорбированные и интеркалированные графитом вещества. Очищенные таким способом от загрязнений образцы после охлаждения испытывались несколько раз в режиме нагрева и охлаждения при непрерывном скольжении.

На воздухе при нормальной температуре коэффициент трения составлял 0,08. После дегазации в вакууме значение коэффициента практически на порядок стало выше (0,7), чем на воздухе. Трение при этом было прерывистое (скачкообразное). С повышением температуры величина коэффициента трения снизилась и при температуре 500 °С достигла порядка 0,5. Дальнейшее повышение температуры привело к довольно резкому уменьшению трения: при 700 °С коэффициент трения составил 0,25. Автоколебания прекратились. При дальнейшем повышении температуры трение оставалось плавным, а значения коэффициента трения постепенно снизились до 0,15 при 1960 °С (предельная температура экспериментов). При испытании в режиме охлаждения зависимость повторяется в обратном порядке с некоторым запаздыванием по температурам значений коэффициента трения. В диапазоне невысоких температур опять возникают автоколебания.

При впуске в камеру воздуха (разгерметизации вакуумной камеры) значения коэффициента трения резко снижаются (< 0,08) и автоколебания прекращаются. При длительном трении в воздушной среде эти значения коэффициента трения сохраняются. При последующем разряжении камеры высокие значения коэффициента трения очень быстро восстанавливаются и уже при давлении 10^{-1} мм рт. ст. составляют 0,76 [13—16].

По такой методике испытывали в вакууме образцы нескольких графитовых материалов. После испытания материала АГ-600 в вакууме были дополнительно проведены испытания в аргоне, гелии и азоте. Полученные зависимости коэффициента трения в вакууме и газовых средах практически совпадают с зависимостями для АГ-1500, полученными при его испытании в вакууме.

При испытаниях одноименных графитовых материалов адгезионное взаимодействие не обнаруживалось вплоть до температуры ≈ 2000 °С [12, 13].

При трении в вакууме графитовых материалов по активным карбидообразующим тугоплавким металлам (танталу, молибдену и др.) и металлоподобным соединениям и покрытиям обычно происходит перенос графита на сопряженную поверхность. Характер трения и значения коэффициента трения при этом соответствуют регистрируемым при трении одноименных графитовых материалов [13—16].

При трении графитовых материалов по металлам, имеющим с углеродом диаграммы состояния эвтектического типа, при достижении температуры плавления соответствующей эвтектики происходит "контактное эвтектическое плавление" с образованием жидкой фазы эвтектического состава [16, 23, 24]. При этом значения коэффициента трения снижаются до очень низких.

При трении графитового материала по корундовой керамике в вакууме значения коэффициента трения (после дегазации прокаливанием в вакууме) при температурах до 500÷600 °С соответствуют значениям, характерным для трения одноименных графитовых образцов. Превышение этих температур приводит к резкому снижению значений коэффициента трения [25, 26]. Объясняется это тем, что в результате триботехнических реакций между корундовой керамикой и углеродом образуется карбид кремния и выделяются атомарный углерод и оксиды углерода, способствующие легкому скольжению плоскостей графитовых кристаллитов от-

носительно друг друга. Благодаря действию этого механизма трибосопряжения "корундовая керамика — графитовый материал" обеспечивают в вакууме при температурах выше 500 °С скольжение с очень низкими значениями коэффициента трения. Предварительные опыты показали, что введение в корундовую керамику оксидов, восстанавливаемых углеродом при более низких температурах, может обеспечить работу в вакууме трибосопряжений оксидная керамика — графитовый материал с малым трением и при температурах ниже 500 °С.

Дополнительно к исследованию трения антифрикционного графитового материала АГ-1500 по компактной корундовой керамике были испытаны в вакууме сочетания: графитовый материал АГ-1500 — детонационные покрытия Al_2O_3 и 50 % Al_2O_3 + 50 % Ca_2O_3. Покрытия наносили на сплав ЭИ 37Б. Испытания проводили по той же методике, что и испытания с компактной корундовой керамикой в вакууме в интервале температур 20÷1500 °С.

Зависимости коэффициента трения от температуры для сочетания АГ-1500 — детонационное покрытие из Al_2O_3 очень близки к полученным ранее зависимостям при трении графитового материала по компактной корундовой керамике (содержащей 0,6 % оксида магния). Лишь температура, при которой начиналось интенсивное снижение трения, повысилась на 100 °С. Это является, по-видимому, следствием того, что кристаллическая структура напыленного детонационным методом оксида алюминия отличается от спеченной корундовой керамики. Напыленное покрытие состоит из гамма- и альфа-модификаций оксида алюминия, а спеченная корундовая керамика — только из альфа-модификации. Кроме того, напыленное покрытие не содержит магния.

Введение в состав покрытия 50 % оксида галлия существенно снизило при трении по АГ-1500 значение коэффициента трения в области невысоких температур. Это объясняется тем, что восстановление оксида галлия в результате трибохимических реакций с выделением кислорода и оксидов углерода (и возможно галлия), необходимых для проявления графитом антифрикционных свойств, происходит при меньших температурах, чем оксида алюминия.

Испытания других графитовых материалов при высоких температурах в вакууме. В вакууме при высоких температурах были испытаны в одноименном сочетании также другие материалы на основе углерода: углеситалл УСБ-1,5 и силицированный графит [2].

Углеситалл получают осаждением из газовой фазы пироуглерода совместно с карбидом кремния. Трение углеситалла в вакууме при повышении температуры снижается, что характерно для трения антифрикционных графитовых материалов. Однако значения коэффициента трения углеситалла во всем испытанном диапазоне температур более высокие, а при температуре выше 1200 °С наблюдается небольшое увеличение трения. Значение коэффициента трения изменялось от 1,0 при нормальной температуре до 0,3 при 1200 °С и до 0,4 при 1500 °С. Это связано с тем, что в состав углеситалла входит карбид кремния.

Силицированный графит испытывали в вакууме при температурах до 1300 °С. Значения коэффициента трения в диапазоне температур 20÷1000 °С возрастали незначительно — от 0,65 до 0,7. Затем они начали снижаться и при температуре 1300 °С составили 0,5. Износ образцов значителен. Полученные результаты свидетельствуют о том, что значения коэффициента трения силицированного графита и характер его зависимости от температуры в значительной мере определяются не графитом, а входящими в состав материала кремнием и карбидом кремния.

Испытания графитового материала при высоких температурах на воздухе. Испытания при высоких температурах в воздушной среде проводили по методике, близкой к исследованиям трения в вакууме. Были испытаны углеродный материал АТГ (содержащий соединение фосфора) и опытный материал с углеродными волокнами. В качестве контртела применяли сталь 12Х18Н10Т. Как и при испытаниях в вакууме, осуществляли трение трубчатых образцов торцами при коэффициенте взаимного перекрытия, равном единице. Скорость скольжения составляла 0,5 м/мин, удельная нагрузка — 10 кгс/см^2. Испытания проводили при непрерывном скольжении образцов и ступенчатом изменении температуры с регистрацией нагрузки и момента трения через каждые 100 °С. Нагрев осуществляли со скоростью 10 °С/мин. Длительность трения при каждой температуре составляла 15 мин.

Испытания в интервале температур от нормальной до 800 °С показали, что в воздушной среде материал АТГ обладает высокими антифрикционными свойствами и достаточно высокой термостойкостью. Значения коэффициента трения во всем интервале температур не превышали 0,1, снижаясь при 400 °С до 0,05. Затем они несколько повышались (максимальное значение — при 600÷700 °С) и вновь снижались при температуре 800 °С. Сложный характер зависимости коэффициента трения от температуры материала АТГ при испытании в воздушной среде связан, по-видимому, с одновременным влиянием окисления и разложения содержащегося в материале фосфорного соединения.

Были также проведены испытания графитового материала АТГ на воздухе при постоянной температуре 800 °С в контакте со сталью 12Х18Н10Т. Удельная нагрузка — 10 кгс/см^2, скорость скольжения — 0,5 м/мин. Длительность испытаний при непрерывном скольжении — 5 ч. За все время испытаний значения коэффициента трения изменялись незначительно, хотя имеется тенденция к некоторому его росту:

Время, ч	0,5	1	2	3	4	5
Коэффициент трения. . . .	0,03	0,03	0,03	0,05	0,06	0,08

Триботехнические свойства этого материала заметно отличаются от других антифрикционных графитовых материалов, для которых при трении на воздухе характерно резкое увеличение трения уже при невысоких температурах, связанное с удалением адсорбированных паров воды и других веществ. Низкие значения коэффициента трения свидетельствуют о возможном вклю-

чении механизма легкого скольжения по плоскостям спайности кристаллов графита (наблюдаемого в процессе испытаний графитовых материалов в вакууме при температурах 600÷1000 °С), обеспечиваемого введением в состав материала дополнительных компонентов (фосфорных солей), поставляющих графиту необходимые для реализации низкого трения вещества.

Материал с углеродными волокнами испытывали по такой же методике. Для него характерны более высокие значения коэффициента трения, изменяющиеся от 0,15 при нормальной температуре до 0,25 при 800 °С. При температуре 600 °С его значения, как и у материала АТГ, проходят через максимум (0,36). Более высокие значения коэффициента трения у материала с углеродными волокнами связаны с наличием на поверхности трения перпендикулярно расположенных волокон. Термостойкость материала недостаточна. При высокой температуре связующее выгорает и обнажаются углеродные волокна.

Испытания графитовых материалов при нормальной температуре на воздухе (при периодическом касании). Ряд графитовых антифрикционных материалов были испытаны на трение и изнашивание при периодическом касании. Испытания по такой методике имитировали в первом приближении условия работы материалов в газодинамических подшипниках в периоды пуска и останова. Единичный цикл состоял из введения образцов в контакт, постепенного нагружения до достижения заданной величины амплитудной нагрузки, затем разгружения до нуля и выведения образцов из контакта [27]. Нагрузка изменялась по усеченной синусоиде. Особенностью этих испытаний является то, что в продолжение каждого цикла нагрузка сначала плавно возрастает от нуля до максимального значения и затем снижается опять до нуля. Благодаря этому материалы в этих испытаниях работают в режиме непрерывной приработки.

Были испытаны в одноименном сочетании следующие материалы [28]: 1) обожженные и графитизированные углеродные материалы типа АГ-1500, АПГ, Нигран и Гоманы Р-11 и Ф-42 (5 % BN); 2) обожженный и графитизированный углеродный материал, пропитанный сурьмой АПГ-Sb; 3) обожженный и графитизированный углеродный материал Химанит (пропитывающим веществом при производстве этого материала служит фурфуриловый спирт); 4) силицированный графит марки СГ-П2; 5) углеситалл УСБ.

В результате проведенных испытаний получены зависимости значений коэффициента трения от числа циклов касания ($2 \cdot 10^4$) [28]. Для облегчения анализа полученных результатов были определены средние значения $f_{ср}$ коэффициентов трения:

Материал. . .	АГ-1500	АПГ	Нигран	Гоман Р-11	Гоман Ф-42	Химанит	АПГ-Sb	СГ-П2	УСБ
Коэффициент $f_{ср}$	0,29	0,3	0,34	0,23	0,21	0,2	0,22	0,23	0,32

За среднее значение коэффициента трения принимали его стабильные значения в начальной части зависимости от числа циклов касания. При этом значения коэффициента трения для разных графитовых материалов изменяются по-разному: для АПГ и Ниграна характерен рост значений коэффициента трения в первые 2000 циклов испытания; коэффициент трения у АПГ-Sb снижается; у Химанита, СГ-П2, Гоманов Р-11 и Ф-42 значения коэффициента трения на протяжении всех 20 000 циклов испытаний остаются постоянными.

Непропитанные обожженные графитовые материалы и углеситалл имеют более высокие значения среднего коэффициента трения, чем АПГ-Sb и Гоманы. Поверхности трения материалов АГ-1500, АПГ и Нигран имели значительные повреждения. Частицы износа этих материалов сравнительно крупные чешуйчатой формы. Дорожки трения материалов АПГ-Sb и Химанит покрыты мелкими порошкообразными частицами износа. На дорожках трения образцов углеситалла УСБ имеются глубокие царапины. Самая высокая износостойкость у материалов Гоман (Р-11 и Ф-42) и силицированного графита. После 20 000 циклов испытаний дорожки трения этих материалов — блестящие, без заметных повреждений.

Большинство испытанных материалов содержат добавки (сурьму, нитрид бора, фурфуриловый спирт). Силицированный графит, получаемый пропиткой графитового материала кремнием, кроме графита содержит кремний и карбид кремния. Углеситалл имеет отличающуюся от графита кристаллическую структуру и содержит карбид кремния. Несмотря на это значения коэффициентов трения всех испытанных материалов близки. Это свидетельствует о том, что антифрикционность этих материалов обеспечивается в основном самим графитом. Добавки других веществ оказывают лишь некоторое (в ряде случаев значительное) влияние на значения коэффициента трения и износостойкость.

Испытания графитовых материалов при нормальной температуре на воздухе в разноименном сочетании (при периодическом касании). Ряд антифрикционных материалов на основе углерода (АПГ, Нигран, Химанит, Гоман Р-11) испытывали методом периодического касания на воздухе не только в одноименном сочетании, но и в контакте с другими материалами: легированной углеродистой сталью ШХ-15 в закаленном состоянии, аустенитной коррозионно-стойкой сталью Х18Н9Т; твердым сплавом ВК6-ОМ, корундовой керамикой.

При трении графитовых материалов по сталям происходит перенос (намазывание) графита на поверхность металла. Образовавшаяся пленка графита определяет значения коэффициента трения, соответствующие получаемым при испытании сочетаний одноименных графитовых материалов. Минимальные значения коэффициента трения (порядка 0,2) были получены при испытании в контакте со сталью ШХ-15 Химанита и Гомана Р-11. Максимальный износ зафиксирован при испытании материала АПГ, минимальный — Гомана Р-11.

Значения коэффициента трения при испытании графитовых материалов в контакте со сталью Х18Н9Т ниже, чем при испытаниях в одноименных сочетаниях и в контакте со сталью ШХ-15. Возможная причина этого — наличие на поверхности образцов из коррозионно-стойкой стали пленки оксида хрома. Минимальные значения коэффициента трения (порядка 0,15), также как и

при испытании в контакте со сталью ШХ-15, получены для Химанита и Гомана Р-11.

При испытании графитовых материалов в контакте с твердым сплавом ВК6-ОМ получены результаты, практически совпадающие с зарегистрированными при испытаниях сочетаний одноименных материалов и в контакте со сталью ШХ-15.

При трении графитовых материалов по корундовой керамике также происходит их перенос на сопряженную поверхность, но в значительно меньшей степени, чем наблюдалось при трении по сталям и твердому сплаву. Лучшие результаты получены при испытаниях материала Гоман Р-11 (значения коэффициента трения меньше 0,15).

В предварительных испытаниях сочетаний других одноименных материалов на основе углерода наиболее высокую износостойкость показали углеситалл УСБ и силицированный графит СГ-П2. При трении этих материалов по корундовой керамике заметного переноса графита на поверхность керамики не наблюдалось. Лучшие триботехнические свойства при трении по корундовой керамике показал углеситалл. При незначительном износе значения коэффициента трения не превышали 0,10÷0,15. Трение силицированного графита по корундовой керамике — высокое (значения коэффициента трения порядка 0,4) при незначительном износе. Причиной этого является содержание в материале свободного кремния и карбида кремния.

Испытания алмазоподобного покрытия на воздухе и в вакууме. Весьма интересными триботехническими свойствами обладают алмаз и алмазоподобные покрытия. Алмаз — модификация углерода, кристаллизующаяся в гранецентрированной кубической системе [2, 8]; плотность 3,0÷3,52 г/см^3; твердость — 10 000 кгс/см^2 (самое твердое вещество). Сгорает на воздухе при 850 °С. В отсутствие кислорода при 1800 °С превращается в графит (наиболее стабильную модификацию углерода).

Кристаллическая структура алмазной модификации углерода при обычных условиях находится в метастабильном состоянии. В большей степени это относится к покрытиям, наносимым вакуумными ионно-плазменными методами. В некоторых случаях наблюдалось даже самопроизвольное превращение нестабильной кристаллической структуры покрытий в стабильную структуру — графит. Это сопровождается увеличением объема (плотность алмаза 3,0÷3,52 г/см^3, плотность графита 2,09÷2,25 г/см^3). В покрытии при этом должны возникать большие напряжения сжатия. При низкой адгезии покрытия к основе (подложке) эти напряжения могут вызывать его отслоение и образование вздутий (пузырей). Подобное явление наблюдалось при длительном хранении изделий с некоторыми алмазоподобными покрытиями.

При повышенных температурах процесс полиморфного превращения структуры алмазоподобного покрытия в графитовую должен ускоряться с соответствующим изменением трибологических свойств. Подобная картина наблюдалась при испытании одноименных алмазоподобных покрытий, нанесенных на сталь 40ХНЮ. Методика испытаний заключалась в следующем. До начала испытания образцы очищали путем длительной выдержки в вакууме 10^{-5} мм рт. ст. В начале испытания после напуска воздуха в камеру значение коэффициента трения составляло 0,42, после трехминутного трения оно снизилось до 0,35, а после 15 мин — до 0,05. Откачивание воздуха из камеры приводило (как и у графитовых материалов) к резкому росту значений коэффициента трения до 0,97. Повышение температуры приводило к постепенному снижению коэффициента трения до 0,3 при 800 °С. Характер зависимости коэффициента трения от температуры близок к наблюдавшемуся при испытании одноименных образцов углеграфитовых материалов. В результате многократных испытаний поверхности алмазоподобных покрытий сильно повреждались. Из этого можно сделать вывод, что низкое трение алмазоподобных покрытий в воздушной среде обеспечивается наличием на поверхностях адсорбированных из воздуха слоев, подобно тому, как это имеет место при трении графитовых материалов. В пользу этого предположения свидетельствует также установленный ранее факт, что при трении природных алмазов в вакууме коэффициент трения возрастает до высоких значений при сильном повреждении трущихся поверхностей [29].

Эти результаты можно объяснить следующим образом. В процессе трения не исключена возможность того, что на участках фактического контакта в тончайших поверхностных слоях происходит полиморфное превращение кристаллической структуры алмаза в гексагональную, характерную для графита. Адсорбция паров воды и других веществ из воздуха приводит, как и в случае компактных углеграфитовых материалов, к кардинальному снижению значений коэффициента трения при трении на воздухе. Удаление этих адсорбированных веществ в вакууме приводит к резкому увеличению (более чем на порядок) значений коэффициента трения.

При испытании на воздухе при периодическом касании алмазоподобного покрытия в контакте с другими материалами установлено, что минимальные значения коэффициента трения зафиксированы при трении покрытия по оксидам (хрома и алюминия). Это в определенной мере соответствует тому, что наблюдалось при трении в вакууме углеграфитовых материалов по корундовой керамике и детонационному покрытию из оксида алюминия.

Трение алмазоподобного покрытия по покрытию из нитрида титана выше, чем по оксидам. Это, по-видимому, связано с большим сродством углерода к титану (в образовании покрытия TiN, наносимого методом КИБ, участвует капельная фаза Ti) и дефицитом азота в нитридном покрытии.

Заключение. Различное поведение графитовых материалов на воздухе и в вакууме можно легко объяснить, учитывая, что поверхностная энергия плоскости базиса графита (0001) довольно высокая. Опытами по раскалыванию кристаллов графита в вакууме установлено, что энергия связи между плоскостями базиса составляет 1750 эрг/см^2 (при поверхностной энергии кромок кристаллов около 5000 эрг/см^2). Связь между плоскостями (0001) достаточно сильная. Поэтому графит и графитовые материалы в вакууме (в чистом виде) не об-

ладают антифрикционными свойствами. Они их приобретают лишь в результате адсорбции инородных атомов или молекул (при этом поверхностная энергия снижается приблизительно до 300 эрг/см^2) либо из окружающей среды, либо из материала контртела и специально вводимых добавок [30]. При использовании графита в виде покрытий со связующим "поставщиком" необходимых для реализации антифрикционных свойств графита атомов или молекул может быть материал самого связующего или продукты его деструкции.

Самостоятельно графит проявляет антифрикционные свойства при трении в вакууме и инертных средах при температурах выше 1000 °С [13—16]. Величина коэффициента трения при этих температурах снижается до приемлемых значений (0,15÷0,25), скольжение становится плавным, плоскости базиса ориентируются параллельно поверхностям трения, темп изнашивания резко уменьшается. Такое поведение можно объяснить ослаблением связей между плоскостями базиса (спайности), благодаря чему появляется возможность проявления благоприятного структурного фактора графита.

Из опубликованных в литературе данных и результатов исследований трения большого количества материалов на основе углерода, проведенных автором по различным методикам и в разных газовых средах, можно сделать вывод, что во всех случаях проявляются трибологические свойства наиболее стабильной модификации углерода — графита. В содержащих природный и искусственный графит материалах это вполне естественно. В материалах с иной кристаллической структурой это, по-видимому, является следствием превращений (структурной перестройки) на участках фактического контакта. При действии на этих участках больших удельных давлений, значительных деформаций сдвига и развивающихся при трении высоких температур происходит переход в более стабильную и энергетически более выгодную графитовую модификацию углерода. Эти превращения могут происходить в тончайших поверхностных слоях (толщиной в несколько параметров кристаллической решетки), но этого уже вполне достаточно для образования в воздушной среде благоприятных адсорбированных слоев и обеспечения при трении легкого скольжения по плоскостям спайности (по наиболее плотно упакованным плоскостям базиса) с ориентацией их параллельно поверхностям трения.

В пользу изложенного выше предположения об определяющей роли в формировании трибологических свойств углеродных материалов графита (образующегося в тончайших поверхностных слоях) свидетельствуют приведенные выше результаты экспериментов по трению графитовых материалов в вакууме [13—16]. В результате прокаливания в вакууме при высокой температуре образцов графитовых материалов из графита удаляются интеркалированные и адсорбированные вещества (обеспечивавшие при трении на воздухе низкое трение). В результате трение в вакууме оказывается на порядок выше, чем было на воздухе (коэффициент трения порядка 0,8). Ориентации плоскостей базиса вдоль направления скольжения, обеспечивающей антифрикционность графита на воздухе, не происходит.

При впуске в вакуумную камеру воздуха трение резко снижается до значений, обычных для трения в воздушной среде (на порядок ниже, чем в вакууме). Удаление воздуха из камеры (происоединением к вакуумной системе) после непрерывного трения в течение 1 ч на воздухе приводит к резкому возрастанию коэффициента трения до значений, характерных для трения в вакууме, уже при давлении порядка 1 мм рт. ст.

Из этого следует, что для обеспечения низкого трения графитовых материалов достаточно образования тончайших адсорбированных слоев активных относительно графита веществ уже в первые секунды после впуска в камеру воздуха. О том, что это обеспечивается действием именно поверхностных адсорбированных слоев, свидетельствует их быстрое удаление при соединении камеры с вакуумной системой (при последующем вакуумировании камеры).

Другим подтверждением правильности этого предположения являются эксперименты по трению в вакууме при высоких температурах антифрикционного графитового материала АГ-1500 по корундовой керамике [25, 26]. При температурах до 500 °С трение — высокое, характерное для трения в вакууме одноименных графитовых материалов. Это свидетельствует о намазывании графита на поверхность корундовой керамики, в результате чего происходит, по существу, трение одноименных графитовых поверхностей. При температуре выше указанной трение весьма существенно снижается. Причиной этого является трибохимическое взаимодействие графита (углерода) с оксидом алюминия, в результате которого выделяются в активной форме кислород и оксиды углерода непосредственно в зоне трения на участках фактического контакта. Образование ничтожного количества этих веществ именно в нужных местах и в нужное время возвращает графиту антифрикционные свойства, характерные для трения в воздушной среде. Более того, трение становится еще ниже, чем на воздухе, что свидетельствует о высокой подвижности на поверхностях трения образующихся в процессе скольжения адсорбированных атомов и молекул. В принципе этот механизм "смазки" может при определенных условиях даже обеспечить реализацию сверхнизкого трения [31].

В особом положении из-за очень высокой твердости находятся алмаз и алмазоподобные покрытия. Несмотря на это описанный выше механизм трения для других материалов на основе графита может быть справедливым и для материалов с кристаллической структурой алмаза. Особенность заключается в том, что тончайший слой графита, образующийся в результате вынужденного полиморфного превращения на поверхности алмаза и алмазоподобных покрытий, находится на очень твердом и гладком (полированном) основании. Именно это лежит в основе наблюдаемого низкого трения этих материалов в воздушной среде. В вакууме же после удаления адсорбированных веществ трение одноименных образцов алмаза [8, 29] и алмазоподобных покрытий высокое (соответствующее трению одноименных образцов графитовых материалов) со значительными повреждениями поверхностей трения. В этом случае образовавшиеся (или образующиеся) на участках фактического контакта тон-

чайшие графитовые слои снизить трение в вакууме не могут (так как трение поверхностей одноименных графитовых материалов в вакууме высокое).

Это подтверждается описанными выше результатами испытаний одноименных алмазоподобных покрытий в вакууме и на воздухе. На алмазоподобное покрытие внешняя среда (воздух, вакуум) действует так же, как и на графитовые материалы. Из этого следует, что триботехнические свойства и алмазоподобных покрытий, и алмаза в значительной мере определяются образующимися на поверхностях непосредственно в зоне трения тончайшими слоями со структурой графита.

Оптимальными материалами контртела для антифрикционных материалов на основе углерода (графита и других модификаций), а также алмазоподобных покрытий при трении в вакууме являются оксиды (в виде компактных керамик или покрытий). В этих случаях при трибохимическом взаимодействии на участках фактического контакта возможно восстановление оксидов металлов с образованием в зоне контакта оксидов углерода (а в определенных случаях и свободного кислорода). Если оксид содержит активные карбидообразующие металлы, то вероятно также образование соответствующих карбидов. Прохождению этих реакций способствуют высокие температуры (внешние или генерируемые самим процессом трения) и механическая активация в процессе трения (громадные сдвиговые деформации под большим давлением). Образующиеся на участках фактического контакта в активном состоянии кислород и оксиды углерода способствуют реализации легкого скольжения по плоскостям базиса графита (входящего в состав материала на основе углерода или образующегося в результате трения из других модификаций углерода). Это, в частности, обеспечивает антифрикционные свойства графитовых материалов в вакууме при высоких температурах при трении по корундовой керамике [25, 26].

Если при трении в вакууме условия для трибохимических реакций отсутствуют (недостаточно высокие температура и уровень механической активации), то графит, как правило, намазывается на сопряженную поверхность. При этом, по существу, происходит трение между одноименными поверхностями графита с соответствующими высокими значениями коэффициента трения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Конструкционные** углеродные материалы и композиты // Энцикл. "Машиностроение". Т. 11-4. Неметаллические конструкционные материалы. Разд. 3. М.: Машиностроение, 2005. С. 218—243.
2. **Энциклопедия** неорганических материалов. Т. 2. Киев: Главн. ред. УСЭ, 1977. 813 с.
3. **Savage R. H.** Graphite Lubrication // J. Appl. Phys. 1948. Vol. 19. N 1. P. 1—10.
4. **Deacon R. E., Goodman J. F.** Lubrication of lamellar solids // Proc. Rog. Soc. Ser. A. 1958. Vol. 243. N 1235. P. 464—482.
5. **Rowe G. W.** The Friction and Strength of Clean Graphite at High Temperatures // Wear. 1960. Vol. 3. N 6. P. 464—461.
6. **Плуталова Л. А.** Современные представления о механизме трения пары металл — графит // Тр. 3-й всесоюз. конф. по трению и износу в машинах. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1960.
7. **Spreadborough J.** The friction behaviour of graphite // Wear. 1962. Vol. 5. N 1.
8. **Bowden F. P., Tabor D.** The friction and Lubrication of Solids. Oxford: Clarendon Press. Part 1, 1950. Part 11, 1964.
9. **Васильев Ю. Н., Фуголь В. А.** Влияние адсорбции фосфорного ангидрида на трение и износ графита // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1974. Т. 10. № 1. С. 159.
10. **Васильев Ю. Н.** Природа смазочной способности графита // Трение и износ. 1983. Т. 4. № 3. С. 483—491.
11. **Фиалков А. С.** Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе. М.: Аспект пресс, 1997. 718 с.
12. **Семенов А. П., Поздняков В. В.** Исследование антифрикционных свойств твердых тел при высоких температурах в вакууме и некоторых газовых средах // ДАН СССР. 1965. Т. 160. № 4. С. 811—814.
13. **Семенов А. П., Поздняков В. В.** О трении графитовых материалов при высоких температурах в вакууме и газовых средах // Машиноведение. 1965. № 1. С. 91—103.
14. **Semenov A. P.** Tribology at High Temperatures // Tribology International. 1995. Vol. 28. N 1. P. 45—50.
15. **Семенов А. П.** Трение и контактное взаимодействие при высоких температурах // Износостойкость. М.: Наука, 1975. С. 37—51.
16. **Семенов А. П., Поздняков В. В., Крапошина Л. Б.** Трение и контактное взаимодействие графита и алмаза с металлами и сплавами, М.: Наука, 1974. 109 с.
17. **Свойства** конструкционных материалов на основе углерода: Справочник / Под ред. В. П. Соседова. М.: Металлургия, 1975. 136 с.
18. **Антифрикционные** углеродные материалы / Г. Н. Багров, В. Д. Белогорский и др. // Цветные металлы. 1980. № 10. С. 71—75.
19. **Справочник** по конструкционным материалам. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. 637 с.
20. **Бушуев Ю. Г., Персин М. И., Соколова В. А.** Углерод-углеродные композиционные материалы: Справочник. М.: Металлургия, 1994. 128 с.
21. **Измайлов В. В., Новоселов С. В.** Исследование фрикционных и электрических свойств фуллеренсодержащих образцов // Межвуз. сб. "Механика и физика фрикционного контакта". Вып. 1. Тверь: ТГТУ, 2002. С. 63—75.
22. **Матвеев Е. Р.** Исследование фрикционных и электрических свойств образцов из композитного графита, содержащего углеродные нанотрубки // Межвуз. сб. "Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел и деталей машин". Вып. 2. Тверь: ТГТУ, 2006. С. 198—203.
23. **Семенов А. П., Поздняков В. В., Лапшина В. А.** Контактное эвтектическое плавление алмаза и графита в контакте с металлами триады железа // ДАН СССР. 1968. Т. 181. № 6. С. 1368—1371.
24. **Семенов А. П., Поздняков В. В., Крапошина Л. Б.** Эвтектическое плавление при контактировании в вакууме графита с железом и сплавом ЭИ-437Б // ФИЗХОМ. 1968. № 1. С. 107—112.
25. **Кацура А. А., Семенов А. П.** О трибохимическом механизме снижения трения в вакууме графитовых материалов // Машиноведение. 1974. № 3. С. 95—99.
26. **Кацура А. А., Семенов А. П.** Высокотемпературное трение окисных керамик на основе корунда. М.: Наука, 1974. 109 с.
27. **Григоров А. И., Семенов А. П.** Обработка газовых подшипников с применением ионного распыления. М.: Наука, 1976. 124 с.
28. **О возможности** применения антифрикционных углеродных материалов в подшипниках с газовой смазкой / А. А. Кацура, И. А. Кондратьев, А. П. Семенов, А. М. Златкис // Трение и износ. 1982. Т. 3. № 1. С. 116—122.
29. **Bowden F. P., Young J. E.** Friction of Diamond, Graphite and Carbon and the Influence of Surface Films // Proc. Rog. Soc. Ser. A. 1951. N 208.
30. **Семенов А. П., Ноженков М. В.** К вопросу о механизме смазочного действия твердых антифрикционных материалов // Трение и износ. 1984. Т. 5. № 3. С. 408—416.
31. **Семенов А. П.** О явлении сверхнизкого трения твердых тел // Трение и износ. 2005. Т. 26. № 1. С. 15—19.

УДК 621.923.1:681.5

Я. И. СОЛЕР, канд. техн. наук, А. В. ПРОКОПЬЕВА, Д. Ю. КАЗИМИРОВ, канд. техн. наук (Иркутский ГТУ)

Автоматизированное управление шлифованием быстрорежущих пластин различной жесткости по критериям микрогеометрии и точности формы поверхности

С помощью программы Stat-Ease Design-Expert 6.0.10 выполнены поиск моделей дисперсионного анализа с постоянными факторами в условиях нелинейной параметризации жесткости шлифуемых пластин из стали Р12Ф3К10М3 и оптимизация их обработки с учетом требований микрорельефа поверхности и точности формы. Это позволило создать информационную основу для автоматизации процесса шлифования. Разработанные методики поиска моделей и алгоритмы оптимизации применимы в различных отраслях: в технике, экономике и т. д.

Введение. Современное развитие информационных технологий позволяет отказаться от традиционного выбора режимов шлифования, при котором рекомендуемые значения их параметров выбирают из таблиц нормативно-технических документов. При этом часто не учитывается взаимное влияние элементов режима резания. В предлагаемой статье автоматизация этой процедуры реализована на базе программы Stat-Ease Design-Expert 6.0.10 и моделей I дисперсионного анализа (ДА) с постоянными факторами [1], которые получены в ходе проведения данного исследования. Особенностью этих моделей является то, что в них введена жесткость шлифуемой детали. При плоском шлифовании этого обычно не делают из-за трудностей изготовления образцов-деталей.

Методика проведения исследования. При выполнении работы неизменными условиями были: плоскошлифовальный станок мод. 3Е711ВФ2, абразивные круги ПП 250 × 25 × 76 24А25 Н СМ1 6К11, скорость резания $v_к$ = 35 м/с, материал пластины — быстрорежущая сталь Р12Ф3К10М3 (66÷67 *HRC*), размеры шлифуемой поверхности $L \times B = 23 \times 23$ мм (рис. 1), СОЖ — 5 %-я эмульсия Аквол-6, расход 7÷10 л/мин, число дублирующих опытов $r = 3$.

Матрица проведения исследования соответствовала смешанному плану $2^4 \times 3^1$, включающему 36 опытов и представляющему реплику 3/4. Этот план в некоторых точках факторного пространства не обладает свойством ротатабельности. Переменные условия реализации опытов приведены в табл. 1.

Предварительно с помощью однофакторного эксперимента было установлено, что влияние податливости инструмента на микрогеометрию поверхности аппроксимируется нелинейной зависимостью [2]. Это предопределило в плане $2^4 \times 3^1$ варьирование жесткости режущей пластины на трех уровнях (+1,00; 0,00; −1,00). Для остальных технологических факторов ограничились двумя предельными значениями. Моделирование переменной податливости обрабатываемой пластины с постоянными размерами и массой осуществлялось на специальной установке [3]. Ее жесткость j менялась в горизонтальной плоскости и распространялась на пластину. Поворотом приспособления на 90° имитировали изменение податливости пластины в двух взаимно ортогональных направлениях, совмещенных с векторами подач $S_п$ и $S_{пр}$. Направление варьирования жесткости пластины указывается индексом $q = \overline{1,2} : j_1$ — поперечная жесткость, j_2 — продольная.

Микрорельеф поверхности измеряли на профилометре мод. 170622 и оценивали параметрами $\overline{Ra}$, $\overline{Rz}$, $\overline{Rp}$, $\overline{R\max}$ и $\overline{Rv}$ в соответствии с ГОСТ 25142—82. Погрешности формы плоской поверхности определяли с помощью микрокатора 2ИПМ с ценой деления 1 мкм по комплексным показателям отклонений от прямолинейности: Δ_{pq}, $p = \overline{1,4}$, $q = \overline{1,2}$ (см. рис. 1), которые учитывают особенности кинематики процесса шлифо-

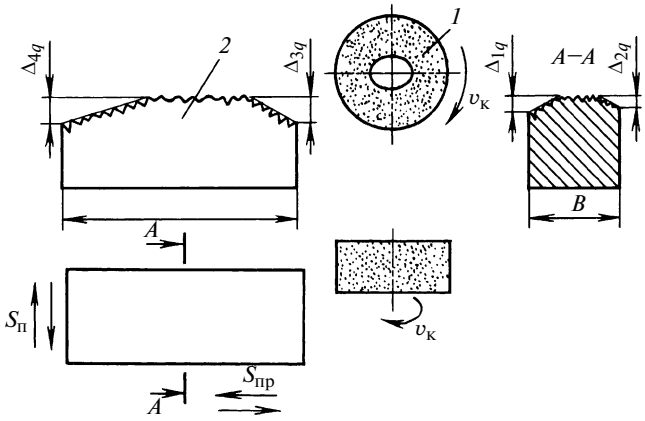


Рис. 1. Схема шлифования и исследуемые отклонения от прямолинейности:
1 — абразивный круг; *2* — шлифуемая пластина; Δ_{1q}—Δ_{4q} — комплексные показатели отклонений от прямолинейности (индекс q = 1 и 2 соответствует отклонениям в направлении $S_{пр}$ и $S_п$)

Таблица 1

Интервалы варьирования и уровни натуральных и нормированных факторов

Фактор	Интервал варьирования фактора	Уровни факторов		
		верхний (+1,00)	основной (0,00)	нижний (−1,00)
A — продольная подача $S_{пр}$, м/мин	7	18	11	4
B — поперечная подача $S_п$, мм/дв. ход	2,5	10	7,5	5,0
C — глубина резания t, мм	0,0025	0,0100	0,0075	0,0050
D — припуск z, мм	0,05	0,20	0,15	0,10
E_q, $q = \overline{1,2}$ — жесткость j_q детали, Н/мм	~664	2203	1785*	875

* Из-за ступенчатого варьирования жесткости приспособления основной уровень выдержан с погрешностью.

вания и направление расположения исследуемой погрешности относительно подач. Одновременно рассматривали элементарные виды этих погрешностей относительно середины поверхности: со знаком "+" — вогнутость, которая предполагает расположение краев пластины выше уровня ее середины; со знаком "−" — выпуклость при опускании краев пластины ниже ее середины. В тех же сечениях ($q = \overline{1,2}$) анализировали состояние микрорельефа поверхности без учета кинематики взаимных движений стола и круга. В связи с изложенным обозначим параметры шероховатости: в поперечном направлении — $\overline{Ra}_1$, $\overline{Rz}_1$ и т. д.; в продольном — $\overline{Ra}_2$, $\overline{Rz}_2$ и т. д.

Поиск моделей осуществляли на базе многофакторного ДА. Приближение прогнозируемых величин к средним наблюдаемым достигалось за два последовательно выполняемых этапа. В первоначальной регрессионной процедуре использовали традиционный метод наименьших квадратов (НК-оценок). Затем все полученные исходные модели y были проверены на целесообразность трансформирования на базе логарифмического и степенно́го преобразований [1]:

$$y_\lambda = \begin{cases} (y + \lambda_1)^\lambda, \ \lambda \neq 0; \\ \ln(y + \lambda_1), \ \lambda = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Константа λ_1 используется, если выражение в круглых скобках имеет отрицательную величину, и рекомендуется программой. Реализация выражений (1) является одним из наиболее эффективных способов пригонки моделей методом МП-оценок и обязательно должна сопровождаться увеличением суммы квадратов регрессии. Значения λ находим в ходе проверки исходной модели по критерию Бокса—Кокса, который регламентирует точечную λ_b (b означает best, т. е. лучший) и интервальную $[\lambda_{min}, \lambda_{max}]$ оценки. Если модель y не требует трансформирования, то принимаем $\lambda = 1$. В это случае имеем:

$$\lambda = 1 \in [\lambda_{min}, \lambda_{max}]. \quad (2)$$

При нарушении условия (2) модель НК-оценок должна быть преобразована. Подробно алгоритм поиска моделей методом МП-оценок изложен в работе [4].

Результаты исследования. На 5 %-м уровне получены модели НК- и МП-оценок, некоторые из них приведены ниже, мкм:

$$\overline{Ra}_{11} = (0{,}71 - 0{,}042A + 0{,}042AD - 0{,}025AE - 0{,}026BC - 0{,}026DE + 0{,}036AE^2 + 0{,}059CE^2 + 0{,}037DE^2 + 0{,}023ABE - 0{,}039ACE + 0{,}031ADE + 0{,}03BDE)^2; \quad (3)$$

$$\overline{R\max}_{11} = 3{,}535 - 0{,}15A + 0{,}33C - 0{,}093E + 0{,}229AB + 0{,}214AD - 0{,}108CE + 0{,}302BE^2 + 0{,}105DE^2 - 0{,}104ABE - 0{,}116ACE + 0{,}202ADE - 0{,}093BCE + 0{,}169BDE;$$

$$\overline{Ra}_{21} = 0{,}27 + 0{,}026C + 0{,}021AB + 0{,}017AD - 0{,}02AE + 0{,}026BC - 0{,}021CD + 0{,}018DE + 0{,}02AE^2 + 0{,}023BE^2 + 0{,}016ABC + 0{,}014ADE + 0{,}012BCE - 0{,}012CDE;$$

$$\overline{R\max}_{21} = 1{,}965 + 0{,}235A + 0{,}131B + 0{,}205C + 0{,}176AB + 0{,}133BE - 0{,}1CD - 0{,}123CE + 0{,}143DE;$$

$$\bar{\Delta}_{11} = 7{,}116 + 5{,}713A - 2{,}257B - 13{,}192C - 5{,}75E - 7{,}486E^2 + 4{,}425AB + 5{,}299AD + 4{,}819CD + 2{,}365DE + 18{,}404CE^2 - 3{,}671DE^2 - 8{,}5ABC - 6{,}052ABE - 2{,}681ACE;$$

$$\bar{\Delta}_{21} = -30{,}528 - 6{,}889A + 13{,}083C - 11{,}25D + 8{,}885E - 3{,}92AC - 3{,}427AE + 2{,}111BC + 6{,}729BE - 3{,}427CE - 2{,}469DE + 3{,}86BE^2 - 17{,}82CE^2 + 15{,}06DE^2 + 5{,}81ABC + 7{,}79ACE - 5{,}562ADE - 6{,}198BCE - 7{,}906CDE;$$

$$\bar{\Delta}_{31} = -32{,}111 - 5{,}667A + 4{,}583C - 14{,}37D - 4{,}972E + 3{,}778AB - 4{,}903AC - 8{,}406AE - 3{,}806BC + 4{,}778BD + 5{,}615BE + 4{,}583CD + 2{,}722CE + 10{,}143BE^2 + 7{,}556DE^2 + 6{,}906ADE - 6{,}802BCE;$$

$$\bar{\Delta}_{41} = 5{,}215 - 6{,}812B + 9{,}528D + 2{,}844E - 10{,}25E^2 + 3{,}576AD + 6{,}479AE + 2{,}863BD - 4{,}021BE + 5{,}958CE + 6{,}188DE + 8{,}74AE^2 - 10{,}472DE^2 - 5{,}104ABC - 4{,}146ABE - 6{,}104ADE + 9{,}729BDE + 7{,}385CDE;$$

$$\overline{Ra}_{12} = \exp(-0{,}6 - 0{,}192A + 0{,}097D + 0{,}067AD - 0{,}062AE - 0{,}072BC + 0{,}062BE - 0{,}044CE + 0{,}115AE^2 + 0{,}049BE^2 + 0{,}181CE^2 - 0{,}051ACE + 0{,}106BDE); \quad (4)$$

$$\overline{R\max}_{12} = 3{,}739 + 0{,}352B + 0{,}284C - 0{,}217E + 0{,}283E^2 + 0{,}258AB + 0{,}133AC + 0{,}17AD -$$

$$- 0{,}364CE + 0{,}31DE + 0{,}242CE^2 + 0{,}177DE^2 - - 0{,}183ABE - 0{,}228ACE + 0{,}275ADE;$$

$$\overline{Ra}_{22} = 0{,}289 + 0{,}042C + 0{,}035AB + + 0{,}018BC + 0{,}037AE^2 + 0{,}052BE^2 - - 0{,}018ACE + 0{,}02ADE + 0{,}021BCE;$$

$$\overline{R\max}_{22} = 2{,}18 + 0{,}277A + 0{,}156B + 0{,}269C + + 0{,}268AB + 0{,}115AD + 0{,}098BC + 0{,}175BE - - 0{,}183CD - 0{,}136CE + 0{,}132DE + 0{,}135ABC;$$

$$\bar{\Delta}_{12} = -2{,}278 + 6{,}79E^2 + 3{,}95AD + 3{,}093BD - - 3{,}125BE + 3{,}292CD + 7{,}52DE - 5{,}525BE^2 + + 5{,}319CE^2 - 5{,}125ABC - 4{,}99ABE + 4{,}208BCE;$$

$$\bar{\Delta}_{22} = -25{,}389 - 8{,}806B + 5{,}521C - 5{,}646D + + 2{,}062E + 5{,}417AE - 3{,}958CD + 11{,}83BE^2 - 9{,}688CE^2 + + 6{,}014ABC + 2{,}278ABE + 2{,}444ADE - 6{,}438CDE;$$

$$\bar{\Delta}_{32} = -31{,}097 - 9{,}854A - 8{,}977B + 4{,}681C - - 7{,}528D + 5{,}167E^2 + 3{,}736AB - 2{,}819AC - 3{,}222AD + + 3{,}312AE + 3{,}34BD + 7{,}104BE - 4{,}854CE + 18{,}861BE^2 + + 3{,}208ABC + 2{,}604ABE + 5{,}312ACE - - 3{,}771BCE - 10{,}625BDE - 2{,}447CDE;$$

$$\bar{\Delta}_{42} = 11{,}268 + 6{,}528A - 6{,}903E^2 + 3{,}194AB - - 9{,}438BE - 4{,}472CD + 4{,}99DE - 9{,}403BE^2 - - 5{,}844ABE - 4{,}021ACE + 8{,}74BCE + 4{,}406BDE.$$

Модели (3) и (4) получены методом МП-оценок, остальные — методом НК-оценок. На их базе провели изучение процесса и разработали стратегию абразивной обработки пластин Р12Ф3К10М3 кругами 24А25 Н СМ1 6К11 с учетом их служебного назначения.

На рис. 2, *а*, *б* представлено влияние жесткостей j_q ($q = \overline{1, 2}$) пластин, т. е. фактора E_q на параметры $\overline{R\max}_{1q}$ и $\bar{\Delta}_{3q}$ при черновом многопроходном съеме операционного припуска.

Как видно из рис. 2, *а*, минимальные значения параметров $\overline{R\max}_{11}$ и $\overline{R\max}_{12}$ наблюдаются при жесткости пластин $E_q = 0$. При этом наименьшее значение $(\overline{R\max}_{11})_{\min} = 4{,}2$ мкм обеспечивает варьирование жесткости пластины в направлении вектора $S_п$. При черновом шлифовании повышение жесткости в выбранных пределах сказывается благоприятно на микрорельефе поверхности. Это соответствует общепринятым представлениям о роли жесткости детали при механической обработке. Так, для маложестких пластин получено $\overline{R\max}_{12} = 6{,}05$ мкм, а при $E_2 = +1{,}00$ среднее значение параметра падает до 5,23 мкм. Аналогичные кривые с минимумом в точке с координатами факторного пространства (+1,00; +1,00; +1,00; +1,00; 0,00) имеют место для зависимостей $\overline{Ra}_{1q} = \varphi(j_q)$, $q = \overline{1, 2}$. Но для них снижается значимость направления варьирования податливости пластины. Так, при $E_q = -1{,}00$ получены параметры (мкм) $\overline{Ra}_{11} = 0{,}68$; $\overline{Ra}_{12} = 0{,}69$, а при максимальной жесткости соответственно $\overline{Ra}_{11} = 0{,}66$ и $\overline{Ra}_{12} = 0{,}71$. Приведенные результаты убедительно свидетельствуют о том, что при построении моделей необходимо назначать трехуровневое варьирование жесткости обрабатываемой заготовки. Это впервые выполнено в данной работе.

Рис. 2, *б* иллюстрирует влияние жесткостей j_q ($q = \overline{1, 2}$) пластин (фактора E_q) на отклонения $\bar{\Delta}_{3q}$ от прямолинейности, которые формируются при встречной схеме шлифования и рабочем продольном проходе после очередного опускания абразивного инструмента на глубину *t*. Наименьшие отклонения $\bar{\Delta}_{3q}$ от прямолинейности получены при пониженной жесткости пластин ($E_q = -1{,}00$). При $E_q = +1{,}00$ они по модулю возросли до значений |27,26|÷|30,37| мкм. Шлифованная поверхность в изучаемом направлении имеет выпуклость. При обратном выхаживающем ходе варьирование поперечной жесткости $E_1 \in [-1{,}00; 0{,}00]$ вызывает повышение точности формы от $\bar{\Delta}_{41} = -14{,}65$ мкм до нуля. При этом выпуклость поверхности переходит в вогнутость. Ее наибольшее значение $\bar{\Delta}_{41} = 12{,}24$ мкм отмечено в точке (+1,00; +1,00; +1,00; +1,00; +0,50). Для маложесткой детали погрешность формы $\bar{\Delta}_{42} = 0$. Во всем диапазоне ее дальнейшего варьирования поверхность имеет вогнутость, наибольшая величина которой $\bar{\Delta}_{42} = +16{,}52$ мкм соответствует координатам факторного пространства (+1,00; +1,00; +1,00; +1,00; 0,00).

Рис. 3, *а*, *б* иллюстрируют влияние жесткостей j_q ($q = \overline{1, 2}$) пластин (фактора E_q) на наибольшие высоты неровностей $\overline{R\max}_{1q}$, $\overline{R\max}_{2q}$ при чистовом шлифовании.

Как видно из рис. 3, *б*, возрастание жесткостей пластин в обоих направлениях варьирования снижает наи-

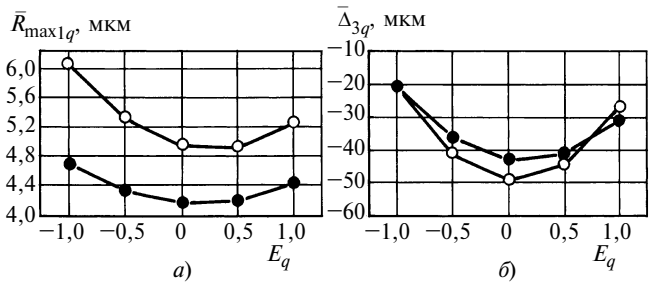


Рис. 2. Влияние жесткости пластин и направления (● — поперечное, $q = 1$ и ○ — продольное, $q = 2$) ее варьирования на средние значения $\overline{R\max}_{1q}$ (*а*) и $\bar{\Delta}_{3q}$ (*б*) при черновом шлифовании ($A = B = C = D = +1{,}00$)

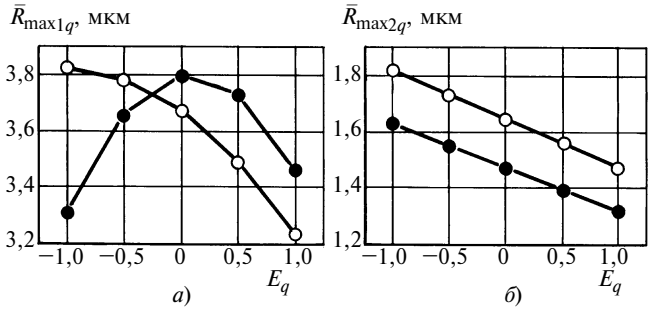


Рис. 3. Влияние жесткости пластин и направления (● — поперечное, $q = 1$ и ○ — продольное, $q = 2$) ее варьирования на средние значения $\overline{R\max}_{1q}$ и $\overline{R\max}_{2q}$ (*б*) при чистовом шлифовании ($A = B = C = D = -1{,}00$)

большие высоты профиля $\overline{R\max}_{2q}$ ($q = \overline{1, 2}$) в 1,2 раза. При этом параметр $\overline{R\max}_{22}$ продольной шероховатости при совпадении с направлением варьирования жесткости пластин на 12 % больше параметра $\overline{R\max}_{21}$. Аналогичная картина наблюдается для параметра $\overline{R\max}_{12}$ при возрастании продольной жесткости j_2 пластин. Однако при поперечном варьировании жесткости пластин характер формирования средних значений $\overline{R\max}_{11}$ меняется. Кривая зависимости $\overline{R\max}_{11} = \varphi(j_1)$ имеет явно выраженный локальный максимум $\overline{R\max}_{11} = 3{,}8$ мкм в точке (−1,00; −1,00; −1,00; −1,00; 0,00). Интересующий нас минимум параметра смещен в область наименьшей жесткости пластин $j_1 = 875$ Н/мм. При максимальной величине $j_1 = 2203$ Н/мм шероховатость ($\overline{R\max}_{11} = 3{,}46$ мкм) сопоставима с шероховатостью при минимальной жесткости. Рассмотренные результаты убедительно показывают, как непросто провести оптимизацию процесса шлифования при большом числе целевых функций.

Стратегию поиска экстремума задавали показателем степени n функции weight и рангом R приоритетов. Факторам задаются по умолчанию значения, равные $n = 1$ и $R = 3$. Выбор n и R для целевых функций подробно рассмотрен в работах [5, 6]. Без подробных пояснений исходные величины для реализации стратегии шлифования приведены в табл. 2.

Варианты оптимизации целевых функций разделены на три группы:

1 — минимизация только высотных параметров микрорельефа поверхности;

2 — то же для отклонений от прямолинейности поверхности;

3 — объединенные требования для всех целевых функций, указанных выше.

Для формализованного описания действий, реализованных в ходе оптимизации процесса шлифования, использовали код $(a, b, c)_q$, $q = \overline{1, 2}$, несущий следующую информацию: $a = \overline{1, 3}$ — группы оптимизации целевых функций; $b = \overline{1, 3}$ — варианты задания рангов приоритетов; $c = \overline{1, 25}$ — номера решений. Программа позволяет получать 500 и более решений благодаря разнообразию задания исходных симплексов. Использованное число решений, равное 25, продиктовано практическими соображениями. Степень их приближения к оптимальному в программе характеризуется величиной функции d желательности (desirability), которая в пределе стремится к единице. Распечатки результатов оптимизации могут содержать для каждого решения значения технологических факторов прогнозируемые средние целевых функций и комплексную оценку их приближения $d_{общ}$. При этом решения расположены в порядке убывания функции $d_{общ}$. Имеется возможность дополнительно выяснить значения функции желательности для каждого выходного параметра модели (рис. 4). При четком задании целевых функций это позволяет выбрать режим шлифования, который обеспечивает их лучшую оптимизацию с учетом служебного назначения детали.

Полученные результаты по разработке стратегии шлифования с учетом требований к микрорельефу по-

Таблица 2

Исходные данные для проведения оптимизации процесса шлифования с учетом направления варьирования жесткости пластины

Параметр	Цель оптимизации	Границы варьирования*		Варианты задания рангов R		
		нижняя	верхняя	1	2	3
A, B, C	Максимум	−1,00	+1,00	3		
D, E	Весь диапазон	−1,00	+1,00	3		
$\overline{Ra}_1$	Минимум	0,20/0,27	1,11/1,58	5		
$\overline{Rz}_1$		1,58/1,30	4,00/4,75	3	3	4
$\overline{Rp}_1$		1,91/1,02	3,01/3,44	3		
$\overline{R\max}_1$		1,91/2,03	5,03/6,84	3	5	3
$\overline{Rv}_1$		0,92/1,05	3,01/3,70	3		
$\overline{Ra}_2$		0,15/0,14	0,48/0,55	5	3	5
$\overline{Rz}_2$		0,98/1,00	2,01/2,27	3	3	4
$\overline{Rp}_2$		0,49/0,64	2,00/2,27	3		
$\overline{R\max}_2$		1,18/1,09	3,21/4,37			
$\overline{Rv}_2$		0,37/0,41	1,97/2,47			
$\bar{\Delta}_1$	0,00	−42,00/25,00	48,00/47,00			
$\bar{\Delta}_2$		−86,00/−61,00	7,00/2,00	3	4	3
$\bar{\Delta}_3$		−83,00/−81,00	7,00/2,00	3	4	3
$\bar{\Delta}_4$		−55,00/−55,00	57,00/46,00	3		

* В числителе дроби приведено значение параметра при изменении поперечной жесткости пластин; в знаменателе — продольной.

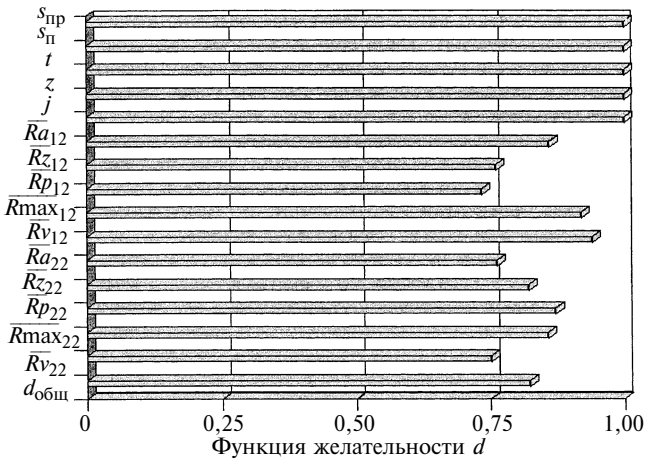


Рис. 4. Гистограмма функций желательности для оптимизации $(1, 1, 1)_2$

верхности и точности формы пластин содержатся в табл. 3 и 4.

В табл. 3 представлены результаты наиболее полной оптимизации процесса шлифования при переменной поперечной жесткости пластин ($q = 1$) для условий, заданных в табл. 2. В ней содержатся рекомендации по шлифованию инструментов Р12Ф3К10М3 как с максимальной ($E = +1{,}00$), так и с минимальной жесткостью j_1. Они подтверждают ранее высказанное предположение о целесообразности более строгого отбора целевых функций, действительно повышающих работоспособность инструмента. Для примера возьмем варианты $(1, 1, 8)_1$ и $(1, 1, 18)_1$, касающиеся шлифования маложестких пластин ($E = -1{,}00$). Из табл. 3 видно, что решение 8 обеспечивает лучшую оптимизацию всей совокупности высотных параметров шероховатости при значении функции толерантности $d_{общ} = 0{,}765$. Решение 18 по сравнению с решением 8 характеризуется меньшей величиной $d_{общ} = 0{,}742$, но из всех 25 решений оно обеспечивает минимальные параметры шероховатости $\overline{R\max}_{11}$, $\overline{Rp}_{11}$ и $\overline{Rv}_{11}$. Аналогично оптимизации $(3, 1, 2)_1$ и $(3, 1, 7)_1$, полученные соответственно при минимальной и максимальной жесткостях j_1 пластин, свидетельствуют о незначительном снижении эффективности многоцелевой оптимизации по сравнению с результатами оптимизаций $(1, 1, c)_1$, где c — 2, 8, 18, и $(2, 1, c)_1$, где c — 16, 22. Последние оптимизации имели ограниченное число анализируемых функций. Возрастание ранга R приоритета с 3 до 5 для параметра $\overline{R\max}_{11}$ [оптимизации $(3, 2, 7)_1$ и $(3, 2, 11)_1$] и с 3 до 4 для $\overline{Rz}_{11}$ [оп-

Таблица 3

Результаты оптимизации при поперечном варьировании жесткости пластин

Код	Факторы	Прогнозируемые параметры, мкм	$d_{общ}$
1,1,8	$A = +0{,}4$; $B = C = D = E = -1{,}0$	$\overline{Ra}_{11} = 0{,}29$; $\overline{Rz}_{11} = 2{,}01$; $\overline{Rp}_{11} = 1{,}3$; $\overline{R\max}_{11} = 2{,}51$; $\overline{Rv}_{11} = 1{,}13$; $\overline{Ra}_{21} = 0{,}26$; $\overline{Rz}_{21} = 1{,}25$; $\overline{Rp}_{21} = 0{,}88$; $\overline{R\max}_{21} = 1{,}7$; $\overline{Rv}_{21} = 0{,}9$	0,765
1,1,18	$A = +1{,}0$; $B = -0{,}9$; $C = E = -1{,}0$; $D = -0{,}6$	$\overline{Ra}_{11} = 0{,}32$; $\overline{Rz}_{11} = 2{,}09$; $\overline{Rp}_{11} = 1{,}21$; $\overline{R\max}_{11} = 2{,}27$; $\overline{Rv}_{11} = 1{,}09$; $\overline{Ra}_{21} = 0{,}28$; $\overline{Rz}_{21} = 1{,}29$; $\overline{Rp}_{21} = 1{,}0$; $\overline{R\max}_{21} = 1{,}74$; $\overline{Rv}_{21} = 0{,}93$	0,742
1,1,2	$A = E = +1{,}0$; $B = C -0{,}9$; $D = -1{,}0$	$\overline{Ra}_{11} = 0{,}31$; $\overline{Rz}_{11} = 2{,}16$; $\overline{Rp}_{11} = 1{,}31$; $\overline{R\max}_{11} = 2{,}36$; $\overline{Rv}_{11} = 1{,}12$; $\overline{Ra}_{21} = 0{,}17$; $\overline{Rz}_{21} = 1{,}17$; $\overline{Rp}_{21} = 0{,}94$; $\overline{R\max}_{21} = 1{,}49$; $\overline{Rv}_{21} = 0{,}71$	0,818
2,1,22	$A = +0{,}8$; $B = -0{,}7$; $C = -1{,}0$; $D = +0{,}1$; $E = -0{,}9$	$\bar{\Delta}_{11} = -24{,}57$; $\bar{\Delta}_{21} = 0{,}00$; $\bar{\Delta}_{31} = -28{,}74$; $\bar{\Delta}_{41} = 0{,}00$	0,969
2,1,16	$A = -0{,}8$; $C = +0{,}4$; $B = D = E = +1{,}0$	$\bar{\Delta}_{11} = 0{,}00$; $\bar{\Delta}_{21} = -8{,}7$; $\bar{\Delta}_{31} = -20{,}09$; $\bar{\Delta}_{41} = -6{,}05$	0,882
3,1,2	$A = 0{,}0$; $B = -0{,}8$; $C = D = E = -1{,}0$	$\overline{Ra}_{11} = 0{,}29$; $\overline{Rz}_{11} = 2{,}00$; $\overline{Rp}_{11} = 1{,}39$; $\overline{R\max}_{11} = 2{,}77$; $\overline{Rv}_{11} = 1{,}16$; $\overline{Ra}_{21} = 0{,}25$; $\overline{Rz}_{21} = 1{,}25$; $\overline{Rp}_{21} = 1{,}85$; $\overline{R\max}_{21} = 1{,}68$; $\overline{Rv}_{21} = 0{,}9$; $\bar{\Delta}_{11} = 0{,}00$; $\bar{\Delta}_{21} = -27{,}09$; $\bar{\Delta}_{31} = -15{,}01$; $\bar{\Delta}_{41} = -17{,}78$	0,768
3,1,7	$A = +0{,}1$; $B = +0{,}2$; $C = D = -1{,}0$; $E = +1{,}0$	$\overline{Ra}_{11} = 0{,}40$; $\overline{Rz}_{11} = 2{,}16$; $\overline{Rp}_{11} = 1{,}38$; $\overline{R\max}_{11} = 3{,}10$; $\overline{Rv}_{11} = 1{,}48$; $\overline{Ra}_{21} = 0{,}19$; $\overline{Rz}_{21} = 1{,}32$; $\overline{Rp}_{21} = 0{,}96$; $\overline{R\max}_{21} = 1{,}71$; $\overline{Rv}_{21} = 0{,}8$; $\bar{\Delta}_{11} = -0{,}04$; $\bar{\Delta}_{21} = -21{,}39$; $\bar{\Delta}_{31} = -31{,}19$; $\bar{\Delta}_{41} = 4{,}54$	0,748
3,2,7	$A = +0{,}3$; $D = -0{,}7$; $B = C = E = -1{,}0$	$\overline{Ra}_{11} = 0{,}31$; $\overline{Rz}_{11} = 2{,}00$; $\overline{Rp}_{11} = 1{,}30$; $\overline{R\max}_{11} = 2{,}61$; $\overline{Rv}_{11} = 1{,}12$; $\overline{Ra}_{21} = 0{,}25$; $\overline{Rz}_{21} = 1{,}26$; $\overline{Rp}_{21} = 0{,}92$; $\overline{R\max}_{21} = 1{,}69$; $\overline{Rv}_{21} = 0{,}91$; $\bar{\Delta}_{11} = -5{,}85$; $\bar{\Delta}_{21} = -22{,}81$; $\bar{\Delta}_{31} = -16{,}55$; $\bar{\Delta}_{41} = -16{,}94$	0,766
3,2,11	$A = -0{,}2$; $B = +0{,}2$; $C = D = -1{,}0$; $E = +1{,}0$	$\overline{Ra}_{11} = 0{,}42$; $\overline{Rz}_{11} = 2{,}15$; $\overline{Rp}_{11} = 1{,}41$; $\overline{R\max}_{11} = 3{,}22$; $\overline{Rv}_{11} = 1{,}53$; $\overline{Ra}_{21} = 0{,}20$; $\overline{Rz}_{21} = 1{,}30$; $\overline{Rp}_{21} = 0{,}95$; $\overline{R\max}_{21} = 1{,}64$; $\overline{Rv}_{21} = 0{,}77$; $\bar{\Delta}_{11} = -1{,}06$; $\bar{\Delta}_{21} = -18{,}99$; $\bar{\Delta}_{31} = -27{,}28$; $\bar{\Delta}_{41} = 0{,}00$	0,737
3,3,1	$A = 0{,}0$; $D = -0{,}6$; $B = C = E = -1{,}0$	$\overline{Ra}_{11} = 0{,}32$; $\overline{Rz}_{11} = 1{,}98$; $\overline{Rp}_{11} = 1{,}34$; $\overline{R\max}_{11} = 2{,}80$; $\overline{Rv}_{11} = 1{,}15$; $\overline{Ra}_{21} = 0{,}24$; $\overline{Rz}_{21} = 1{,}25$; $\overline{Rp}_{21} = 0{,}91$; $\overline{R\max}_{21} = 1{,}67$; $\overline{Rv}_{21} = 0{,}9$; $\bar{\Delta}_{11} = -0{,}12$; $\bar{\Delta}_{21} = -25{,}74$; $\bar{\Delta}_{31} = -19{,}94$; $\bar{\Delta}_{41} = -11{,}93$	0,768
3,3,16	$A = -0{,}8$; $B = +0{,}3$; $C = D = -1{,}0$; $E = +1{,}0$	$\overline{Ra}_{11} = 0{,}47$; $\overline{Rz}_{11} = 2{,}12$; $\overline{Rp}_{11} = 1{,}50$; $\overline{R\max}_{11} = 3{,}50$; $\overline{Rv}_{11} = 1{,}64$; $\overline{Ra}_{21} = 0{,}21$; $\overline{Rz}_{21} = 1{,}27$; $\overline{Rp}_{21} = 0{,}93$; $\overline{R\max}_{21} = 1{,}49$; $\overline{Rv}_{21} = 0{,}71$; $\bar{\Delta}_{11} = -5{,}88$; $\bar{\Delta}_{21} = -10{,}32$; $\bar{\Delta}_{31} = -15{,}00$; $\bar{\Delta}_{41} = -14{,}61$	0,726

Таблица 4

Результаты оптимизации при продольном варьировании жесткости j_2 пластин

Код	Факторы	Прогнозируемые параметры, мкм	$d_{общ}$
1,1,11	$A = -0{,}3$; $B = C = D = E = -1{,}0$	$\overline{Ra}_{12} = 0{,}36$; $\overline{Rz}_{12} = 2{,}12$; $\overline{Rp}_{12} = 1{,}42$; $\overline{R\max}_{12} = 3{,}32$; $\overline{Rv}_{12} = 1{,}41$; $\overline{Ra}_{22} = 0{,}2$; $\overline{Rz}_{22} = 1{,}33$; $\overline{Rp}_{22} = 0{,}90$; $\overline{R\max}_{22} = 1{,}83$; $\overline{Rv}_{22} = 0{,}76$	0,780
1,1,1	$A = E = +1{,}0$; $B = C = D = -1{,}0$	$\overline{Ra}_{12} = 0{,}34$; $\overline{Rz}_{12} = 2{,}11$; $\overline{Rp}_{12} = 1{,}31$; $\overline{R\max}_{12} = 2{,}42$; $\overline{Rv}_{12} = 1{,}21$; $\overline{Ra}_{22} = 0{,}24$; $\overline{Rz}_{22} = 1{,}22$; $\overline{Rp}_{22} = 0{,}85$; $\overline{R\max}_{22} = 1{,}55$; $\overline{Rv}_{22} = 0{,}64$	0,826
3,1,1	$A = +1{,}0$; $B = C = E = -1{,}0$; $D = -0{,}8$	$\overline{Ra}_{12} = 0{,}31$; $\overline{Rz}_{12} = 2{,}20$; $\overline{Rp}_{12} = 1{,}22$; $\overline{R\max}_{12} = 2{,}42$; $\overline{Rv}_{12} = 1{,}40$; $\overline{Ra}_{22} = 0{,}19$; $\overline{Rz}_{22} = 1{,}35$; $\overline{Rp}_{22} = 1{,}09$; $\overline{R\max}_{22} = 1{,}90$; $\overline{Rv}_{22} = 0{,}84$; $\bar{\Delta}_{12} = -4{,}17$; $\bar{\Delta}_{22} = -17{,}88$; $\bar{\Delta}_{32} = -15{,}08$; $\bar{\Delta}_{42} = -13{,}83$	0,792
3,1,19	$A = E = +1{,}0$; $B = -0{,}4$; $C = -0{,}8$; $D = -1{,}0$	$\overline{Ra}_{12} = 0{,}37$; $\overline{Rz}_{12} = 2{,}28$; $\overline{Rp}_{12} = 1{,}29$; $\overline{R\max}_{12} = 2{,}67$; $\overline{Rv}_{12} = 1{,}43$; $\overline{Ra}_{22} = 0{,}27$; $\overline{Rz}_{22} = 1{,}36$; $\overline{Rp}_{22} = 1{,}91$; $\overline{R\max}_{22} = 1{,}82$; $\overline{Rv}_{22} = 0{,}79$; $\bar{\Delta}_{12} = -2{,}82$; $\bar{\Delta}_{22} = -23{,}25$; $\bar{\Delta}_{32} = -36{,}28$; $\bar{\Delta}_{42} = -17{,}04$	0,734
3,2,1	$A = +0{,}8$; $B = C = D = E = -1{,}0$	$\overline{Ra}_{12} = 0{,}31$; $\overline{Rz}_{12} = 2{,}18$; $\overline{Rp}_{12} = 1{,}29$; $\overline{R\max}_{12} = 2{,}58$; $\overline{Rv}_{12} = 1{,}41$; $\overline{Ra}_{22} = 0{,}20$; $\overline{Rz}_{22} = 1{,}33$; $\overline{Rp}_{22} = 1{,}01$; $\overline{R\max}_{22} = 1{,}86$; $\overline{Rv}_{22} = 0{,}82$; $\bar{\Delta}_{12} = 0{,}00$; $\bar{\Delta}_{22} = -17{,}43$; $\bar{\Delta}_{32} = -10{,}27$; $\bar{\Delta}_{42} = -13{,}11$	0,811
3,2,13	$A = +0{,}4$; $B = -0{,}2$; $C = D = -1{,}0$; $E = +1{,}0$	$\overline{Ra}_{12} = 0{,}40$; $\overline{Rz}_{12} = 2{,}25$; $\overline{Rp}_{12} = 1{,}38$; $\overline{R\max}_{12} = 2{,}95$; $\overline{Rv}_{12} = 1{,}45$; $\overline{Ra}_{22} = 0{,}26$; $\overline{Rz}_{22} = 1{,}32$; $\overline{Rp}_{22} = 0{,}95$; $\overline{R\max}_{22} = 1{,}70$; $\overline{Rv}_{22} = 0{,}71$; $\bar{\Delta}_{12} = -1{,}88$; $\bar{\Delta}_{22} = -27{,}45$; $\bar{\Delta}_{32} = -28{,}83$; $\bar{\Delta}_{42} = -4{,}93$	0,745
3,3,2	$A = +0{,}5$; $C = -0{,}9$; $B = D = E = -1{,}0$	$\overline{Ra}_{12} = 0{,}32$; $\overline{Rz}_{12} = 2{,}19$; $\overline{Rp}_{12} = 1{,}29$; $\overline{R\max}_{12} = 2{,}84$; $\overline{Rv}_{12} = 1{,}42$; $\overline{Ra}_{22} = 0{,}20$; $\overline{Rz}_{22} = 1{,}33$; $\overline{Rp}_{22} = 0{,}99$; $\overline{R\max}_{22} = 1{,}88$; $\overline{Rv}_{22} = 0{,}81$; $\bar{\Delta}_{12} = 4{,}72$; $\bar{\Delta}_{22} = -19{,}71$; $\bar{\Delta}_{32} = -10{,}83$; $\bar{\Delta}_{42} = -10{,}65$	0,794
3,3,9	$A = 0{,}0$; $B = -0{,}3$; $C = D = -1{,}0$; $E = +1{,}0$	$\overline{Ra}_{12} = 0{,}43$; $\overline{Rz}_{12} = 2{,}21$; $\overline{Rp}_{12} = 1{,}44$; $\overline{R\max}_{12} = 3{,}06$; $\overline{Rv}_{12} = 1{,}48$; $\overline{Ra}_{22} = 0{,}24$; $\overline{Rz}_{22} = 1{,}30$; $\overline{Rp}_{22} = 0{,}97$; $\overline{R\max}_{22} = 1{,}66$; $\overline{Rv}_{22} = 0{,}69$; $\bar{\Delta}_{12} = -0{,}20$; $\bar{\Delta}_{22} = -28{,}48$; $\bar{\Delta}_{32} = -28{,}78$; $\bar{\Delta}_{42} = -4{,}05$	0,753

тимизации $(3, 3, 1)_1$ и $(3, 3, 16)_1$] не вызвало значимого уменьшения средних значений этих параметров. Так, при минимальной жесткости пластин параметр $\overline{R\max}_{11}$ в оптимизации $(3, 2, 7)_1$ оценивался средним значением 2,61 мкм, а в вариантах $(3, 1, 2)_1$ и $(3, 3, 1)_1$ соответственно величинами 2,77 и 2,8 мкм. Аналогичные результаты имеем и для $\overline{Rz}_{11}$: в решении $(3, 3, 1)_1$ получили прогнозируемую величину $\overline{Rz}_{11} = 1{,}98$ мкм, а в решениях $(3, 1, 2)_1$ и $(3, 2, 7)_1$ $\overline{Rz}_{11} = 2$ мкм. При наибольшей жесткости пластин ($E = +1{,}00$) повышение ранга приоритета с 3 до 4 незначительно снизило значение $\overline{Rz}_{11}$ с 2,15÷2,16 мкм до 2,12 мкм. Аналогичные результаты имеют место и при продольном варьировании жесткости j_2 пластин (табл. 4).

Практически можно считать, что при многокритериальной оптимизации процесса шлифования выбор величины ранга R не всегда обеспечивает существенное изменение регламентируемого параметра поверхности в заданном направлении. В нашем случае сказанное усугубляется тем, что снижение технологических параметров процесса не во всех случаях сопровождается монотонным варьированием всех целевых функций (рис. 5).

Как видно из рис. 5, изменение глубины резания C от +1,00 до −1,00 при всех значениях жесткости пластин обеспечивает улучшение микрорельефа поверхности. Сказанное благоприятно для проведения оптимизации. Наиболее значимо снижение среднего значения $\overline{Ra}_{12}$ отмечено при шлифовании маложестких пластин ($E_2 = -1{,}00$). В этом случае наблюдаем его уменьшение от ≈0,599 до ≈0,299 мкм, т. е. в 2 раза. Одновременно варьирование жесткости пластин вызывает не только количественное, но и качественное изменение кривизны поверхности, $\overline{Ra}_{12} = \varphi(S_{пр}, j_2)$, о чем свидетельствуют изолинии равных значений. Так, в точке факторного пространства (+1,00; −1,00; +1,00; −1,00; 0,00) она характеризуется вогнутостью. При уменьшении глубины резания C до −1,00 вогнутость плавно переходит в выпуклость.

Стратегии шлифования, представленные в табл. 3 и 4, не позволили выявить, какое направление варьирования податливости пластин менее значимо для микрорельефа и плоскостности поверхности. Это обусловлено тем, что решения получены при различных технологических параметрах. Прогнозируемые целевые функции больше

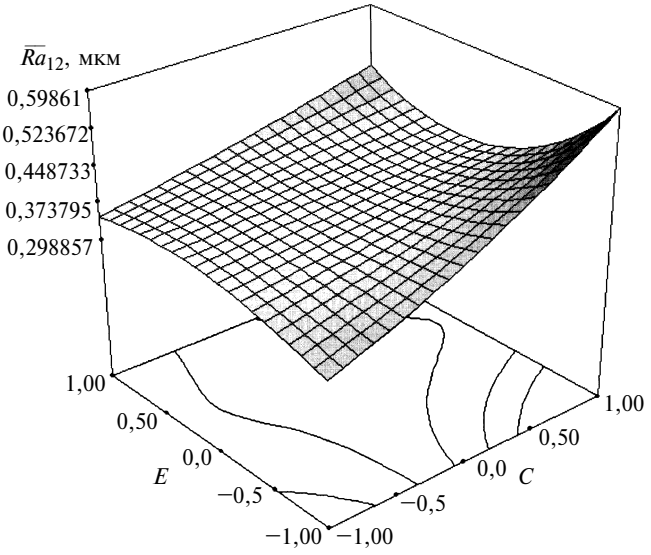


Рис. 5. Влияние глубины *C* резания и продольной жесткости *E* пластин на среднее значение параметра $\overline{Ra}_{12}$ для случая оптимизации $(1, 1, 1)_2$ при режиме: *A* = +1,00; *B* = *D* = −1,00

пригодны для оценки эффективности поиска экстремума. Для установления значимости направления варьирования жесткости пластин целесообразнее использовать непосредственные расчеты с помощью регрессий, как это показано на рис. 2 и 3.

Рис. 4, полученный с использованием возможностей программы, иллюстрирует значения функций желательности для факторов, для каждой целевой функции в отдельности и их комплексную оценку для случая оптимизации $(1, 1, 1)_2$.

Факторы по условиям оптимизации имели возможность принимать значения в пределах от −1,00 до +1,00, поэтому они оцениваются d = 1,00. Из табл. 4 видно, что параметр $\overline{R}\max_{12}$ в случае оптимизации $(1, 1, 1)_2$ характеризуется величиной 2,42 мкм. При наибольшей жесткости пластин E_2 = +1,00, приведенное значение является наименьшим в анализируемых оптимизациях. По этой причине параметр $\overline{R}\max_{12}$ имеет наибольшую величину функции желательности (см. рис. 4). Это справедливо, хотя для глубины впадины (параметр $\overline{Rv}_{12}$) значение d несколько больше. Но известно, что этот параметр совместно с параметром $\overline{Rp}_{12}$ формируют максимальную высоту неровностей профиля. Оптимизация высоты выступа проведена менее удачно и оценивается величиной d < 0,75.

Заключение. Итоги проделанной работы в сжатой форме могут быть сформулированы следующим образом:

1. Спроектированное приспособление переменной жесткости и использованный смешанный план $2^4 \times 3^1$ позволили с минимальными материальными затратами исследовать значение податливости пластин Р12Ф3К10М3 и направления варьирования их жесткости на формирование микрорельефа и точности формы поверхности при шлифовании кругами 24А25 Н СМ1 6К11.

2. Статистические модели процесса шлифования получены по результатам многомерного ДА. Их пригонка к средним значениям наблюдений выполнена с использованием методов НК- и МП-оценок, для чего была задействована программа Stat-Ease Design-Expert 6.0.10.

3. В автоматизированном режиме проведены различные варианты многомерной оптимизации процесса шлифования, которые позволили выбрать режим обработки с учетом требований служебного назначения детали. При необходимости эти варианты оптимизации могут быть расширены.

4. Предложенный подход к стратегии шлифования имеет большие перспективы в условиях САПР ТП. Так, он может повысить эффективность и качество обработки деталей на станках с ЧПУ без участия технолога.

5. Разработанные методики выбора вида модели и многокритериальной оптимизации на базе программы Stat-Ease Design-Expert 6.0.10 носят глобальный характер и могут быть использованы в любых отраслях науки, техники, экономики, медицины и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кендалл М., Стюарт А.** Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1976. 736 с.

2. **Солер Я. И., Казимиров Д. Ю.** Регулирование микрогеометрии поверхности при плоском чистовом шлифовании быстрорежущего инструмента // Вестник ИРО АН ВШ. 2005. № 2 (7). С. 129—139.

3. **Солер Я. И., Гайсин С. Н., Казимиров Д. Ю.** Статистические модели микрогеометрии поверхности при плоском шлифовании абразивными высокопористыми кругами деталей переменной жесткости 12Х18Н10Т // Металлообработка. 2005. № 3 (27). С. 12—16.

4. **Солер Я. И., Казимиров Д. Ю., Прокопьева А. В.** Автоматизация поиска моделей микрорельефа при шлифовании плоских поверхностей быстрорежущего инструмента // Вестник ИРО АН ВШ. 2006. № 2 (9). С. 133—142.

5. **Солер Я. И., Казимиров Д. Ю.** Стратегия плоского шлифования деталей переменной жесткости // Металлообработка. 2006. № 1 (31). С. 2—7.

6. **Солер Я. И**. Повышение эффективности технологической подготовки производства на операциях плоского шлифования титановых сплавов в условиях САПР ТП // Вестник ИрГТУ. 2003. № 3—4 (15—16). С. 25—30.

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

Правила подготовки рукописей смотрите в №1 за 2007 г. на третьей странице обложки.

УДК 621.9.011

Г. С. ЖЕЛЕЗНОВ, канд. техн. наук, С. Г. ЖЕЛЕЗНОВА,
В. В. СЕРГЕЕВ (филиал СамГТУ, г. Сызрань)

Основополагающие параметры процесса резания материалов

Приведена зависимость для расчета угла трения, полученная аналитически. Предложена схема конечной стадии стружкообразования в виде процесса выдавливания элемента стружки из клинового пространства, заключенного между передней поверхностью лезвия инструмента и условной плоскостью сдвига, на основе которой получены зависимости для расчета угла сдвига и длины контакта стружки с лезвием режущего инструмента. Полученные результаты расчета согласуются с экспериментальными данными.

Деформационные, силовые и тепловые параметры процесса резания являются результатами самоорганизации системы резания посредством самоустановления угла сдвига. Поэтому основополагающее значение в теории резания материалов имеет прогнозирование угла сдвига. Множество попыток, предпринятых исследователями с целью построения математической модели прогнозирования угла сдвига, убедительное тому свидетельство. Впервые зависимость для определения угла сдвига аналитическим путем получил К. А. Зворыкин, исходя из фундаментального закона природы, выражающегося в том, что любая материальная система самоорганизуется в такое устойчивое состояние, при котором ее внутренняя энергия минимальна. Эта зависимость имеет вид

$$\Phi = \frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2} - \frac{\rho + \rho_1}{2}, \qquad (1)$$

где Φ — угол сдвига; γ — реальный передний угол лезвия режущего инструмента; ρ — средний угол трения между стружкой и лезвием режущего инструмента; ρ_1 — угол внутреннего трения, характеризующий влияние давления, действующего на поверхности сдвига, на сопротивление сдвигу обрабатываемого материала.

Из зависимости (1) видно, что любой фактор процесса резания оказывает влияние на угол сдвига через углы γ, ρ и ρ_1. В связи с тем, что экспериментальные данные часто не подтверждали количественно зависимость (1), возникли сомнения в ее справедливости, что послужило для многих исследователей основанием для построения аналогичных зависимостей, исходя из других посылок. Основанием служило и то, что зависимость (1) была получена из представления процесса стружкообразования как деформации сдвига по единственной плоскости, так как после появления зависимости (1) большинство исследователей пришли к выводу о реальной невозможности вышеуказанной деформации для большинства случаев обработки резанием. Однако не было получено зависимости лучше, чем подобная зависимости (1), хотя сомнения в справедливости зависимости (1) не исчезли.

Отрицание схемы стружкообразования с единственной плоскостью сдвига, принятой И. А. Тиме и К. А. Зворыкиным, и переход к веерной схеме стружкообразования по А. А. Бриксу исключили однозначное определение угла сдвига и лишили его физического смысла. При этом определяли [1] углы наклона начальной и конечной границ зоны стружкообразования, что создало определенные трудности в построении зависимостей для расчета сил резания. Схема стружкообразования с единственной плоскостью сдвига имеет то преимущество, что придает углу сдвига определенный физический смысл — это угол наклона плоскости, служащей границей между срезаемым слоем и стружкой. Она позволила построить количественные зависимости для расчета сил резания [2] и подтвердила важность прогнозирования угла сдвига.

Обобщая экспериментальные данные определения угла сдвига по усадке или корням стружек, можно убедиться в том, что отклонения экспериментальных значений угла сдвига от вычисленных по зависимости (1) для области значений факторов процесса резания, применяемых на практике, не превышают $\pm 10°$. Если учесть, что методы и средства определения углов трения ρ и ρ_1, входящих в зависимость (1), весьма несовершенны, о чем свидетельствует разнообразие форм эпюр распределения контактных напряжений на передней поверхности лезвия инструмента [3], то негативные оценки формулы К. А. Зворыкина становятся весьма сомнительными, а фундаментальный характер посылки, на основе которой она получена, определяет ее обобщающее значение.

В зависимости (1) есть фактически две переменные величины, зависящие от факторов процесса резания: угол трения между стружкой и лезвием инструмента и передний угол. Угол ρ_1 внутреннего трения, по данным работы [4], для многих обрабатываемых материалов укладывается в интервал $2 \div 6°$ и незначительно зависит от факторов процесса резания. Поэтому он не оказывает существенного влияния на угол сдвига. Наиболее чувствителен к вариации факторов процесса резания угол трения, менее чувствителен — передний угол. При этом определенно установлено, что увеличение переднего угла приводит к существенному увеличению угла трения. Любой фактор оказывает влияние на деформационные и силовые характеристики процесса резания главным образом через угол трения и передний угол. По данным работы [1], полученным при обработке сталей, влияние переднего угла γ, выраженного в градусах, на средний коэффициент трения определяется зависимостью

$$\mu = \mathrm{tg}\rho = 0{,}62 + 0{,}007\gamma. \qquad (2)$$

Такой характер влияния переднего угла на угол трения обусловлен тем, что, как определенно установлено [1, 3], средняя удельная сила q трения — среднее касательное напряжение на передней поверхности лезвия — для любых факторов обработки резанием зависит только от физико-механических характеристик обрабатываемого материала, составляет 28 % от истинного предела $S_к$ прочности на растяжение обрабатываемого материала ($q = 0{,}28S_к$) и является инвариантной характеристикой процесса резания.

При увеличении переднего угла среднее нормальное напряжение на

передней поверхности лезвия уменьшается, а удельная сила трения не изменяется. Следует заметить, что зависимость $q = 0{,}28S_к$ опровергает общепринятое [1, 3] соотношение длин пластического ($l_п$) и общего (l) контакта стружки с лезвием в виде $l_п/l \approx 0{,}5$. Если принять в соответствии с работой [3] эпюру распределения касательного напряжения на передней поверхности по длине контакта стружки с лезвием, состоящей из участков пластического контакта длиной $l_п$ и упругого контакта длиной $l - l_п$ (рис. 1), то зависимость $q = 0{,}28S_к$ требует, чтобы выполнялось соотношение $l_п/l \approx 0{,}12$.

Трудности применения зависимости (1) для расчета угла сдвига обусловлены недостаточной информацией, необходимой для прогнозирования угла трения, что объясняется отсутствием теоретических построений для его определения. Исходя из того, что формула (1) отражает фундаментальную связь между основополагающими параметрами процесса резания, представляется возможным решить обратную задачу: из зависимости (1) и уравнения механики резания определить средний угол трения [5].

Уравнение механики резания, выражающее условие равновесия сил, действующих на стружку, согласно рис. 2 будет иметь вид:

$$N\cos(\Phi - \gamma) - F\sin(\Phi - \gamma) - T = 0, \quad (3)$$

где N и F — соответственно нормальная сила и сила трения на передней поверхности лезвия; T — сила сдвига на плоскости OA (см. рис. 2).

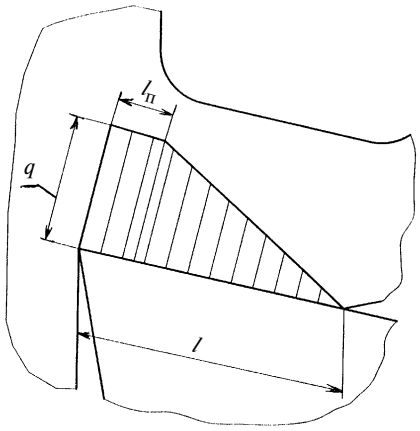


Рис. 1

Используем выражения:

$$F = N\mathrm{tg}\rho;\ F = qlb;\ T = \tau ab/\sin\Phi;$$
$$l_п = a_1[1 + \mathrm{tg}(\Phi - \gamma)]$$
— из работы [6],

где $a_1 = a\cos(\Phi - \gamma)/\sin\Phi$, $\Phi = \frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2} - \frac{\rho}{2}$; a и b — соответственно толщина и ширина срезаемого слоя; a_1 — толщина стружки; $l_п$ — длина пластического контакта; l — общая длина контакта стружки с лезвием; τ — касательное напряжение на плоскости сдвига;

Подставив эти выражения в равенство (3), получим:

$$\sin^2\rho - \frac{2B(\cos\gamma + \sin\gamma)}{B^2 + 1}\sin\rho + \frac{\sin 2\gamma}{B^2 + 1} = 0, \quad (4)$$

где $B = A + 1$, $A = 2\tau/(Kq)$, $K = l/l_п$.

Приемлемым решением уравнения (4) является:

$$\sin\rho = \frac{B(\cos\gamma + \sin\gamma) + \sqrt{B^2 - \sin 2\gamma}}{B^2 + 1}. \quad (5)$$

Данное решение согласуется с теоретическими предположениями. Так, установлено, что при $\gamma = -90°$, $\rho = 0$, что дает зависимость (5) при $\gamma = +90°$, $l_п = 0$, $K = \infty$, $B = 1$, $\sin\rho = 1$, $\rho = 90°$, $\Phi = 45°$.

Кроме указанной выше инвариантной характеристики экспериментально установлена [7] следующая инвариантная характеристика:

$$ql/(\tau a_1) = 1. \quad (6)$$

Зависимость (6) выражает равенство приходящихся на единицу длины режущей кромки силы трения F между стружкой и лезвием инструмента и проекции силы сдвига T на нормаль к передней поверхности лезвия инструмента (см. рис. 2). Подставив

$$a_1 = a\frac{\cos(\Phi - \gamma)}{\sin\phi},\ l_c = a/\sin\Phi,$$
$$T = \tau l_c,\ F = ql$$

в соотношение (6), получим $F/T = \cos(\Phi - \gamma)$.

Учитывая, что на практике значения переднего угла не выходят за пределы $\gamma = \pm 20°$, что определяет $\Phi - \gamma \leqslant 20°$ и $\cos(\Phi - \gamma) > 0{,}94$, допустимо с погрешностью, не превышающей 6 %, принять $F/T \approx 1$. Это

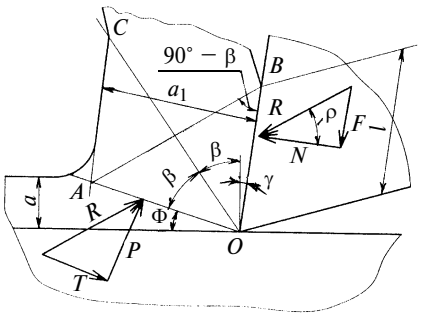


Рис. 2

свидетельствует о том, что для факторов процесса резания, применяемых на практике, сила трения, действующая на стружку со стороны лезвия инструмента, равна силе сдвига, действующей на стружку со стороны обрабатываемой заготовки.

Данное утверждение позволяет принять такую модель стружкообразования на конечной его стадии, которую можно рассматривать как процесс выдавливания элемента стружки в виде клина с углом 2β (см. рис. 2) под действием уравновешенных результирующих сил R, действующих со стороны лезвия на передней поверхности и со стороны заготовки на плоскости сдвига, в направлении биссектрисы OC.

Из рис. 2 следует: угол трения равен половине угла стружки-клина $\rho = \beta$; угол сдвига

$$\Phi = \frac{\pi}{2} + \gamma - 2\rho, \quad (7)$$

длина контакта стружки с лезвием

$$l = a/\sin\Phi. \quad (8)$$

В таблице приведены результаты расчета угла Φ сдвига по зависимостям (1) (с учетом формулы (2) из работы [1]) и (7) и длины контакта l при $a = 1$ мм по зависимости (8) и зависимости, приведенной в работе [6],

$$l = a_1[1 + \mathrm{tg}(\Phi - \gamma)]. \quad (9)$$

Из таблицы видно, что значения угла сдвига, вычисленные по зависимостям (1) и (7), почти совпадают при значениях передних углов, применяемых на практике $-20° < \gamma < 30°$. Разность значений не превышает 2°. Это подтверждает реальность описанной выше схемы конечной стадии стружкообразования в форме выдавливания элемента стружки в виде клина.

γ, °	Ф, °, по зависимости			*l*, мм, по зависимости	
	(1)	(7)	По литературным данным	(8)	(9)
−40	16	14	—	3,6	4,9
−30	19	17	—	3	4,2
−20	22	20	—	2,5	3,6
−10	26	24	22 [8]	2,2	3,1
0	29	28	—	2	2,7
+10	33	32	26 [1]	1,8	2,4
+20	36	36	32 [1]	1,6	2,0
+30	40	41	—	1,5	1,7
+40	44	45	—	1,4	1,5

Значения длины контакта между стружкой и передней поверхностью инструмента, рассчитанные по зависимости (8), меньше значений, рассчитанных по зависимости (9) работы [6]. Это свидетельствует о возможности применения зависимости (7), так как зависимость (9) дает завышенные результаты.

Хотя здесь не рассматривался вопрос о влиянии скоростного и температурного факторов, однако следует отметить, что они оказывают влияние на угол сдвига через угол трения. С этой точки зрения характеристики физико-механических свойств материала лезвия инструмента, скорость резания и подача оказывают влияние на угол сдвига в той степени, в какой они влияют на угол трения через температуру и ее распределение в зоне стружкообразования.

Выводы

1. Представленная схема стружкообразования по единственной плоскости сдвига является полезной для теории резания абстракцией, так как позволяет количественно определить силовые и деформационные характеристики процесса резания, соответствующие реальным значениям, установленным экспериментально.

2. Формула для расчета угла сдвига, предложенная К. А. Зворыкиным, достаточно точно отражает в количественном и качественном отношениях закономерную связь угла сдвига с факторами процесса резания при условии достаточно точного определения входящих в нее величин: переднего угла и углов внешнего и внутреннего трения. Необходимые данные для определения угла внутреннего трения содержатся в работе П. Бриджмена [4], а угла трения между стружкой и лезвием режущего инструмента — в работе [1] проф. Н. Н. Зорева, которую следует отнести к числу наиболее значимых работ в области теории резания.

3. Предложенная схема конечной стадии стружкообразования в виде процесса выдавливания стружки в форме клина, образованного пересекающимися по линии режущей кромки передней поверхностью и плоскостью сдвига, в направлении биссектрисы угла клина достаточно точно отражает качественные связи угла сдвига и длины контакта с факторами процесса резания и может быть рекомендована для применения в области практических значений факторов процесса резания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зорев Н. Н.** Вопросы механики процесса резания металлов. М.: Машгиз, 1956. 364 с.
2. **Резание** металлов и инструмент / Под ред. проф. А. М. Розенберга. М.: Машиностроение, 1964. 227 с.
3. **Полетика М. Ф.** Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. М.: Машиностроение, 1969. 150 с.
4. **Бриджмен П.** Исследование больших пластических деформаций. М.: Иностр. литер., 1955. 394 с.
5. **Железнов Г. С.** Определение среднего коэффициента трения при резании металлов // СТИН. 1999. № 5. С. 25—27.
6. **Абуладзе Н. Г.** Характер и длина пластического контакта стружки с передней поверхностью инструмента // Сб. тр. Всесоюз. межвуз. конф. "Обрабатываемость жаропрочных и титановых сплавов". Куйбышев: 1962. С. 67—77.
7. **Розенберг Ю. А.** Методы аналитического определения степени деформации металла стружки при резании // Вестник машиностроения. 2001. № 3. С. 34—38.
8. **Клушин М. И.** Резание металлов. М.: Машгиз, 1958. 454 с.

ЗЛАТОУСТОВСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД

ТОРГОВЫЙ ДОМ ЭСТАР
ЭЛЕКТРОСТАЛЬ РОССИИ

Производство проката из любых марок стали и сплавов: жаропрочных, нержавеющих, быстрорежущих, инструментальных, подшипниковых, конструкционных, углеродистых.

КРУГ	1—280 мм (катаный, кованый, калиброванный, со специальной отделкой поверхности)
КВАДРАТ	5—300 мм (катаный, кованый, калиброванный)
ТРУБНАЯ ЗАГОТОВКА	80—200 мм
ШЕСТИГРАННИК	4—52 мм (катаный, калиброванный)
ПОЛОСА, ПРОВОЛОКА, СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРОФИЛИ	

МАЛОТОННАЖНЫЕ ЗАКАЗЫ, СБОРНЫЕ ВАГОНЫ.

Заключением договоров на поставку продукции занимается ООО «Торговый дом "ЭСТАР-Златоуст"»

Тел. (3513) 69-67-44, 67-66-22. Факс (3513) 67-43-32, 67-68-66, 67-31-76

E-mail: td@zmk.ru www.zmk.ru

УДК 621.9.025.7

М. Ш. МИГРАНОВ, канд. техн. наук,
А. Ш. МАХМУТОВА (Уфимский ГАТУ)

Износостойкость и трибологические свойства покрытий для режущего инструмента[1]

Приведены результаты экспериментальных исследований износостойкости и трибологических свойств покрытий на инструменте из быстрорежущей стали при обработке металлов резанием.

Дуплексное покрытие включает в себя физически осажденный слой из нитрида титана, нанесенный на заранее ионно-азотированную подложку из быстрорежущей стали. Режущие инструменты из быстрорежущей стали с такими покрытиями сочетают в себе высокую износостойкость поверхности (износостойкость инструмента повышается в 1,5 ÷ 2 раза) и высокую вязкость основы [1]. Но при нестабильных условиях трения, когда, главным образом во время приработки, поверхность повреждается, эффективность твердых покрытий снижается. Твердые покрытия — хрупкие и поверхности с ними подвержены значительному повреждению именно на этой стадии изнашивания, т. е. еще до начала нормального процесса изнашивания. Первоначальное повреждение поверхности часто приводит к значительному снижению износостойкости всего покрытия. По этой причине верхний слой с высокими антифрикционными свойствами является защитой всего твердого покрытия. Определение состава и его нанесение являются одной из наиболее важных задач получения износостойких покрытий на режущих инструментах, работающих при низких и умеренных скоростях резания, а также используемых для обработки труднообрабатываемых материалов, когда преобладает адгезионный износ. Такими покрытиями являются самосмазывающиеся многослойные покрытия, верхние слои которых имеют сложную микроструктуру, способствующую рассеянию энергии (например, покрытия TiAlN—MoS_2 [1, 2]). Другой тип антифрикционного поверхностного слоя, успешно применяющийся для твердого покрытия, — это слой Z-DOL [2, 3] [0,5 %-й раствор перфторполиэфирной кислоты (R_f — CH_2OH) во фреоне 113].

Целью данной работы является изучение износостойкости и трибологических свойств режущего инструмента с дуплексным покрытием, дополнительно улучшенным применением антифрикционного верхнего слоя из перфторполиэфира (Z-DOL). Характеристики многослойных покрытий даны в табл. 1.

Перфторполиэфиры нашли широкое применение в промышленности как смазочные вещества для тяжелонагруженных высокотемпературных трибосопряжений. Как смазочные вещества эти жидкости привлекательны ввиду их высокой теплостойкости, низкой температуры испарения и химической инертности. Перфторполиэфир применяется как антифрикционный верхний слой на твердых покрытиях. Жидкая смазка представляет собой 0,5 %-й раствор перфторполиэфира Z-DOL во фреоне 113 [7, 8]. Перфторполиэфир имеет химическую структуру: $HO—CH_2—CF_2O—(C_2F_4O)_6—(CF_2O)_{20}—CF_2—CH_2—OH$. Пленку из перфторполиэфира наносили путем погружения образцов с покрытиями в раствор при температуре точки кипения. Физико-химические свойства перфторполиэфира: молекулярная масса — 2194; плотность — 1560 кг/м^3, толщина пленки — 5 ÷ 2500 н/м; несущая способность (максимально допустимая нагрузка) — 3 ГПа; максимальная рабочая температура — 723 К.

Износостойкость режущих инструментов с покрытием исследовали при точении и фрезеровании стали 40Х. Обработку резанием проводили с использованием охлаждающей жидкости (5 %-й эмульсии) и без нее. Условия проведения испытаний приведены в табл. 2. Выбранные условия испытаний могут привести к интенсивному изнашиванию с повреждением поверхности режущего инструмента, так как известно [1, 4], что адгезионный износ преобладает на поверхностях режущего инструмента при резании с низкими и умеренными скоростями. Адгезионный износ вызывается формированием "мостиков" сварки на шероховатых поверхностях обрабатываемой детали, стружки и инструмента. Разрыв этих соединений, вызываемый сдвигом, ведет к образованию микроскопических частиц изношенного материала инструмента.

Трибологические свойства покрытий определяли с помощью специально сконструированного прибора [4]. Вращающийся индентор с покрытием устанавливали между двумя отполированными образцами, изготовленными из обрабатываемой стали 40Х. Чтобы смоделировать условия трения режущего инструмента, образцы нагревали электроконтактным способом в диапазоне температур 150 ÷ 550 °С. Нормальная сжимающая сила 2400 Н обеспечивала пластическое деформирование в зоне контакта. Антифрикционные свойства слоя оценивали по адгезионной составляющей коэффициента трения. В основном

Таблица 1

Характеристики исследуемых дуплексных покрытий [1]

Наименование слоя	Состав и структура слоя	Микротвердость, ГПа	Толщина, мкм
Твердое покрытие TiN	TiN	26÷28	6÷8
Ионно-азотированная подложка из быстрорежущей стали	Однофазовый с высоким содержанием нитрида мартенсит (α-Fe)	11÷12	30÷32

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ по проекту 06-08-00049.

Таблица 2

Условия проведения испытаний при резании

Обрабатываемый материал	Операция	Режим резания					Режущий инструмент из быстрорежущей стали
		Скорость резания v, м/мин	Подача S, мм/об.	Глубина резания b, мм	Ширина резания t, мм	СОЖ	
Сталь 40Х	Точение	50÷70	0,28	1,0	—	+	Быстросменные пластины
Сталь 40Х	Фрезерование	21	63,0	3,0	5,0	+	Концевые фрезы

именно эта составляющая отвечает за адгезионное изнашивание инструментов из быстрорежущей стали (когда имеют место истирание и задиры металла), и ее величину определяли как отношение прочности $\tau_{пп}$ на срез адгезионных связей между инструментом и обрабатываемой деталью к нормальным контактным напряжениям p_{rn}, возникающим на поверхности контакта при температуре испытаний ($\tau_{пп}/p_{rn}$).

С целью объяснения физического механизма явлений, которые имеют место в контакте "режущий инструмент — обрабатываемая деталь", исследовали химический и фазовый составы поверхностных слоев с помощью Оже-электронной спектроскопии (ОЭС), анализа расширенной мелкой структуры спектров потери энергии электронов (EELFAS) и вторичной ионной масс-спектрометрии (ВИМС) с использованием спектрометра VG ESCALAB MK2. Оже-спектроскопия использовалась для анализа состава поверхности покрытия и наружной поверхности пленок, образующихся на кромке режущего инструмента, а также для анализа контактирующей поверхности стружки. В каждом из этих случаев для анализа были выбраны несколько секторов размерами 15 × 15 мкм. Фазовый состав поверхности фаски износа изучали с помощью ВИМС. Анализ проводили при режиме, приближенном к статическому. Аморфизация и тонкие структурные изменения в ближайшем атомном окружении были исследованы с помощью EELFAS-метода путем анализа расширенной тонкой структуры спектров электронов.

Данные испытаний режущих инструментов на износостойкость приведены на рис. 1, из которого видно, что верхний (антифрикционный) слой уменьшает износ инструмента на первоначальной (приработочной) стадии, т. е. повреждение поверхности уменьшается, и износостойкость инструмента увеличивается значительно.

Исследования влияния температуры на триботехнические параметры многослойных покрытий, состоящих из ФОП твердого покрытия TiN с верхним слоем из Z-DOL в контакте с сталью 40Х показывают (рис. 2), что эти параметры немного улучшаются.

Улучшение триботехнических параметров (уменьшение коэффициента трения) само по себе не объясняет существенного повышения износостойкости (в 1,5 ÷ 2 раза) режущего инструмента с многослойным покрытием (см. рис. 1). Чтобы понять это явление, провели дополнительные исследования поверхностей контакта режущего инструмента и обрабатываемой детали. На рис. 3, *а—в* представлены спектры положительных и отрицательных ионов, полученные в результате анализа химического и фазового составов покрытия TiN + ПФПЭ. Покрытие TiN дает следующие пики: Ti^+ (48); TiN^+ (62); TiO^+ (64 а. е. м.). ПФПЭ Z-DOL дает следующие пики: O^- (16); F^- (19); CF_2^{-2} (25); CF_2O^{-2} (33); F_2^- (38 а. е. м.); а. е. м. — атомная единица массы. Состав покрытия изменяется во время резания. Пики с маленькой интенсивностью при 64 и 86 а. е. м. появляются после 200 с резания. Их появление можно объяснить триборазложением ПФПЭ и TiN с образованием титаново-кислородных соединений и TiF_2.

Результаты анализа состава элементов износа поверхности фаски инструмента, выполненного с помощью ОЭС как ряд Оже-спектров, полученных при различной продолжительности резания, позволили установить, что на начальной стадии изнашивания (приработка) постепенное окисление покрытия TiN имеет место при высоком локальном напряжении и температурах, возникающих во время резания. Этот процесс наблюдался в покрытиях TiN с антифрикционным слоем ПФПЭ и без него. В процессе резания постепенно уменьшается содержание азота на поверхности и в то же время кислород заменяет азот. Значительное увеличение интенсивности Оже-линий для железа при продолжительном резании объясняется схватыванием материала детали (стали 40Х) с поверхностью режущего инструмента и разрушением покрытия TiN на финальной стадии изнашивания. Наблюдается хорошее сочетание

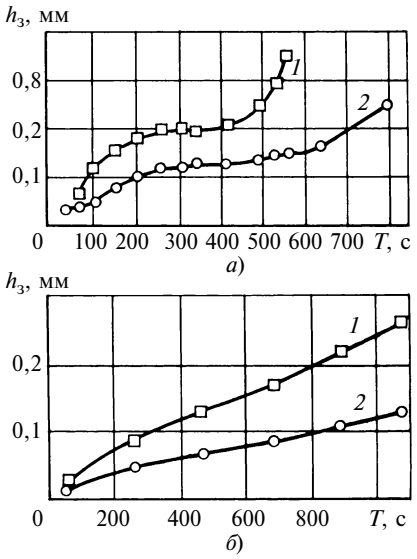


Рис. 1. Влияние времени обработки на износ инструмента по задней поверхности: *а* — точение (обрабатываемый материал — сталь 40Х; $v = 70$ м/мин; $t = 1$ мм; $S = 0{,}28$ мм/об.; режущий инструмент — быстросменные пластины из стали Р6М5 с дуплексным покрытием; резание с СОЖ); *б* — фрезерование (обрабатываемый материал — сталь 40Х; $v = 21$ м; $t = 3$ мм; $b = 5$ мм; $S = 63$ мм/мин; режущий инструмент — концевые фрезы с дуплексным покрытием; обработка с СОЖ); *1* — дуплексное покрытие; *2* — дуплексное покрытие + слой Z-DOL

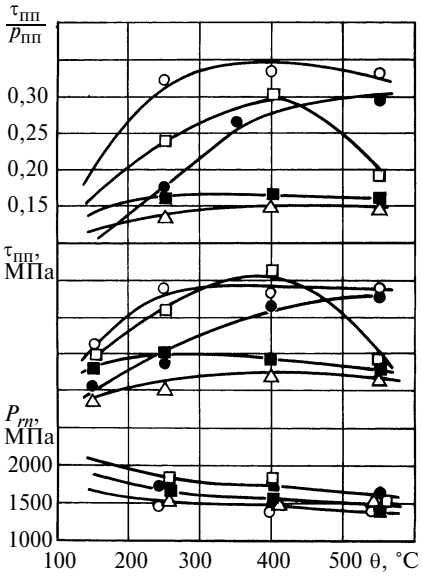


Рис. 2. Зависимости параметров трения от температуры в зоне контакта:
о — быстрорежущая сталь Р6М5 (без СОЖ); □ — быстрорежущая сталь Р6М5 + TiN (без СОЖ); ● — быстрорежущая сталь Р6М5 (с СОЖ); ■ — быстрорежущая сталь Р6М5 + TiN (с СОЖ); Δ — быстрорежущая сталь Р6М5 + TiN + Z-DOL (с СОЖ)

изменения износостойкости режущего инструмента и состава покрытия (см. рис. 1 и 2). Обеднение поверхности покрытия азотом и обогащение кислородом во время перехода от стадии приработки к стадии нормального изнашивания связано с трибоокислением TiN. Трибоокисление нитрида титана в нашем случае, очевидно, благоприятно воздействует на процессы трения и изнашивания. Образование кислородосодержащего соединения на основе титана действует как щит, который защищает поверхность.

Таким образом, появление кислородосодержащего соединения при переходе из стадии приработки в стадию нормального изнашивания свидетельствует о самоорганизации трибосистемы "инструмент — деталь" [2, 3]. Во время трения и изнашивания самоорганизация материалов трибосистемы происходит как реакция на внешние условия, вызываемые процессом резания, что во многих случаях приводит к коренным структурным изменениям в поверхностных слоях материалов. Эти изменения касаются многих характерных свойств трущихся поверхностей и приповерхностных слоев (например, геометрических параметров, микроструктуры, физико-химических и механических свойств). Структурная адаптация трибосистемы заканчивается на начальной стадии изнашивания инструмента, т. е. во время приработки. Когда характеристики поверхностных слоев становятся оптимальными, приработочная фаза заканчивается; интенсивность изнашивания уменьшается и начинается стадия нормального изнашивания (устойчивое состояние) [3].

В данном исследовании предлагается следующий механизм изнашивания твердого покрытия с верхним ПФПЭ-слоем. Полимерная молекула связывается с поверхностью покрытия TiN положительно поляризованными атомами водорода в группах OH и CH. Отрицательно поляризованные атомы азота в соединении TiN могут быть центрами адсорбции на поверхности твердого покрытия. Отрицательно поляризованные атомы фтора в группах CF выталкиваются назад из электронных облаков, окружающих место контакта "инструмент—деталь". Подобный процесс формирования поверхностного потенциала с ПФПЭ смазкой был предложен в работах [2, 3]. Благодаря такому электростатическому эффекту ПФПЭ смазка уменьшает фрикционный параметр в зоне контакта "инструмент — обрабатываемая деталь" (см. рис. 2). В связи с

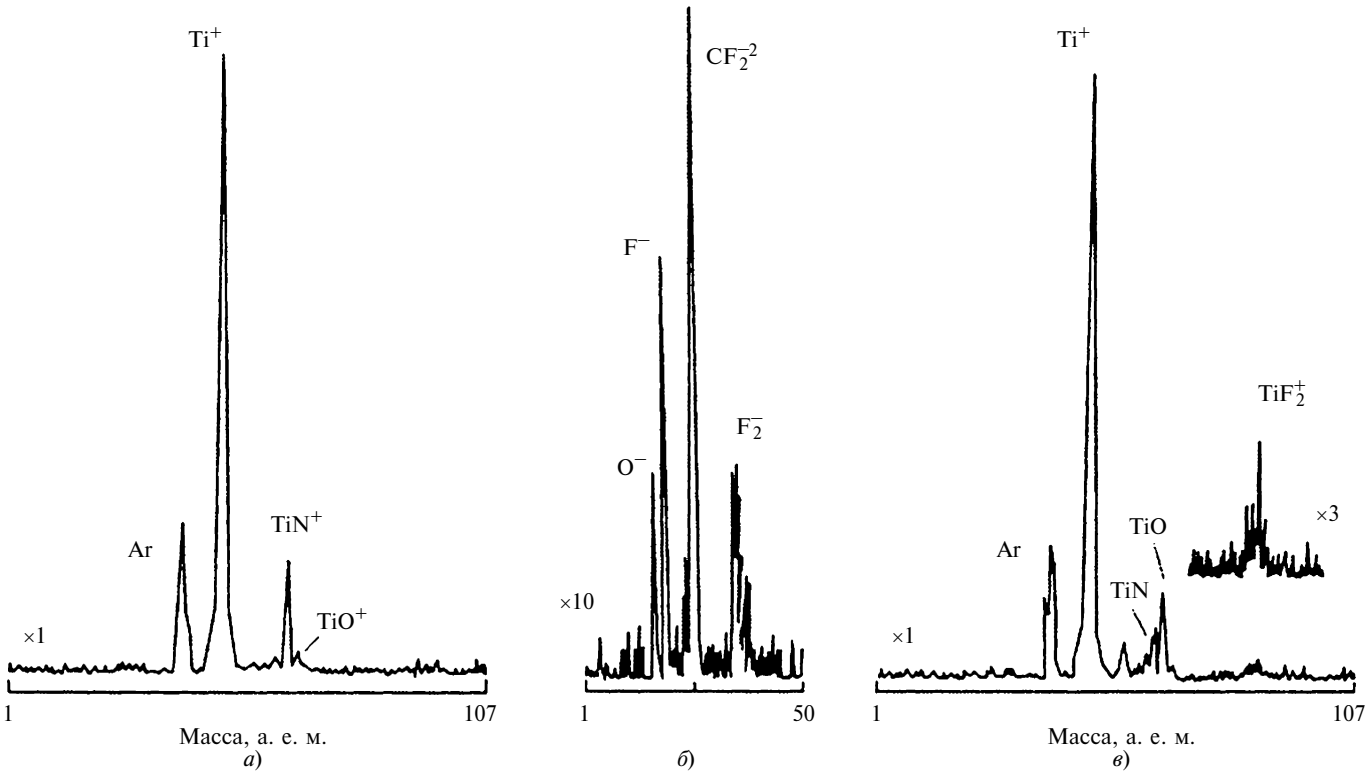


Рис. 3. ВИМС-спектры покрытия TiN со слоем Z-DOL:
а, *б* — спектры положительных и отрицательных ионов до начала резания; *в* — спектр положительных ионов после 200 с резания

этим срок службы инструмента увеличивается.

Следует также принять во внимание и другие объяснения. Такая пленка имеет высокую способность адсорбироваться и благодаря небольшой толщине (5 ÷ 2500 нм) имеет высокую адгезию также с нижним слоем и проникает в поры твердого покрытия. Поверхностная энергия смазок, содержащаяся в типичных охлаждающих жидкостях, используемых при обработке резанием, выше, чем поверхностная энергия Z-DOL пленки. В результате молекулярного взаимодействия смазки и Z-DOL пленки, последняя не сдвигается с поверхности режущего инструмента во время первых стадий резания. Поверхности инструмента и детали разделяются слоем смазки, которая препятствует схватыванию (прилипанию) и интенсивному изнашиванию во время приработки инструмента. Основная функция верхнего антифрикционного слоя — повышение способности к адаптации режущих инструментов с твердым TiN-покрытием. Слой смазки постепенно уменьшается в процессе резания. Трибоэмиссия отрицательно и положительно заряженных частиц и изменение поверхностного потенциала вследствие трибозаряжания и триборазложения ПФПЭ были показаны в работе [2]. В результате этого процесса происходит адсорбция ионов фтора и их взаимодействие с металлом (с образованием фтористого соединения). После 200 с резания образуется TiF_2. Этот процесс сопровождается окислением TiN и переходом массы азота в стружку. Такой переход массы имеет место в условиях экстремальных температуры и напряжения в зоне трения. Пленки кислородных соединений на основе титана образуются на поверхности инструмента во время резания в виде аморфноподобной структуры. Титано-фтористые соединения могут быть более устойчивыми по сравнению с оксидами благодаря более прочным связям, образуемым с TiO соединениями. Оксидные и фтористые соединения с титаном обеспечивают покрытиям высокую защитную способность в условиях изнашивания. Устойчивые титанофтористые соединения, образуемые во время резания, являются, по-видимому, более важными факторами для повышения износостойкости инструмента, чем улучшение условий трения с помощью ПФПЭ верхнего слоя.

Контроль за трением режущего инструмента в условиях адгезионного изнашивания означает локализацию всего (или, более реально, большей части) внешнего воздействия в тонком поверхностном слое при максимальном рассеянии энергии, вырабатываемой во время трения. Большее число каналов рассеяния энергии во время приработки инструмента обеспечивает более высокую износостойкость режущего инструмента. Таково практическое применение универсального принципа рассеивающей гетерогенности [3]. Применение антифрикционного ПФПЭ слоя препятствует интенсивному повреждению поверхности твердого покрытия TiN вследствие антифрикционных свойств слоя и образования защитных устойчивых соединений на поверхности во время приработки. Наконец, устойчивая стадия изнашивания начинается с небольшого повреждения поверхности, что также способствует повышению износостойкости инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Верещака А. С.** Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1993. 336 с.
2. **Fox-Rabinovich G. S.** and other. Characteristic features of alloying HSS — based deformed compound powder materials with consideration for tool self — organization at cutting / Wear. 206. 1997. P. 214.
3. **Мигранов М. Ш., Шустер Л. Ш.** Интенсификация процесса металлообработки на основе использования эффекта самоорганизации при трении. М.: Машиностроение, 2005. 202 с.
4. **Шустер Л. Ш.** Адгезионное взаимодействие твердых металлических тел. Уфа: Гилем, 1999. 199 с.

УДК 621.914.5:621.9.048.6

С. И. АГАПОВ, канд. техн. наук (ВолгГТУ, г. Волгоград)

Повышение стойкости инструмента при зубонарезании мелкомодульных зубчатых колес с наложением ультразвуковых колебаний на заготовку

Эксперименты по определению влияния скорости резания при зубофрезеровании представлены на рис. 1. Одним из положительных эффектов наложения ультразвуковых колебаний (УЗК) на заготовку является возможность достижения заданных параметров качества зубчатого колеса и периода стойкости инструмента. Как видно из рис. 1, введение УЗК в зону резания увеличивает стойкость инструмента в 1,6 ÷ 1,8 раза во всем диапазоне скоростей.

Ввиду того, что мелкомодульные червячные фрезы дороги в изготовлении и эксплуатации, так как требуют высокоточного заточного оборудования и имеют ограниченное число переточек, возникла необходимость проведения исследований с твердосплавным зуборезным инструментом.

Применение твердосплавного зубообрабатывающего инструмента наряду с увеличением производительности обеспечивает требуемую точность обработки, высокое качество поверхности зубьев обрабатываемых колес и расширяет технологические возможности. Применение в промышленности твердосплавных зуборезных инструментов взамен инструментов из быстрорежущих сталей может быть эффективным при решении вопросов выпуска современных высокоскоростных

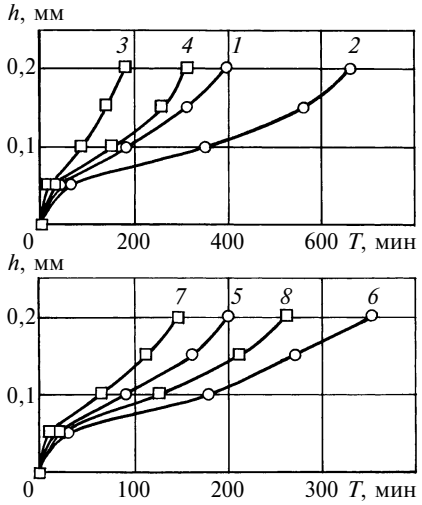


Рис. 1. Зависимости износа фрезы от времени работы и скорости резания:
$m = 0{,}9$ мм; $S = 0{,}5$ мм/об.; $z = 24$; фреза — Р6М5; заготовка — сталь 40Х; *1* и *2* — обычное резание и с УЗК при $v = 0{,}48$ м/с; *3* и *4* — обычное резание и с УЗК при $v = 0{,}66$ м/с; *5* и *6* — обычное резание и с УЗК при $v = 0{,}52$ м/с; *7* и *8* — обычное резание ($v = 0{,}8$ м/с) и с УЗК ($v = 0{,}84$ м/с)

зуборезных станков, обеспечивающих скорости резания от 100 до 300 м/мин [1, 2].

Мелкомодульный инструмент изготовляют полностью из твердого сплава, причем его длина не должна значительно превышать его диаметр, наружная поверхность должна быть конической с углом 5 ÷ 10° на сторону. Профили твердосплавного инструмента рассчитываются по известным методикам.

При чистовой обработке скорости резания и подачи устанавливают с учетом технологических требований к шероховатости и точности обработки поверхностей, а также механических характеристик деталей, марки твердого сплава, необходимой стойкости инструмента, допустимого износа. При высокоскоростном зубофрезеровании важно не превышать допустимый износ, так как твердый сплав более склонен к выкрашиванию, чем быстрорежущая сталь. Допустимый износ твердосплавных червячных фрез для нарезания мелкомодульных зубчатых колес почти в 2 раза меньше, чем аналогичного инструмента из быстрорежущей стали.

Результаты исследования износа фрез из твердого сплава ВК10 и быстрорежущей стали Р6М5 приведены на рис. 2. Как видно из рис. 2, стойкость червячно-модульных фрез с твердым сплавом повышается в 2,8 раза при традиционном резании и в 3,2 раза при резании с УЗК. Следовательно, применение твердосплавного инструмента при УЗК-резании значительно повышает производительность при выполнении тех же требований к качеству зубчатых колес.

Технологически допустимую подачу при высокоскоростном зубофрезеровании инструментом из твердого сплава необходимо выбирать с учетом заданного качества обработки поверхности и требуемой точности, размеров и числа зубьев нарезаемого колеса, прочности и стойкости режущего инструмента. Ввиду хрупкости твердого сплава при зубофрезеровании цельными твердосплавными фрезами назначают меньшие подачи, чем при аналогичных видах обработки инструментом из быстрорежущей стали.

Оставив все параметры процесса зубофрезерования, кроме подачи, прежними, проведем эксперименты.

На рис. 3 приведены зависимости износа фрез из разных инструментальных материалов и при разных подачах. Из рис. 3 видно, что введение УЗК в зону резания снижает износ в 1,8 ÷ 2,2 раза. Уменьшение износа наблюдается при увеличении подачи, что связано с расстройкой ультразвукового блока. Для работы с увеличенной подачей целесообразно было бы применить автоматическую поднастройку по частоте.

Стойкость мелкомодульных зубчатых фрез при введении УЗК в зону резания при зубофрезеровании всегда выше. Объясняется это меньшей деформацией слоев, срезаемых режущими кромками зуба. Результаты исследований показывают, что подача неодинаково влияет на стойкость фрез: при традиционном резании стойкость снижается быстрее, чем при ультразвуковом. Поэтому зубофрезерование мелкомодульных колес с введением в зону резания УЗК дает больший экономический эффект.

Анализ износа зубьев червячно-модульной фрезы говорит о существенном снижении сил резания и сил трения. Под воздействием ультразвука продолжительность неподвижного контакта инструмента и детали сокращается, а следовательно, уменьшаются действующие силы трения из-за снижения адгезионной и деформационной составляющих. Кроме того, ультразвуковые колебания способствуют развитию дефектов структуры (микротрещин, микропор), а также изменению зазора между инструментом и деталью, что способствует засасыванию технологической жидкости. Указанные факторы обусловливают уменьшение износа инструмента и шероховатости поверхности и повышение точности зубчатых колес.

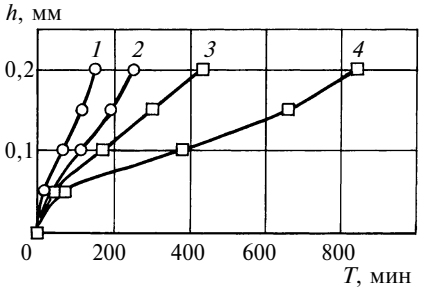


Рис. 2. Зависимости износа фрезы от времени работы и инструментального материала:
$m = 0{,}8$ мм; $v = 0{,}84$ м/с; $S = 0{,}5$ мм/об.; $z = 24$; заготовка — сталь 40Х; *1* и *2* — обычное резание и с УЗК фрезой из стали Р6М5; *3* и *4* — обычное резание и с УЗК фрезой из сплава ВК10

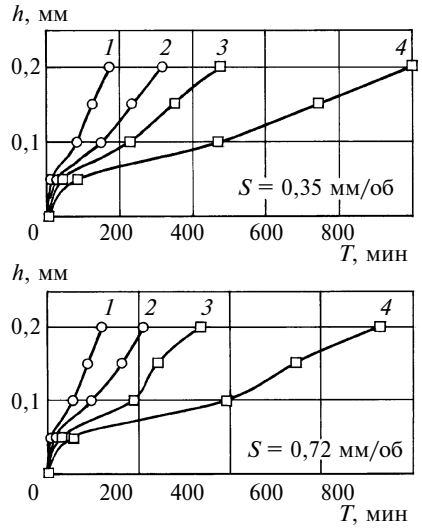


Рис. 3. Зависимости износа фрезы от времени работы и материала фрезы:
$m = 0{,}8$ мм; $v = 0{,}84$ м/с; $z = 24$; заготовка — сталь 40Х; *1* и *2* — обычное резание и с УЗК фрезой из стали Р6М5; *3* и *4* — обычное резание и с УЗК фрезой из сплава ВК10

Для полноты эксперимента были проведены исследования влияния

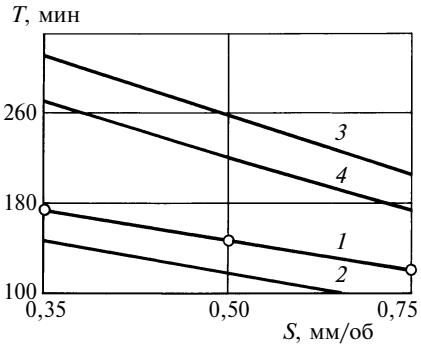


Рис. 4. Зависимости стойкости фрез от величины и направления подачи:
$m = 0{,}8$ мм; $v = 0{,}84$ м/с; $z = 24$; $h = 0{,}2$ мм; фреза — Р6М5, заготовка — сталь 40Х; *1* и *2* — обычное резание с попутной и встречной подачей; *3* и *4* — резание с УЗК с попутной и встречной подачей

направления подачи на стойкость червячно-модульных фрез. Результаты исследований представлены на рис. 4, из которого видно, что характер износа фрез при традиционной зубообработке и при введении в зону резания УЗК аналогичен. Лучшие результаты получены при попутном фрезеровании: стойкость фрез повышается в 1,2 раза по сравнению со встречным фрезерованием. Введение УЗК интенсифицирует этот процесс. Прямые, отображающие зависимость стойкости фрез от способа фрезерования, почти параллельны, а это значит, что процесс ультразвукового резания эффективен при любом способа фрезерования.

Зависимости, приведенные на рис. 4, можно объяснить следующим образом. При встречном зубофрезеровании зуб фрезы сначала срезает тонкий слой, что приводит к проскальзыванию режущего клина на некотором участке. Действующая на задней поверхности зуба фрезы радиальная сила в момент проскальзывания вызывает интенсивное скалывание материала, причем для твердого сплава этот процесс идет более интенсивно. Это и является одной из основных причин снижения стойкости фрез. Кроме того, проскальзывание способствует возникновению вибраций, которые влияют на работу инструмента. При встречном фрезеровании резание заканчивается съемом максимальных толщин срезаемого слоя, т. е. в момент интенсивного нагрева режущих кромок. Резкое охлаждение вызывает напряжения, приводящие к возникновению микроскопических трещин, которые в дальнейшем при ударных нагрузках становятся причиной выкрашивания режущих кромок.

При попутном фрезеровании врезание начинается со снятия стружки максимальной толщины, а угол внедрения режущего клина в поверхность заготовки значительно больше, чем при встречном фрезеровании. Это создает более благоприятные условия резания и уменьшает путь скольжения в начальный момент. При попутном фрезеровании создаются более благоприятные условия, так как резание заканчивается в момент, когда толщина срезаемой стружки стремится к нулю и инструмент нагревается менее интенсивно.

Выводы

1. Направление подачи оказывает незначительное влияние на стойкость инструмента. Стойкость фрез при попутном фрезеровании на 15 ÷ 20 % выше, чем при встречном.

2. Наибольшую стойкость имеют твердосплавные фрезы при работе с наложением УЗК на заготовку.

3. Введение УЗК в зону резания позволяет увеличить в 2 ÷ 3 раза режимы резания при той же стойкости инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Медведицков С. Н.** Высокопроизводителное зубонарезание фрезами. М.: Машиностроение, 1981. 104 с.

2. **Калашников С. Н., Калашников А. С.** Изготовление зубчатых колес. М.: Высшая школа, 1986. 287 с.

УДК 621.919.1

А. В. ЩЕДРИН, канд. техн. наук, В. В. УЛЬЯНОВ (МГТУ им. Н. Э. Баумана);
А. А. БЕКАЕВ (Электростальский политехнический институт);
Р. М. МАТВЕЕВ (МГТУ МАМИ)

Режущее прошивание отверстий по предварительно деформированному слою

Системный структурно-параметрический анализ методов комбинированного прошивания (протягивания) отверстий [1] показал, что упорядочение микроструктуры поверхности деформирующих элементов инструмента, осуществляющих предварительное (опережающее) пластическое деформирование перед режущим воздействием, является перспективным направлением при создании принципиально новых конкурентоспособных технологий.

Анализ силовой динамики и исследования законов формирования поверхностного слоя при режущем прошивании цилиндрических отверстий по предварительно деформированному слою проводили на втулках из стали 40Х (2170÷2410 *HB*) высотой 42 мм и наружным диаметром 40 и 50 мм. Предварительное пластическое деформирование осуществлялось деформирующими элементами инструмента с параметрами: диаметр $22_{-0{,}021}$ мм; рабочий угол $(8 \pm 0{,}5)^\circ$; угол обратного конуса $(8 \pm 0{,}5)^\circ$; ширина калибрующей ленты 10 мм.

Регулярный микрорельеф (РМР) на поверхности деформирующих элементов выполнялся алмазным выглаживателем с радиусом 1,5 мм и представлял собой однозаходные винтовые канавки глубиной 7 и 17 мкм с шагом 0,5; 1 и 1,5 мм. Нулевые параметры РМР условно соответствуют исходному иррегулярному

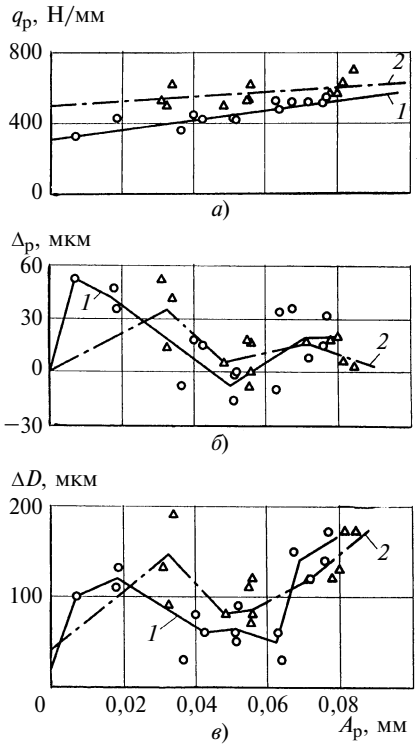


Рис. 1. Зависимости изменений параметров $q_р$ (*а*), $\Delta_р$ (*б*), $\Delta\tilde{D}$ (*в*) от толщины $A_р$ срезаемого слоя для втулок с наружным диаметром 40 (кривая *1*) и 50 мм (кривая *2*)

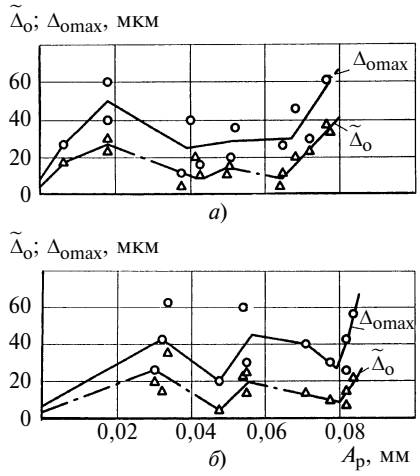


Рис. 2. Зависимости изменений параметров $\Delta_{o\,max}$ и $\tilde{\Delta}_o$ от толщины $A_р$ срезаемого слоя для втулок с наружным диаметром 40 (*а*) и 50 мм (*б*)

микрорельефу (ИРМ), полученному при шлифовании с последующим полированием, с высотой максимального микровыступа $H_{max} \approx 0{,}9$ мкм. Режущее воздействие осуществлялось двузубыми секциями по переменной схеме резания при следующих параметрах: диаметр первого зуба по калибрующей ленточке 21,95 ÷ 22,05 мм; диаметр второго зуба на 0,04 мм

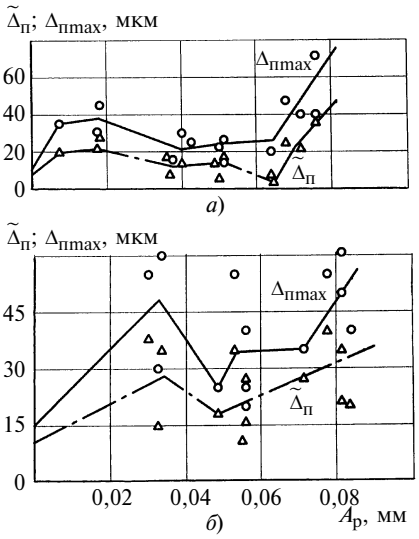


Рис. 3. Зависимости изменений параметров $\Delta_{п\,max}$ и $\tilde{\Delta}_п$ от толщины $A_р$ срезаемого слоя для втулок с наружным диаметром 40 (*а*) и 50 мм (*б*)

меньше первого; главный передний угол $\gamma = +15°$; задний угол $\alpha = 3°$; скорость прошивания 4 м/мин; технологическая смазка — сульфофрезол. Номинальный натяг $i_н$ предварительного пластического деформирования от 0,25 до 1 мм менялся через каждые 0,25 мм.

Силовая динамика оценивалась величиной усилия $q_р$, приходящегося на 1 мм режущей кромки. Качество поверхностного слоя отверстий после прошивания характеризовалось: полем рассеяния ΔD значений диаметра; максимальным $\Delta_{o\,max}$ и средним $\tilde{\Delta}_o$ значениями овальности; максимальным $\Delta_{п\,max}$ и средним $\tilde{\Delta}_п$ значениями отклонений профиля продольного сечения; максимальным $Ra_{D_{max}}$, средним $\tilde{R}a_D$ и минимальным $Ra_{D_{min}}$ значениями параметра *Ra* шероховатости поверхности. Деформация поверхности отверстия оценивалась упругой усадкой $\Delta_у$ или разбивкой $\Delta_р$.

На рис. 1—4 представлены зависимости изменения исследуемых параметров от толщины $A_р$ срезаемого слоя с предварительным деформированием: предварительный натяг $i_н = 0{,}25$ мм; глубина канавок микропрофиля $Г = 1$ мкм; шаг винтовых канавок микропрофиля $Ш = 0{,}5$ мм. При $A_р = 0$ значения

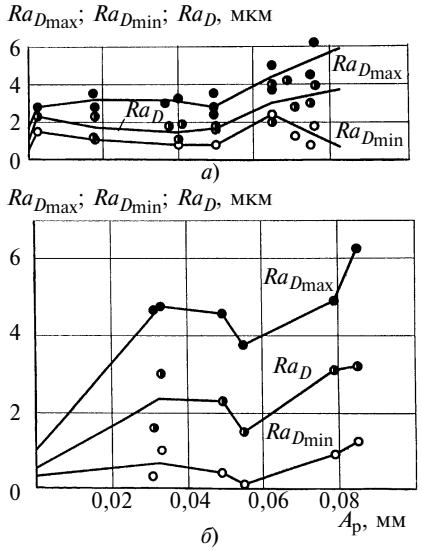


Рис. 4. Зависимости изменений параметров $Ra_{D_{max}}$, $Ra_{D_{min}}$ и $\tilde{R}a_D$ от толщины $A_р$ срезаемого слоя для втулок с наружным диаметром 40 (*а*) и 50 мм (*б*)

параметров поверхностного слоя отверстия соответствуют стадии предварительного пластического деформирования.

Используя зависимости изменения параметра $q_р$ (см. рис. 1, *а*) при

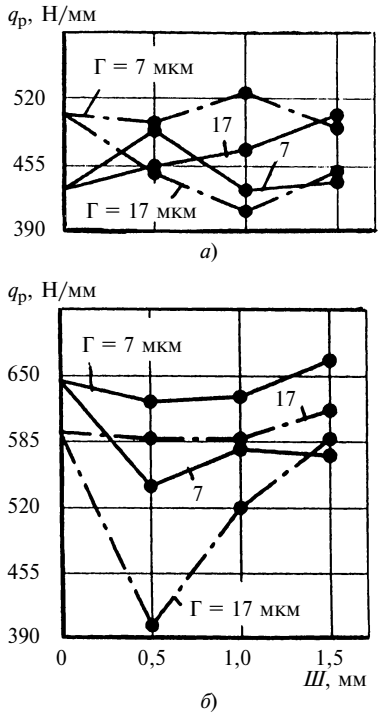


Рис. 5. Зависимости изменений усилия $q_р$ от предварительного натяга $i_н = 1$ мм (——) и $i_н = 0{,}25$ мм (—·—), глубины $Г_к$ канавок микропрофиля при толщине срезаемого слоя $A_р = 0{,}065$ мм для параметров РМР:
а — $D_{зн} = 40$ мм; *б* — $D_{зн} = 50$ мм

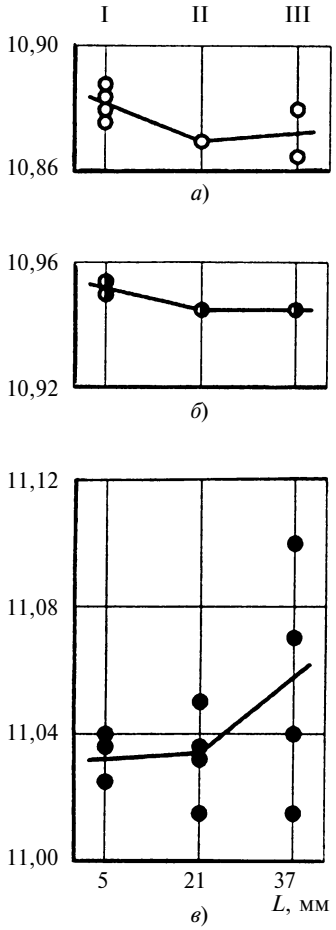


Рис. 6. Усредненные значения параметра отверстия образца № 1 с наружным диаметром 40 мм при толщине снимаемого слоя 0,077 мм после:
а — растачивания; *б* — деформирующего прошивания ($i_н$ = 0,25 мм, $Г$ = 7 мкм, $Ш$ = 0,5 мм); *в* — режущего прошивания

фиксированном значении $A_р$, были построены зависимости (рис. 5), анализ которых показал, что характер и параметры микрорельефа поверхности деформирующих элементов режущего инструмента позволяют существенно влиять на силовую динамику последующего режущего воздействия. Причиной этого является многоцикловое воздействие, так как каждый выступ РМР [2] представляет собой индентор, дополнительно создающий предварительную деформацию поверхностного слоя отверстия, что особенно важно для обеспечения одинаковой стойкости деформирующих, режущих и выглаживающих элементов цельного малоразмерного инструмента.

Кроме того, варьируя параметрами обработки [1], в частности параметрами РМР, можно упрочнять или разупрочнять поверхностный слой заготовки. Причем, предварительное упрочнение (наклеп) необходимо для повышения обрабатываемости при резании вязких материалов, а разупрочнение (перенаклеп) — для повышения обрабатываемости хрупких материалов.

Анализ зависимостей изменения параметра $\Delta_р$ (см. рис. 1, *б*) показал, что при резании могут иметь место как разбивка ($\Delta_р$), так и упругая усадка ($\Delta_у$) поверхности отверстия. Причиной таких изменений является суперпозиция напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя отверстия от предварительного деформирования. Кроме того, можно определить знак, величину и характер внутренних остаточных напряжений.

Исследование зависимостей, приведенных на рис. 1—4, показало, что минимальные значения параметров поверхностного слоя отверстия приходятся на область упругой усадки. Это объясняется тем, что при упругой усадке ($\Delta_у$) задняя грань режущего зуба контактирует с поверхностью отверстия в режиме выглаживания, а при разбивке ($\Delta_р$) задняя грань режущего зуба не контактирует с поверхностью отверстия из-за волны внеконтактной деформации.

Используя исследуемые зависимости для образцов с наружным диаметром $D_{зн}$ = 40 мм, в первом приближении можно получить частные аналитические зависимости:

$$\Delta D = 80{,}165 + 0{,}806\Delta_{у(р)};$$

$$\Delta_{о\ max} = 27{,}96 + 0{,}413\Delta_{у(р)};$$

$$\Delta_{п\ max} = 27{,}926 + 0{,}386\Delta_{у(р)};$$

$$Ra_{D_{max}} = 1{,}964 + 0{,}0217\Delta_{у(р)}.$$

В данных зависимостях значение $\Delta_у$ имеет знак минус, а значение $\Delta_р$ — знак плюс. Кроме того, при фиксированных значениях $A_р$, $\Delta_у$ и $\Delta_р$ можно оценить влияние параметров $\Delta_{о\ max}$ и $\Delta_{п\ max}$ на параметр ΔD.

Следующим этапом исследований был анализ профиля по образующей отверстия после предварительного растачивания и последующих деформирующего и режущего прошивания. Представленные на

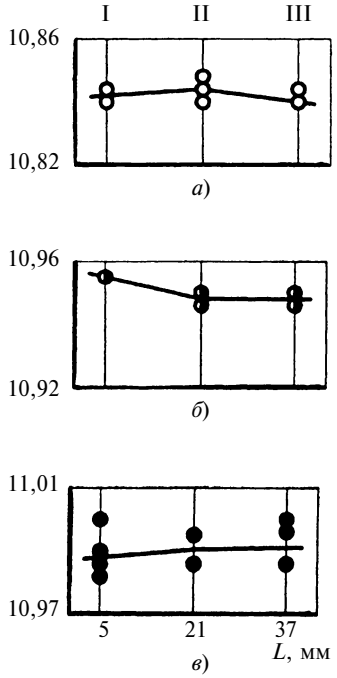


Рис. 7. Усредненные значения параметра отверстия образца № 2 с наружным диаметром 40 мм при толщине снимаемого слоя 0,05 мм после:
а — растачивания; *б* — деформирующего прошивания ($i_н$ = 0,25 мм, $Г$ = 7 мкм, $Ш$ = 0,5 мм); *в* — режущего прошивания

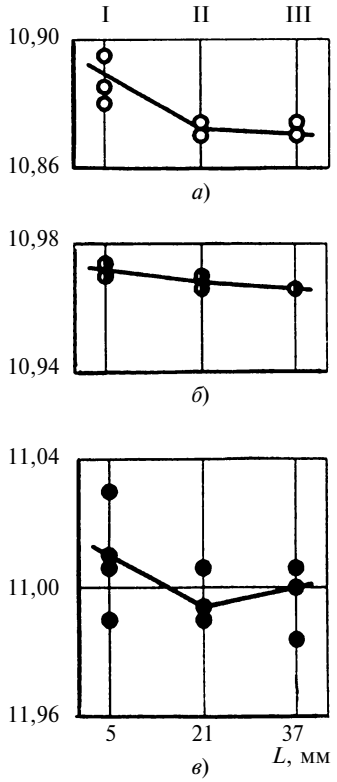


Рис. 8. Усредненные значения параметра отверстия образца № 3 с наружным диаметром 40 мм при толщине снимаемого слоя 0,007 мм после:
а — растачивания; *б* — деформирующего прошивания ($i_н$ = 0,25 мм, $Г$ = 7 мкм, $Ш$ = 0,5 мм); *в* — режущего прошивания

рис. 6—8 зависимости для образцов с наружным диаметром $D_{зн}$ = 40 мм построены по результатам измерения диаметра каждого отверстия: четыре измерения по радиусу и три по продольному сечению (*I—III*). При этом можно рассматривать как среднее значение, так и предельные значения, построенные по крайним точкам. Дополнительные точки измерения (см. рис. 6) в продольных сечениях позволяют определить овальность, а удвоенная разность наибольшего и наименьшего значений радиуса отверстия равна полю рассеяния его диаметра.

Таким образом, подтверждено повышение точности параметров отверстия при обработке резанием в условиях упругой усадки (пат. РФ 2043909). Исследования показали, что анализ профилей отверстий, полученных растачиванием, деформирующим и режущим прошиванием, позволяет оценить степень технологического наследования исходных погрешностей размерных параметров и форм. Все это расширяет информационную базу системно-параметрического синтеза эффективных методов комбинированного прошивания (протягивания) отверстий [3, 4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Щедрин А. В., Таненгольц А. Б., Скоромнов В. М.** Трибологическая концепция системного анализа-синтеза комбинированных методов деформирующе-режущей обработки // Техника машиностроения. 2001. № 4 (32). С. 53—59.

2. **Щедрин А. В., Кузнецов А. М., Егорова З. И.** Повышение эффективности методов комбинированного прошивания отверстий // Машиностроитель. 1999. № 12. С. 36—40.

3. **Совершенствование** комбинированных методов редуцирования и прошивания / А. В. Щедрин и др. // Металлург. 2005. № 10. С. 66—69.

4. **Повышение** эффективности методов комбинированного волочения за счет регуляризации микрогеометрии рабочей поверхности инструмента / А. В. Щедрин, В. В. Ульянов, В. М. Скоромнов и др. // Вестник машиностроения. 2006. № 11. С. 58—60.

УДК 65.011.56:621.914.025.7

С. Г. ЕМЕЛЬЯНОВ, д-р техн. наук, С. А. ЧЕВЫЧЕЛОВ, канд. техн. наук, А. О. ГЛАДЫШКИН (Курский ГТУ)

САПР корпусов фрез для восстановления профиля колесных пар

Изложены основные возможности разработанной системы автоматизированного проектирования и конструирования корпусов сборных фрез, оснащенных сменными твердосплавными пластинами, для восстановления профиля колесных пар. Представлен пример поэтапного создания трехмерной модели корпуса фрезы.

В современном машиностроении важную роль играет качественная технологическая подготовка производства. Одно из главных мест в ней занимает создание систем автоматизированного проектирования и конструирования изделий (САПР), использование которых позволяет существенно сократить время выхода изделия на рынок, повысить качество и в конечном счете конкурентоспособность выпускаемой продукции.

В геометрической теории формирования поверхностей режущими инструментами[1] для реализации геометрической модели в виде САПР режущих инструментов разработан универсальный аналитический аппарат, предусматривающий три этапа проектирования: установление связи параметров формируемой и исходной (формирующей) поверхностей; формирование режущей части инструмента; оценка инструмента путем численного моделирования его работы.

Фреза для обработки колес железнодорожного транспорта представляет собой сложнопрофильный сборный инструмент, оснащенный сменными пластинами из твердого сплава. Так как типоразмеров профилей железнодорожных колес достаточно много, то, соответственно, и инструмент (фрезы) будет иметь различные конструктивные особенности. Разработанная на кафедре "Машиностроительные технологии и оборудование" Курского государственного технического университета САПР позволяет в диалоговом режиме создать трехмерную модель любого корпуса таких фрез.

На первом этапе процесса моделирования рассчитываются массивы параметров дискретного представления образующей производящей поверхности инструмента по параметрам профиля обрабатываемого колеса.

На рис. 1 представлен профиль фрезеруемого колеса, который задан набором конструктивных параметров и представляет собой набор "типовых" линий, таких как

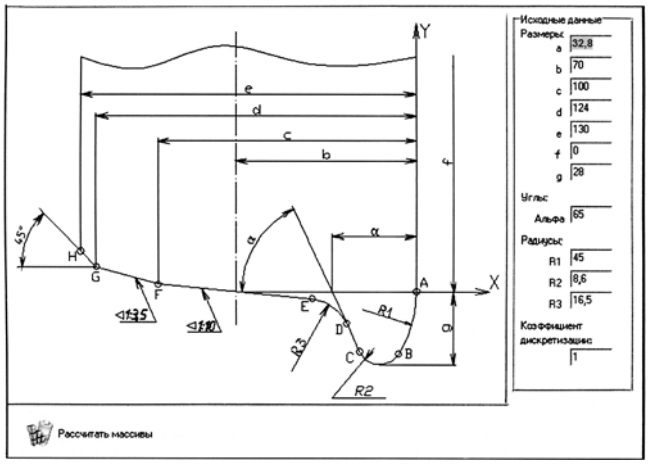


Рис. 1. Окно ввода исходных данных

[1] **Геометрическая** теория формирования поверхностей режущими инструментами: Монография / С. И. Лашнев, А. Н. Борисов, С. Г. Емельянов. Курск: Курский ГТУ, 1997. 391 с.

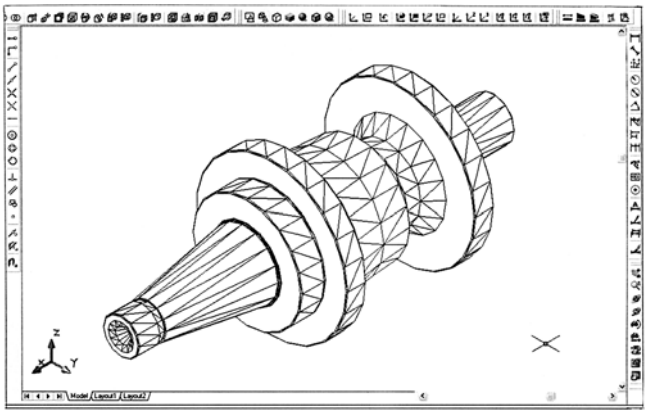


Рис. 2. Трехмерная модель корпуса фрезы после токарной обработки

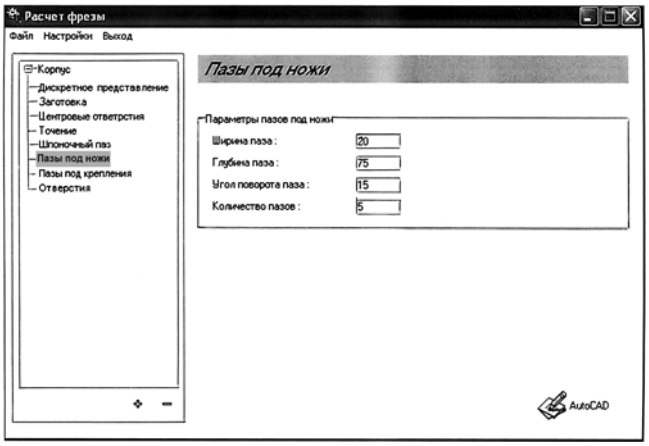


Рис. 3. Интерфейс программы

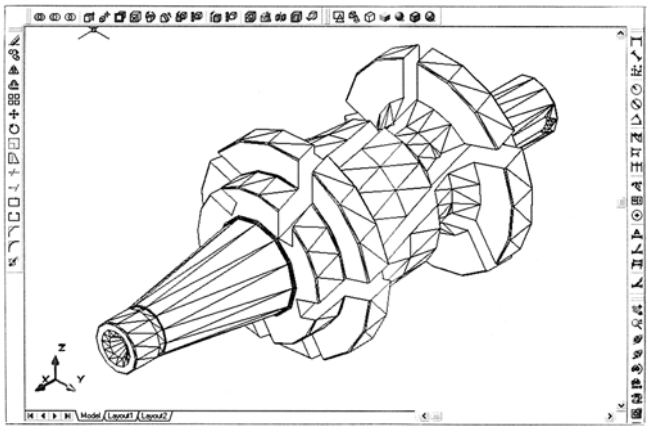


Рис. 4. Трехмерная модель корпуса фрезы после фрезерной обработки

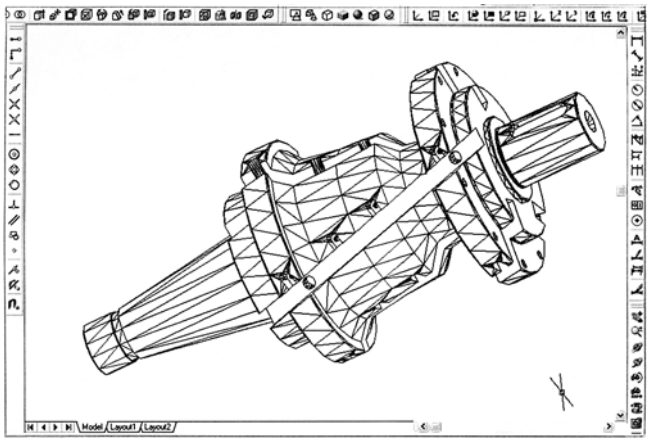


Рис. 5. Трехмерная модель корпуса фрезы для обработки колесных пар

отрезки прямых (участки *CD*, *EF*, *FG*, *GH*) и дуг окружностей (участки *AB*, *BC*, *DE*). Каждый участок определяется своими параметрами (для отрезка прямой — это координаты начальной и конечной точек, для дуги окружности — ориентация, координаты центра, начальной и конечной точек).

Расчет дискретного представления профиля реализуется в три этапа [1]:

1) расчет по конструктивным параметрам профиля параметров и координат опорных точек участков "типовых" линий;

2) расчет дискретного представления "типовых" линий;

3) объединение дискретного представления участков "типовых" линий в одно общее дискретное представление профиля.

На втором этапе по заданным габаритным размерам корпуса фрезы и параметрам цилиндрического и конического хвостовиков проектируется заготовка. Далее последовательно формируются центровые отверстия и профиль корпуса после операции точения. Контур для точения может назначаться различный в зависимости от станка, на котором будет работать фреза, от профиля колеса и других факторов.

САПР позволяет визуально контролировать результаты конструирования путем построения трехмерной модели процесса выполнения каждого этапа в системе AutoCAD (рис. 2).

На следующем этапе задаются параметры фрезерной обработки шпоночного паза на цилиндрическом хвостовике для передачи крутящего момента и пазов под ножи, на которых непосредственно будут располагаться режущие твердосплавные пластины. Число пазов под ножи, их глубина и ширина, а также угол поворота относительно оси корпуса могут быть заданы самыми разными (рис. 3). На рис. 4 представлен результат работы программы при числе пазов, равном 5.

На заключительном шаге производится задание параметров и формирование пазов и отверстий для крепления ножей и фиксирующих колец к сконструированному корпусу (рис. 5).

Разработанная система позволяет в автоматизированном режиме провести проектирование и конструирование корпусов фрез для обработки колес железнодорожного транспорта различных типоразмеров.

Поэтапное построение трехмерной модели позволяет контролировать процесс и при необходимости вносить изменения на любом шаге проектирования. Созданная по итогам работы программы модель корпуса фрезы является основой для автоматизированной подготовки управляющих программ для станка с ЧПУ, что значительно повышает скорость, качество и культуру технологической подготовки производства.

УДК 621.7.08:621.73.02

В. И. БОЧЕНИН, д-р техн. наук (Курганский государственный университет)

Неразрушающий контроль полноты закалки локальных участков штамповых поковок

Предложен способ неразрушающего контроля полноты закалки локальных участков крупногабаритных штамповочных поковок из стали 5ХНМ, основанный на определении фазового состава материала после закалки по плотности стали, которая измеряется путем регистрации обратнорассеянного излучения радионуклида Cs^{137} за 2—3 с. Быстродействие контроля в промышленных условиях позволяет откорректировать продолжительность нагревания поковки при закалке.

Как известно [1], полнота закалки изделия, прошедшего термическую обработку, оценивается по содержанию мартенсита и остаточного аустенита. Определение полноты закалки различных участков крупногабаритных поковок, устанавливаемых в штампы, вызывает некоторые трудности. В связи с этим был разработан способ неразрушающего контроля полноты закалки локальных участков поковок из стали 5ХНМ путем облучения поверхностного слоя контролируемого участка гамма-квантами радионуклида с последующей регистрацией обратнорассеянного излучения, с помощью которого фиксируется плотность термообработанной стали. Полноту закалки определяют по экспериментальной зависимости, связывающей плотность с содержанием остаточного аустенита.

Так как в структуре закаленной штамповой стали кроме α- и γ-фаз могут присутствовать карбидные фазы, то их влияние на результаты измерений учитывается с помощью двухканальной системы детектирования (рис. 1), в которой реализуется сравнительный способ измерения с помощью каналов (коллиматоры) контролируемой среды (КС) и эталонного образца (ЭО). Радиоизотопные источники *1* (радионуклиды) гамма-квантов и сцинтилляционные детекторы *2* установлены в выносных датчиках *3* и *9* со свинцовой защитой, что позволяет осуществлять контроль. Гамма-кванты от радионуклидов проходят через коллиматоры *4* диаметром 8 мм и длиной 50 мм, которые формируют параллельный поток фотонов, падающих на поверхность контролируемой среды *6* и эталонного образца *7*. Отраженное обратнорассеянное излучение проходит через коллиматоры *5*, которые направляют его к детекторам *2*. Далее сигнал поступает в предварительный усилитель, импульсы с которого подаются в линейный усилитель и далее в серийный двухканальный гамма-спектрометр *8* типа РРША [2]. В гамма-спектрометре установлены два индикаторных прибора, фиксирующих поток обратнорассеянного излучения в каждом канале. Питание регистрирующей установки осуществляется автономным источником тока напряжением 12 В.

Предусмотрено изменение угла φ между осями коллиматоров *4* и *5*, которые пересекаются на расстоянии *d* от поверхности контролируемой среды. Поток обратнорассеянного излучения находят по формуле [3]

$$N_{\alpha\gamma} = K_S \rho_{\alpha\gamma} V l^{-\mu_{\alpha\gamma} d},$$

где K_S — постоянный коэффициент, зависящий от геометрических и атомных констант; $\rho_{\alpha\gamma}$ — плотность двухфазной стали, г/см^3; V — объем общей области пересечения коллиматоров, см^3; $\mu_{\alpha\gamma}$ — коэффициент ослабления обратнорассеянного излучения (по массе), см^2/г.

При измерении на небольшой глубине (φ от 115 до 120°) значения параметров $\mu_{\alpha\gamma}$ и d малы и ими можно пренебречь, тогда для КС и ЭО получим:

$$N^{к}_{\alpha\gamma} = K_S \rho^{к}_{\alpha\gamma} V; \quad (1)$$

$$N^{э}_{\alpha\gamma} = K^{э}_S \rho^{э}_{\alpha\gamma} V. \quad (2)$$

Разделив равенство (1) на равенство (2), получим:

$$\rho^{к}_{\alpha\gamma} = \frac{N^{к}_{\alpha\gamma}}{N^{э}_{\alpha\gamma}} \rho^{э}_{\alpha\gamma}. \quad (3)$$

Исследование достоверности уравнения (3) было проведено с использованием радионуклидов с различ-

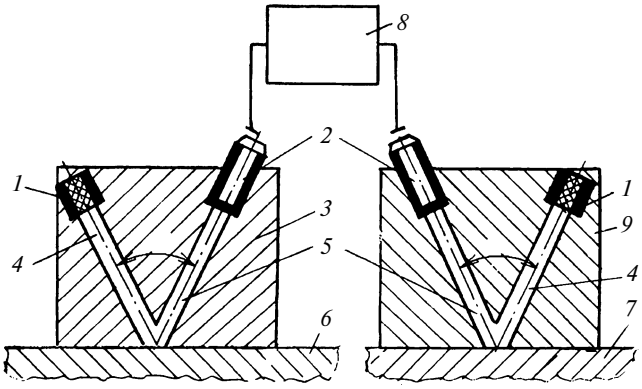


Рис. 1. Схема двухканальной системы детектирования

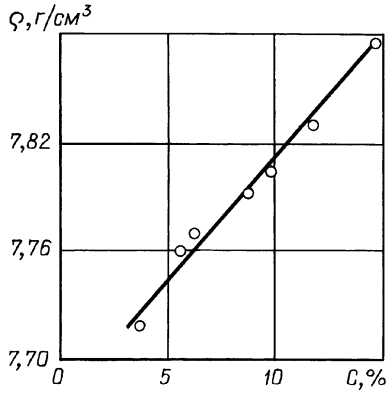


Рис. 2. Зависимость относительной концентрации аустенита от плотности образцов из стали 5ХНМ, прошедших термическую обработку

Значения плотности, полученные гидростатическим взвешиванием и методом неразрушающего контроля, и их отклонения

Номер образца	Температура закалки, °С	Плотность, полученная гидростатическим взвешиванием, г/см^3	Относительная концентрация аустенита, определенная магнитным методом, %	Плотность, полученная методом неразрушающего контроля, с использованием радионуклида, г/см^3			Отклонения от результатов гидростатического взвешивания при использовании радионуклида, г/см^3		
				Co^{57}	Se^{75}	Cs^{137}	Co^{57}	Se^{75}	Cs^{137}
1	750	7,88	15	8,83	7,71	7,88	+0,95	−0,19	−0,04
2	770	7,83	12	8,21	7,55	7,84	+0,38	−0,28	+0,01
3	785	7,78	8	7,45	7,96	7,77	−0,33	+0,18	−0,01
4	800	7,77	7	7,51	7,98	7,79	−0,26	+0,21	+0,02
5	830	7,73	4	8,15	7,47	7,75	+0,42	−0,26	+0,02
6	875	7,76	6	7,44	7,85	7,76	−0,32	+0,09	0
7	900	7,79	9	8,29	8,15	7,80	+0,50	+0,36	+0,01

ной энергией фотонов. Для этого семь плоских образцов стали 5ХНМ размером 30 × 30 × 3 мм подвергали закалке, нагревая с температуры 750 °С до температуры 900 °С в трубчатой печи с последующим охлаждением в масле. Полноту закалки определяли рентгеноструктурным методом. На дифрактометре ДРОН-2 в хромовом излучении ($\lambda_{K\alpha 1} = 2{,}285 кх$, $\theta = 78°06'$) фиксировали дифракционный максимум α-фазы 211 и определяли ширину дифракционной линии 211 в зависимости от температуры закалки. Было установлено, что максимальная ширина линии соответствовала температуре закалки 840 °С. Затем гидростатическим взвешиванием определяли плотность каждого образца, а магнитным методом — фазовый состав [4] и строили аналитический график (рис. 2). Зависимость плотности ρ термообработанных образцов от относительной концентрации *C* аустенита оказалась линейной.

Измерения выполняли радиоизотопным способом, используя образцы с известными значениями плотности и фазовым составом. В датчик *9* (см. рис. 1) помещали эталонный образец *7*, имеющий плотность 7,73 г/см^3, а в датчик *8* — исследуемый образец *6*. Поверхностный слой каждого образца предварительно облучили гамма-квантами радионуклида Co^{57} ($E = 0{,}12$ МэВ, активность 0,4 Вк). Потоки обратнорассеянного излучения регистрировали с помощью гамма-спектрометра в канале КС ($N^{к}_{\alpha\gamma}$) и в канале ЭО ($N^{э}_{\alpha\gamma}$).

В таблице приведены сравнительные результаты измерений, анализ которых показал значительные отклонения радиоизотопных измерений от данных гидростатического взвешивания.

Затем аналогичные измерения проводили после облучения поверхностного слоя образцов гамма-квантами радионуклида Se^{75} ($E = 0{,}14$ МэВ, активность 0,5 Вк). Результаты также показали значительную разницу с данными радиоизотопного способа. Наиболее удовлетворительные результаты удалось получить при облучении образцов гамма-квантами Cs^{137} ($E = 0{,}66$ МэВ, активность 0,5 Вк).

По результатам исследований был разработан метод промышленного контроля полноты закалки поковок. Радиоизотопный анализатор устанавливали в цехах, осуществляя его настройку по образцам небольших размеров с известными плотностью и фазовым составом. В анализаторе устанавливали эталонный образец с полной закалкой (содержание аустенита 4 %). Поковки размером 500 × 600 мм нагревали в печи до температуры 840 ÷ 860 °С с выдержкой в течение 2 ÷ 2,5 ч. Затем их охлаждали в масле и проводили радиоизотопный контроль закалки локальных участков поковок. Датчик КС подключали к гамма-спектрометру. Контролируемый участок очищали от окалины и загрязнений и устанавливали на него датчик КС, облучая поверхностный слой эталонного образца и поковки гамма-квантами радионуклида Cs^{137}. В коллиматоре ЭО регистрировали поток обратнорассеянного излучения $N^{э}_{\alpha\gamma}$, а в коллиматоре КС — $N^{к}_{\alpha\gamma}$. По формуле (3) рассчитывали плотность и, используя аналитический график, определяли содержание остаточного аустенита.

На основании многократного контроля был разработан способ экспресс-анализа полноты закалки, выполняемый за 2 ÷ 3 с по отношению $N^{к}_{\alpha\gamma} / N^{э}_{\alpha\gamma}$. Если это отношение находится в пределах 0,98 ÷ 1, то закалка считается полной.

Промышленное использование показало, что новый метод неразрушающего контроля имеет высокую эффективность: за 1 ÷ 1,5 мин можно определить фазовый состав на 8 ÷ 10 участках поковки. Портативность регистрирующей аппаратуры (масса каждого датчика 1 кг) позволяет выполнять контроль на любом участке. Данный метод позволяет быстро определить продолжительность нагрева поковки, сокращая тем самым выпуск бракованной продукции. Свинцовая защита (слой 0,3 мм) измерительных датчиков снижает радиационное излучение до допустимого уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Жданов Г. С., Уманский Я. С.** Рентгенография металлов. М.: Металлоиздат, 1938. 425 с.
2. **Большаков А. Ю.** Рентгенорадиометрический метод исследования состава горных пород. М.: Атомиздат, 1970. 136 с.
3. **Плотников Р. И., Пшеничный Г. А.** Флуоресцентный рентгенорадиометрический анализ. М.: Атомиздат, 1973. 263 с.
4. **Апаев Б. А.** Фазовый магнитный анализ сплавов. М.: Металлургия, 1976. 280 с.

УДК 621.785.5:539.375.6

М. У. АХМЕДПАШАЕВ, (Дагестанский ГТУ, г. Махачкала)

Зависимость механических свойств поверхностно упрочненных сложнолегированных сталей для металлообрабатывающего инструмента от условий насыщения

Подобраны оптимальные режимы карбидизации и термической обработки рационально легированных материалов на основе железа. Изучено влияние температуры и времени карбидизации на твердость сталей 30Х7М2Т, 25Х10МВФТ, 20Х13МВТ. Получены математические модели влияния легирующих элементов на механические свойства сталей, специально выплавленных по матрице планирования.

В процессе резания металла вблизи изнашивающихся кромок возникает сложное неоднородное силовое поле. При этом происходит износ не всей поверхности кромок, а лишь определенных частей. Поэтому формирование диффузионного слоя оптимальной структуры при поверхностном упрочнении имеет большое значение для повышения эксплуатационной стойкости деталей машин.

Науглероживание проводили в шахтных печах с кремниевыми электрическими нагревателями в сварных жароупорных контейнерах диаметром 60 ÷ 70 мм и высотой 120 ÷ 150 мм с плавким затвором из ангидрида бора (B_2O_3). При этом температуру в пределах 950 ÷ ÷ 1050 °С поддерживали с помощью электронного потенциометра ПСР 1-01. Зависимости изменения твердости сталей 30Х7М2Т, 25Х10МВФТ, 20Х12МВТ [1, 2] от температуры и продолжительности науглероживания показаны соответственно на рис. 1, *а* и *б*. Из рис. 1 видно, что уже при выдержке 2 ч формируется диффузионный слой с достаточно высокой твердостью 57 ÷ 64 *HRC*. При выдержке от 4 до 6 ч существенных изменений твердости диффузионного слоя не наблюдается. При температуре науглероживания выше 1000 °С и выдержке 6 ч твердость слоя снижается, что особенно заметно у стали 30Х7М2Т. Самой высокой твердостью при температурах насыщения 1050 °С, закалки от 975 ÷ 1000 °С и отпуска 200 °С обладает сталь 20Х13МВТ, что связано с увеличением в ней карбидообразующих элементов и повышением процентного содержания легирующих элементов. Твердость стали 30Х7М2Т после закалки (t = 975 °С) и отпуска (t = 200 °С) снижается сильнее (с 60 ÷ 63 до 58 ÷ 60 *HRC*), вследствие меньшей ее легированности. Твердость всех исследуемых сталей при температуре закалки выше 1000 °С снижается, причем с повышением процентного содержания карбидообразующих элементов она уменьшается незначительно, например, для стали 20Х13МВТ до 60 ÷ 64 *HRC*.

Для детального изучения фазового состава были проведены исследования микротвердости, микроструктурный (рис. 2 ÷ 4), структурный и фазовый рентгеноструктурный анализы диффузионных слоев после закалки от 975 °С и отпуска при 200 °С. Исследовали стали, которые при температурах закалки показали вы-

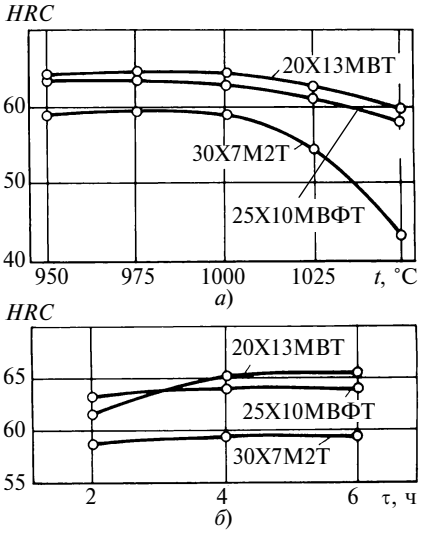


Рис. 1. Влияние температуры *t* (*а*) к времени τ (*б*) науглероживания на твердость сталей

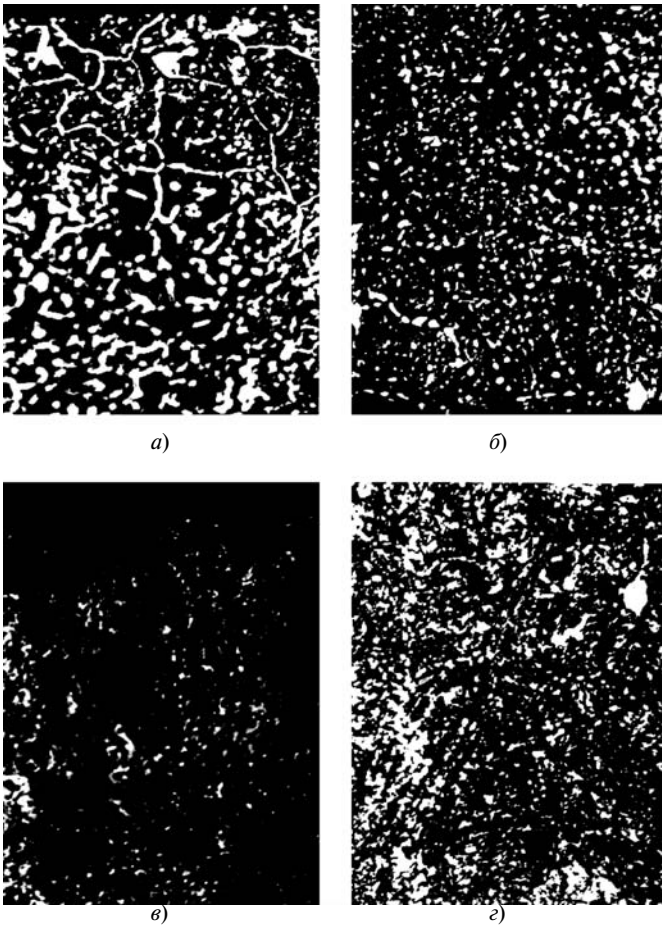


Рис. 2. Микроструктуры науглероженной стали 30Х7М2Т после закалки и отпуска при 200 °С (× 320):
а, *б* — закалка от 950 °С соответственно на поверхности и на глубине 1 мм; *в*, *г* — закалка от 1050 °С соответственно на поверхности и на глубине 1 мм

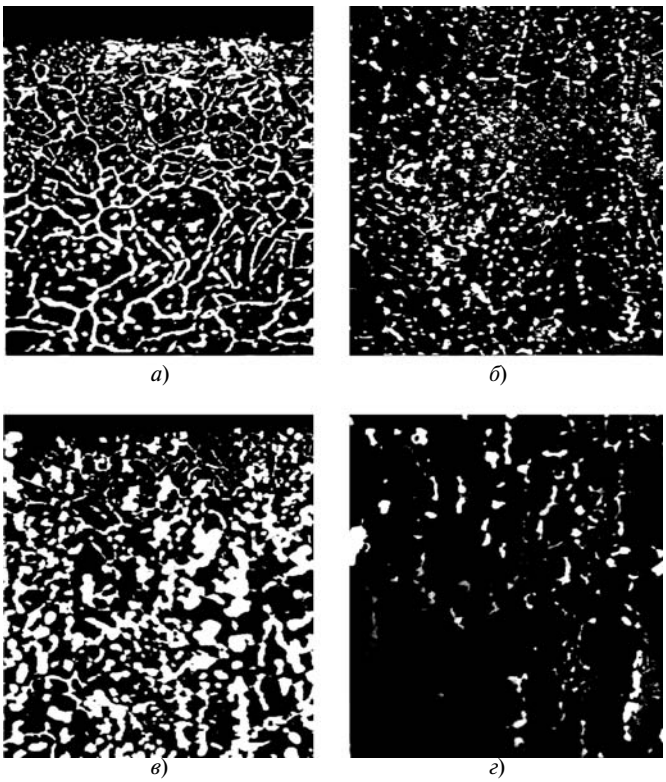


Рис. 3. Микроструктуры науглероженной стали 25Х10МВФТ после закалки и отпуска при 200 °С (× 320):
а, *б* — закалка от 975 °С соответственно на поверхности и на глубине 0,75 мм; *в*, *г* — закалка от 1050 °С соответственно на поверхности и на глубине 0,75 мм

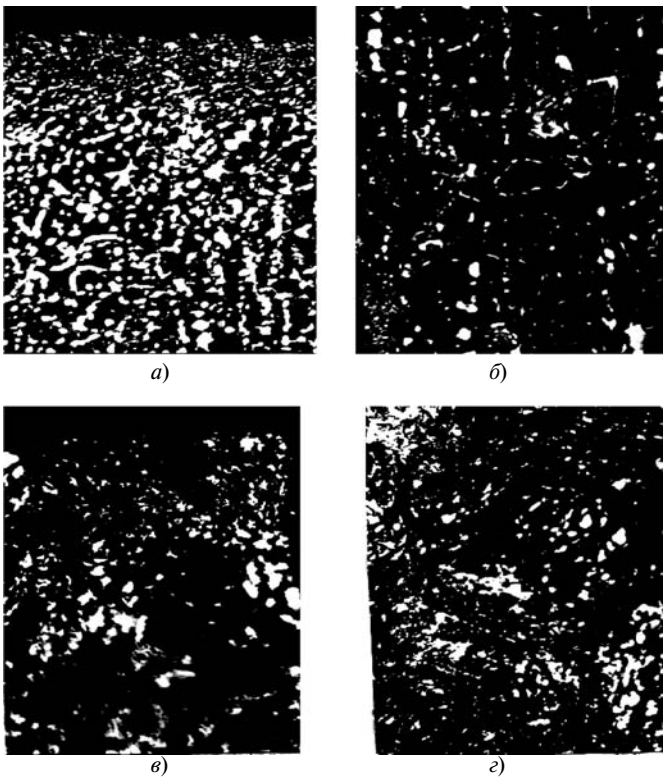


Рис. 4. Микроструктуры науглероженной стали 20Х12МВТ после закалки и отпуска при 200 °С (× 320):
а, *б* — закалка от 975 °С соответственно на поверхности и на глубине 0,6 мм; *в*, *г* — закалка от 1050 °С соответственно на поверхности и на глубине 1 мм

сокие и низкие значения твердости. Так, при повышении температуры закалки в стали 30Х7М2Т растворяется больше карбидов. При температуре 1050 °С в диффузионном слое их количество уменьшается до 1 % и степень легированности аустенита увеличивается. Микротвердость этой стали при закалке от 1050 °С падает до 4 ÷ 5 кН/мм^2.

Незначительное изменение твердости стали 20Х12МВТ после закалки связано с тем, что в диффузионном слое содержится достаточно большое количество (15 ÷ 20 %) устойчивых карбидов, вследствие чего они незначительно растворяются в аустените при нагреве под закалку и существенно не влияют на количество остаточного аустенита. Микротвердость этой стали после закалки (t = 1050 °С) остается достаточно высокой: 8 ÷ 9 кН/мм^2. Однако, как показали металлографические исследования, в ней наблюдается сосредоточение карбидов по границам бывших аустенитных зерен.

Влияние содержания карбидообразующих элементов и температуры закалки на твердость науглероженных слоев изучали при температурах отпуска от 200 до 600 °С. У всех исследованных сталей при отпуске до 500 °С сохраняется высокая твердость, а у стали 20Х12МВТ, содержащей более 12 % легирующих элементов, закаленной от 1050 °С и отпущенной при 500 ÷ 600 °С, наблюдается повышение твердости до 56 ÷ 57 *HRC*, т. е. проявляется эффект "вторичной закалки", что связано с распадом остаточного аустенита.

Таким образом, для указанных выше сталей, изменяя температуры закалки и отпуска, можно достичь твердости более 57 ÷ 60 *HRC*, что указывает на перспективность использования их для штампового инструмента, работающего при температурах до 500 °С.

На основании проведенных исследований нами выбраны оптимальные условия проведения науглерожива-

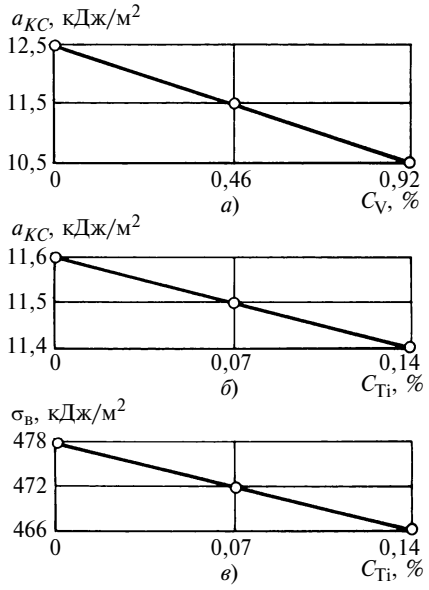


Рис. 5. Влияние содержания C_V (*а*) и C_{Ti} (*б*, *в*) на ударную вязкость a_{KC} и предел прочности при растяжении ($\sigma_в$) сталей после насыщения: науглероживание при 1000 °С, τ = 6 ч; закалка при 975 °С; отпуск при 200 °С в течение 1 ч

ния и термической обработки сталей при температурах: науглероживания — 1000 °С в течение 6 ч, закалки — от 975 °С и отпуска — 180 ÷ 200 °С.

Для указанных сталей получены следующие механические свойства:

Сталь	30Х7М2Т	25Х10МВФТ	20Х12МВТ
Ударная вязкость a_{KC}, кДж/м^2	12,5	13,9	9,8
Предел прочности при растяжении $\sigma_в$, МПа . . .	850	412	474
Твердость $HRC_э$ . . .	61	63	63

При статистической обработке данных влияния степени легирования сталей на ударную вязкость, предел прочности при растяжении и твердость использовали матрицу планирования. Варьировали следующие факторы (содержание легирующих элементов): X_1 (0,2 ÷ 0,3 % С); X_2 (7 ÷ 13 % Cr); X_3 (1 ÷ 2 % Mo); X_4 (0—0,6 % W); X_5 (0 ÷ 1 % V); X_6 (0 ÷ 0,4 % Ti). В результате проведенных экспериментов получены следующие уравнения регресии:

$$Y_3 = 11{,}5 - 2{,}1X_5 - 2{,}1X_6;$$
$$Y_4 = 472 - 82X_6;\ Y_5 = 62 - 10X_6.$$

Анализ полученных уравнений показал, что после науглероживания и термической обработки на ударную вязкость наиболее отрицательно влияют ванадий и титан, остальные элементы на этот параметр (при данных интервалах варьирования) существенного влияния не оказывают. На предел прочности при растяжении и твердость отрицательное влияние оказывает повышенное содержание титана, что связано с затратой углерода на образование отдельных карбидов TiC. Остальные факторы статистически незначимы. Влияние легирующих элементов на ударную вязкость и предел прочности при растяжении показано на рис. 5.

Выводы

1. Подобраны оптимальные режимы науглероживания и термической обработки (88 % древесный уголь + + 12 % $NaHCO_3$; $t_{наук}$ = 1000 °С; τ = 6 ч; $t_{зак}$ = 975 °С, $t_{отп}$ = 180 ÷ 200 °С) рационально легированных сталей.

2. Получены математические модели влияния легирующих элементов на механические свойства сталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **А. с. 950791 СССР:** МКИ^3 С 22 С 38/28: Цементуемая штамповая сталь.
2. **А. с. 996504 СССР**: МКИ^3 С 22 С 38/28: Цементуемая сталь.

Вышла книга

Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах/ Под общ. ред. Н. П. Алешина, Г. Г. Чернышева. 1-е изд. — М.: Машиностроение, 2004. — 1136 с: ил.

ISBN: 5-217-03262-6

Цена 1430 р. (с НДС)

В первом томе приведены теоретические основы сварки, виды сварных соединений, технологические основы проектирования сварных конструкций; сущность процессов, оборудование, сварочные материалы, выбор режимов сварки: дуговой, электрошлаковой, электрической, контактной, концентрированными источниками питания, давлением, газовой и т. д. Рассмотрены основы пайки, припои и технологии пайки различных материалов. Изложены сведения по газовой сварке и резке, а также гидро- и гидроабразивной резке; их способы, оборудование и области применения.

Во втором томе приведены технология и особенности сварки различных материалов: стали и сплавов, чугуна, цветных металлов и сплавов, тугоплавких металлов и сплавов, металлических композиционных материалов, разнородных металлов и сплавов. Рассмотрены способы наплавки, материалы для наплавки, виды наплавочных материалов, особенности восстановления деталей наплавкой. Даны технологии нанесения различных покрытий. Изложены основы неразрушающего контроля качества сварных соединений, организация и экономика сварочного производства, техническое нормирование сварочных работ, стандартизация и сертификация в сварочном производстве, безопасность труда и средства защиты.

Для инженерно-технических работников всех отраслей промышленности, а также рекомендуется как учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 651400 "Машиностроительные технологии и оборудование" по специальности 120500 "Оборудование и технология сварочного производства". Справочник может быть полезен высококвалифицированным рабочим.

УДК 338.246

Л. М. КЛЯЧКО, канд. техн. наук, А. Е. СТЕПАНОВ, д-р экон. наук (ЦНИИ "КУРС"),
Н. И. САЛАМАТИНА, д-р экон. наук (КБ "Российский капитал"),
И. Е. ЮДИН, канд. экон. наук (МГТУ им. Н. Э. Баумана)

Формирование современной промышленной политики, способствующей активизации инвестиционного процесса

Промышленность России пережила тяжелейшие годы конца XX века, когда государственная политика в этой базовой отрасли экономики заключалась только в одном — в отсутствие всякой политики. Потребовалось более десяти лет, чтобы государство осознало, что главным рычагом преодоления тяжелейших последствий социально-экономического кризиса, обеспечения стабильного поступательного развития страны является не бездумная эксплуатация энергетических богатств страны и в первую очередь нефтегазовых ресурсов (разведанных и освоенных, кстати, еще в советское время), а развитие несырьевых воспроизводимых ресурсов.

Как отмечено в подготовленном Торгово-промышленной палатой РФ для руководства страны документе "Государственная промышленная политика России. Проблемы формирования и реализации", "промышленная политика — это система мер, направленных на развитие национальной экономики, новейших технологий и продуктов с высокой степенью обработки, современных информационных и других услуг, человеческого капитала. Ее энергичное и последовательное осуществление позволит России обеспечить высокое качество жизни населения, сохранить себя в качестве одной из мировых держав, занять достойное место в глобальной экономике".

Осознание необходимости формирования и реализации промышленной политики отражено в среднесрочной программе Правительства Российской Федерации "Основные направления деятельности Правительства Российской Федерации на период до 2008 года" (утверждены 28 июля 2004 года). В этом документе намечены пути устранения структурных ограничений экономического роста: развитие технологической базы экономики, развитие высокотехнологичного сектора, включая развитие оборонно-промышленного комплекса, атомной и авиакосмической промышленности, связи и телекоммуникаций, фармацевтики и биотехнологии, производства программного обеспечения и др.

В этих целях правительство предполагает:

разработать и приступить к реализации долгосрочной (до 2010 ÷ 2015 гг.) стратегии развития инноваций;

обеспечить функционирование системы институтов развития и венчурных фондов, отработать механизмы финансирования инновационной сферы на долгосрочной основе;

сосредоточить усилия на стратегически важных направлениях фундаментальных и прикладных исследований, что потребует концентрации соответствующих финансовых ресурсов государства, создания условий для увеличения инвестиций на финансирование научных исследований и разработок, а также укрепления связи образования с экономикой путем создания интегрированных научно-образовательных структур;

использовать весь набор таких оправдавших себя инструментов реализации инновационной политики, как федеральные целевые программы, программы развития наукоградов, конкурсы инновационных проектов, создание технопарков.

Главной целью отечественной промышленной политики должно являться достижение высокого уровня национальной конкурентоспособности, что вполне реально в рамках сбалансированной системы "сильное государство — сильный бизнес". В этом убеждают, например, такие факты: в 2004 г. 10 наиболее крупных отечественных промышленных компаний обеспечили 22 % ВВП, а их доля в налоговых доходах консолидированного бюджета России составила 31 % и в совокупном экспорте — 32 %. При этом 200 наиболее крупных промышленных компаний России обеспечивают около 40 % ВВП, приносят бюджету около 50 % налоговых поступлений и обеспечивают более половины экспорта, причем в современных условиях наибольшую долю ВВП обеспечивают металлургия и нефтегазовая промышленность, так как цены на металлы и углеводороды неизменно растут, а средний рост объемов реализации крупных металлургических комбинатов в 2004 г., например, составил почти 83 %.

По некоторым оценкам на крупных и средних предприятиях инвестиции в основной капитал в первом полугодии 2005 г. выросли в целом по экономике на 8,5 %, в промышленности — на 9,7 %, в том числе в обрабатывающих отраслях — более чем на 12 %. В связи с этим именно крупные компании обеспечили общий рост отечественной экономики, причем внедрение новых

управленческих технологий позволило распространить их и на малый и средний бизнес и вытянуть тем самым отечественную экономику из многолетнего спада. Вкладывая ресурсы в обновление основных фондов, металлурги и нефтяники финансировали рост машиностроения России, что дало позитивный толчок развитию других отраслей промышленности. Усилия крупнейших отечественных компаний были направлены на кардинальное улучшение ситуации с фондовым рынком. Только за 2005 г. капитализация 200 крупнейших отечественных компаний выросла на 74 % и достигла 412 млрд долл., а соотношение выручки и капитализации находится в данный момент на том же уровне, что и у зарубежных партнеров.

Промышленная политика России должна и дальше осуществляться с учетом стратегического подхода, например с учетом стратегии развития авиапрома на период до 2015 г.; энергетики — на период до 2020 г.; судостроения — на период до 2030 г. и т. д., при этом российская экономика является частью мировой экономики, тем более, что интеграция России в глобальную экономику будет в основном завершена при ее вступлении в ВТО. В связи с этим необходимы консолидация активов в ключевых отраслях отечественной промышленности и формирование из них мощных и эффективных транснациональных корпораций. Необходимы также активные интеграционные усилия, особенно на постсоветском пространстве, а также обеспечение широкого и активного участия отечественного бизнеса в создании Единого экономического пространства. Государство должно и дальше поддерживать интеграцию и кооперацию отечественных производителей с ведущими зарубежными компаниями, так как реалии глобальных рынков таковы, что на них трудно пробиться в одиночку, т. е. без поддержки крупных "игроков", а ориентация на сугубо внутренний рынок неэффективна и бесперспективна, так как он со временем станет узким даже для средних отечественных компаний. С другой стороны, иностранные производители, пришедшие на отечественный рынок, могут принести ту самую здоровую конкуренцию, без наличия которой трудно представить экономический рост.

Процесс размывания границ внутреннего и внешнего рынков отчетливо виден в нефтегазовом секторе (например, по соотношению с мировыми ценами на нефть). То же самое можно констатировать и в промышленности, в частности в ОПК. Достаточно отметить, что только за 2004 г. крупнейшие предприятия ОПК увеличили объем продаж с 6 до 7,2 млрд долл., и произошло в основном это за счет экспорта. Поэтому одной из главных проблем дальнейшего движения России в рамках глобальной экономики является проблема рационального использования ее конкурентных преимуществ.

В новой промышленной политике, как отмечалось в докладе заместителя министра промышленности и энергетики России А. Реуса на конференции "Крупнейшие компании России: база экономического роста", целесообразно придерживаться принципа "трех И": инвестиции, инновации, интеграция. Безусловным приоритетом при этом со стороны государства должны пользоваться масштабные и долговременные проекты национального значения, затраты на которые не под силу частному бизнесу.

Современная экономика, в том числе и отечественная, должна функционировать и развиваться на основе корпоративных технологий управления, а государство должно определять национальную стратегию развития, устанавливать общие рамки хозяйственно-экономической и финансовой деятельности, отслеживать соблюдение национальных интересов, управлять рисками. Коммуникации, компромиссы, согласованные действия заинтересованных сторон — государства и частного бизнеса — в общих рамках национальных интересов и должны определять общие черты современной промышленной политики.

Направления активизации инвестиционного процесса в рамках современной промышленной политики. Активизация инвестиционной деятельности промышленных предприятий — это не только тактическая, но и стратегическая задача [1—6]. С ее решением связаны проблемы освоения новейших промышленных технологий, устойчивого развития промышленности, повышения занятости и жизненного уровня населения, обеспечения экономического роста, социально-экономической стабильности и безопасности общества.

Инвестиции являются такой социально-экономической категорией.

Во-первых, они носят всеобщий, базисный, объективный характер, отражая уровень развития производства посредством аккумулирования и использования инвестиционных ресурсов. Во-вторых, инвестиции носят исторический характер и имеют диалектическую природу, поскольку именно они способствуют развитию производительных сил и формированию новых производственных отношений. В-третьих, инвестиции являются системной категорией, поскольку они объединяют ресурсы разной природы и их эффективность зависит как от внутренних, так и от внешних факторов развития. В-четвертых, инвестиции имеют комплексный характер, так как в них объединяются как собственные, так и внешние источники инвестирования.

В настоящее время различные промышленные предприятия имеют далеко не одинаковые стартовые возможности для привлечения инвестиций. С развитием рыночных отношений и международного разделения труда многие предприятия в условиях отсутствия государственной поддержки теряют рынок. Они заботятся уже не о развитии производства, а о простом выживании. Но и это удается им далеко не всегда. Поэтому очевидно, что, лишившись за короткое время государственной поддержки, многие отрасли, ориентированные на внутренний потребительский спрос, не могут предложить инвесторам столь же привлекательные условия, какие есть, например, в области топливно-энергетического комплекса или внешнего туризма.

Перечень отраслей, которые являются относительно благополучными, очень короток. Ориентированные в основном на экспорт, именно они создают спрос на инвестиции, причем достаточно ограниченный. Остальные отрасли, а их большинство, самостоятельно при-

влечь инвестиции не могут и без помощи государства обречены на отставание. При этом речь идет не только о прямом бюджетном финансировании, но в первую очередь об облегчении налогового пресса, реализации государственных заказов, проведении разумной протекционистской внешнеэкономической политики, принятии мер по восстановлению уровня благосостояния населения и платежеспособного спроса на отечественную продукцию. Это дало бы мультипликативный эффект и позволило предприятиям активно искать инвестиции, оплачивать их, расплачиваться с кредиторами и государством, развивать производство. Поощрение инвестиций должно привести к их общему удешевлению и, таким образом, сделать доступнее.

Факторами, сдерживающими инвестиционную активность в России, продолжают оставаться относительно высокий и, что не менее важно, слабо прогнозируемый уровень инфляции, ограниченное финансирование государственных инвестиционных программ, крайне низкая эффективность капитальных вложений, неблагоприятный инвестиционный климат, тяжелое финансовое положение многих предприятий, сокращение платежеспособного спроса и т. д. По данным периодических опросов руководители большинства предприятий полагают, что наиболее негативно на инвестиционную деятельность в настоящее время влияют недостаток собственных средств у предприятий для обновления основного капитала, высокий уровень налогов, невыполнение финансовых обязательств со стороны федерального правительства, экономическая и политическая нестабильность, высокая процентная ставка коммерческих кредитов, недостатки законодательной базы реформы и высокие инвестиционные риски.

Анализ инвестиционной деятельности в некоторых отраслях и подотраслях промышленности дает основание для сдержанного оптимизма при оценке перспектив нормализации воспроизводства основного капитала. Однако условием реализации потенциальных возможностей рынка капитала является стабильность финансового сектора экономики, снижение процентных ставок и рисков долгосрочных вложений, что во многом определяется ролью государства в сфере инвестиционной политики.

В последние годы принимаются меры, направленные на активизацию инвестиционной деятельности: определен механизм государственной поддержки ипотечного кредитования строительства жилья, а также внедрены Правила предоставления бюджетных ссуд для реализации высокоэффективных контрактов на производство и поставку продукции, в том числе на экспорт, в бюджете страны предусматриваются расходы на компенсацию процентных ставок по кредитам, поддержку лизинговых схем и т. д.

Однако стимулирование инвестиций в основной капитал может быть эффективно при достижении основного условия — нормализации финансовой, денежно-кредитной и платежной систем. С этой целью следовало бы: использовать возможности некапиталоемкого роста путем загрузки простаивающих производственных мощностей; наладить механизм "перелива" капитала с финансовых рынков на инвестиционные цели реального сектора экономики, используя методы государственной поддержки, в том числе системы налоговых льгот (снижение налоговой нагрузки на предприятия реального сектора экономики, дифференциация налоговых льгот в зависимости от направлений инвестиций и др.), гарантий инвестиций, направляемых в сферу производства (через создание гарантийных и залоговых фондов, объединяющих финансовые средства государства, предприятий, частных лиц); усилить инновационную направленность инвестиционной деятельности; определить как основное направление инвестиционной деятельности на ближайшие годы поддержку конкурентоспособных отраслей и отраслей, сохранивших мировой технико-технологический уровень производства.

Особое внимание следует обратить на банковское кредитование реального сектора экономики. Недостаток собственных финансовых средств на инвестиционные программы не компенсируется привлечением средств со стороны. Доля кредитов банков в структуре инвестиций в реальный сектор не превышает $2{,}5 \div 3$ %. К числу основных проблем, мешающих укреплению и нормальному функционированию банковской системы в реальном секторе экономики, можно отнести следующие. В последние пять—шесть лет происходило существенное увеличение объема выданных различным клиентам кредитов, которые либо погашаются заемщиками с большим опозданием (просроченные кредиты), либо по разным причинам вообще не возвращаются. В итоге значительный объем банковских активов обесценивается.

Многие коммерческие банки учреждены крупными производственными фирмами и тесно связаны с ними, а потому банковская политика исходила из интересов отдельных крупных клиентов и не учитывала интересы других кредиторов. Это уменьшает число банков, к которым могут обратиться за ссудой "сторонние" акционерные общества, так как многие банки имеют свой ограниченный круг кредитуемых предприятий. В случае выдачи кредитов предприятиям "со стороны" ссуда предоставляется обычно на невыгодных для заемщика условиях.

В настоящее время большинство российских кредитных организаций предпочитают ограничивать свои взаимоотношения с предприятиями расчетными операциями, хотя кредитование для коммерческих банков остального мира традиционно является более высокодоходным видом деятельности, чем расчетно-кассовое обслуживание. И это можно понять, так как в силу указанных выше причин риски промышленных инвестиций в России в настоящее время чрезвычайно велики. Относительно благополучной была ситуация лишь в экспортных отраслях. Однако обслуживавшие их так называемые системные банки никогда не были инвесторами и кредиторами. Главной их целью оставались контроль и перераспределение финансовых потоков сырьевых отраслей и части предприятий ВПК.

Финансовый обвал 17 августа 1998 г. уменьшил данный объем в несколько раз. Промышленности, обремененной долгами, не из чего было возвращать кредиты

банкам. Объем прибыли, полученный предприятиями и организациями в 1998 г., уменьшился примерно на 45 % по сравнению с 1997 г., число убыточных производств превысило 50 % в промышленности, 60 % — на транспорте, 80 % — в сельском хозяйстве.

Традиционные кредитные риски в нашей стране дополняются рядом особенностей. В числе факторов риска при банковском финансировании реального сектора остаются отсутствие эффективного механизма реализации залогов, низкая рентабельность (в среднем 0,5—5 %), плохое использование основных фондов, трудовых ресурсов. Уровень загрузки мощностей составляет более 50 % в секторе потребительских товаров и около 50 % — в секторе инвестиционных. Более половины производств вообще не прибегают к банковским ссудам. Основным источником пополнения оборотных средств для предприятий и организаций стали долги — кредиторская задолженность и банковские кредиты. На собственные ресурсы приходилось около 2 %. Банки "выталкивались" из обслуживания реального сектора не только дефицитом средств у предприятий, но и ростом объема неплатежей, их "старением", в том числе в связи с просрочками кредиторской задолженности.

Российский рынок корпоративных акций практически и раньше слабо выполнял функцию трансформации финансовых ресурсов в инвестиции. За счет эмиссии корпоративных ценных бумаг финансируется менее 1 % всех внебюджетных инвестиций, тогда как в странах с развитой экономикой — от 10 до 40 %. После кризиса падение курса акций вынуждает многие крупные предприятия отказаться от планов проведения дополнительных эмиссий и размещения на рынке своих ценных бумаг. К этому следует добавить, что возможности системы коммерческих банков невелики.

Представляется, что в такой ситуации действенным может стать использование консорциального кредитования — временного добровольного объединения банков и предприятий для реализации крупных целевых программ и проектов на основе общности экономических интересов, равноправия участников, свободы выбора организационной формы объединения и выстраивания отношений на договорной основе, что позволит сгладить основной изъян банковской системы — недостаток совокупного капитала.

Основной целью кредитной политики на ближайшую перспективу должно стать завершение создания нормативной и институциональной базы для обеспечения нефинансового сектора экономики ресурсами по ставкам привлечения, сопоставимым с рентабельностью производственной деятельности, а также создание условий для своевременного и полного возврата этих средств кредиторам и инвесторам.

Для достижения этой цели необходимо выполнение следующих условий:

1. Поддержание макроэкономических параметров на уровне, стимулирующем кредитование нефинансового сектора.

Необходимо обеспечить прогнозируемую динамику макроэкономических параметров, влияющих на экономическую активность в условиях осуществления последовательного стимулирования денежно-кредитной политики. В первую очередь — это достижение относительно низких процентных ставок в экономике при недопущении существенных колебаний реального курса рубля. Уже в 2000 г. уровень ставки рефинансирования стал адекватен ставкам предложения кредитных ресурсов (30 ÷ 35 % годовых). Тем не менее, этот уровень до сих пор чрезмерно высок для большинства предприятий и организаций. Решение этой проблемы поможет предотвратить отток кредитных ресурсов на валютный рынок.

2. Завершение создания системы институтов, обеспечивающих государственную поддержку инвестиционных проектов российских предприятий, кредитуемых с участием частных подразделений финансового сектора.

3. Осуществление мероприятий по мобилизации, обеспечению сохранности и целевому использованию финансовых ресурсов юридических и физических лиц.

Ограниченный объем бюджетных ресурсов, отставание рекапитализации банков от реальных потребностей в кредитных ресурсах требуют участия государства в привлечении и синдицировании банковского капитала (в том числе в форме банковских пулов) для финансирования инвестиционных проектов предприятий, имеющих высокую социально-экономическую значимость и пользующихся государственной поддержкой. Такое участие будет содействовать развитию реального сектора экономики, а также мультипликации отвлекаемых на эти цели бюджетных финансовых ресурсов. Значительным ресурсом "длинных" денег являются тезаврированные и выведенные в наличную иностранную валюту сбережения населения (от 25 млрд долл США).

В условиях достаточно стабильного состояния и некоторой тенденции к росту рынков страховых услуг и негосударственного пенсионного обеспечения по сравнению с другими финансовыми институтами создаются предпосылки для более активного использования этих институциональных инвесторов для решения задачи вовлечения в инвестиционный процесс сбережений населения. По оценкам российских и зарубежных страховых экспертов таким образом возможно вовлечение в оборот порядка 10 млрд долл. США. При этом требуется принятие первоочередных мер в двух направлениях: 1) создание благоприятных условий для развития долгосрочных видов страхования; 2) создание условий для инвестирования долгосрочных активов страховых организаций и негосударственных пенсионных фондов при одновременном соблюдении условий надежности и доходности таких инвестиций.

Страхование рисков, сопутствующих инвестиционному процессу (как финансовых, так и иных имущественных), с одной стороны, имеет важное значение для реализации комплексного подхода к вопросам минимизации рисков инвесторов, с другой — создает дополнительный источник инвестиционных ресурсов в форме страховых резервов.

Также необходимо развитие специальных форм кредитования и институтов, их обеспечивающих. Для мониторинга процессов размещения и привлечения кредитных

ресурсов, а также их возвратности целесообразно разработать и утвердить специальную статистическую отчетность кредиторов и заемщиков.

4. Создание и развитие адекватной инфраструктуры и нормативного обеспечения функционирования рынка капиталов и системы расчетов.

Продолжается поэтапная реструктуризация банковской системы с целью равномерного обеспечения банковскими услугами предприятий и организаций на всей территории страны. При этом реструктуризация банковской системы не должна сводиться лишь к санации жизнеспособных банков и вывода с рынка нежизнеспособных. Под реструктуризацией кредитной системы понимается создание новой архитектуры кредитной системы, более адекватной региональной и отраслевой структуре экономики России. При нынешнем уровне суммарной капитализации российской банковской системы оптимальным является стимулирование ее роста в первую очередь (с учетом объективно ограниченных возможностей российского частного сектора инвестировать в банковский капитал) за счет расширения деятельности иностранных банков и участия государства в лице федеральных и региональных бюджетов в создании специализированных кредитных учреждений, работающих в нишах ограниченной доходности кредитных услуг.

Следует продумать и комплекс мер по осуществлению либерализации участия иностранных инвесторов в капитале российских кредитных организаций. Это могло бы позволить в перспективе привлечь иностранные инвестиции в размере от 30 до 50 млрд долл. США.

Для прозрачного и контролируемого обращения различных финансовых инструментов необходимым является эффективное функционирование фондового межбанковского кредитного рынка и рынка производных инструментов. На организованных рынках обеспечиваются единые правила и надежность совершаемых операций, что стимулирует движение капиталов и долгосрочные вложения в перспективные проекты и предприятия.

Важным является создание системы стимулов и инфраструктуры для своевременного исполнения хозяйствующими субъектами обязательств в денежной форме.

При выполнении этих условий в ближайшие три—четыре года возможны:

серьезное расширение участия российского и зарубежного частного капиталов в кредитовании нефинансового сектора экономики в соответствии с приоритетами, определяемыми экономической политикой;

аккумулирование тезаврированных денежных средств в российских институтах финансового сектора и целенаправленное использование этих средств для развития приоритетных отраслей экономики, пользующихся государственной поддержкой, с высокой степенью надежности вложений.

Одним из важнейших условий экономического роста в намеченных масштабах будет дальнейшее снижение инфляции, которое является одним из необходимых условий расширения кредитования реального сектора и роста инвестиций.

Снижение темпов инфляции может быть достигнуто:

соблюдением сбалансированности расходов федерального бюджета с доходами, контролем за выполнением денежной программы;

сохранением контроля над ценами на продукцию и услуги естественных монополий;

обеспечением стабильности реального курса рубля, поддержанием плавной динамики обменного курса;

сохранением значительного положительного сальдо внешнеторгового баланса, создающего в том числе условия для обслуживания внешнего долга России;

повышением насыщенности товарных рынков продукцией отечественного производства.

В настоящее время для большинства предприятий России остро стоит проблема привлечения инвестиционных ресурсов под существующие или разрабатываемые инвестиционные проекты. Многие из инициаторов проектов не в состоянии самостоятельно решить вопрос о продвижении своих бизнес-идей к потенциальным инвесторам, поскольку ограничены в средствах и в связи с этим не могут воспользоваться услугами дорогостоящих консалтинговых фирм. С другой стороны, формы и методы представления инвестиционных проектов современным инвесторам незнакомы значительному числу российских предприятий.

Таким образом, актуальной представляется задача создания федеральной информационной системы, предоставляющей международным инвесторам доступ к квалифицированно подготовленной информации об инвестиционных проектах, а также обеспечивающей методическую поддержку российским предприятиям при подготовке инвестиционных проектов.

Федеральная информационная система должна иметь:

единый международный стандарт подачи информации;

подробную информацию о характеристиках проекта и его инициаторе, достаточную для того, чтобы заинтересовать потенциального инвестора в прямых переговорах с инициатором;

динамическую электронную финансовую модель (инвестору предоставляются возможности анализа денежных потоков, связанных с проектом, пересчета проекта по ключевым параметрам и проверки его устойчивости к финансовым рискам);

полную картографическую поддержку (прилагаются карты всех районов России, содержащие основную инфраструктуру);

аналитические обзоры (общеэкономические, отраслевые, региональные).

Потенциальному инвестору федеральная информационная система должна обеспечивать:

доступ к подробной информации по инвестиционным проектам (инвестиционное предложение, презентацию проекта в Power Point, электронную финансовую модель проекта, бизнес-план, информацию об инициаторе проекта и его финансовом состоянии);

отбор проектов по различным критериям;

возможность ознакомления с подборкой информационных материалов, описывающих инвестиционный климат в стране и регионах;

доступ к обширной базе данных, содержащей краткие бизнес-предложения предприятий.

Российским предприятиям система должна позволить:

с минимальными затратами разместить подробную информацию об инвестиционных проектах и довести эту информацию до широкой аудитории международных финансовых институтов, инвестиционных компаний, корпораций;

получить отчет о статистике обращений пользователей интернета к материалам по инвестиционным проектам;

получить методическую и консультативную поддержку при подготовке бизнес-плана;

ознакомиться с перечнем консультационных фирм, работающих на рынке инвестиционного проектирования;

ознакомиться с перечнем организаций, действующих на рынке обучения по инвестиционному проектированию.

В рамках этой задачи предстоит разработать единый стандарт представления информации по инвестиционным проектам, а также программные и технические стандарты обмена информацией, осуществить технические мероприятия по формированию единой информационной системы и интеграцию с международными информационными проектами в области инвестиций, а также проводить рекламно-маркетинговые мероприятия с целью доведения подробной информации об информационной системе и содержащихся в ней инвестиционных проектах до широкой аудитории финансовых институтов, инвестиционных компаний и корпораций, фондов и других организаций на внутреннем и внешнем рынках.

Создаваемая информационная система должна характеризоваться: высоким качественным уровнем подготовки инвестиционных проектов; наличием подробной информации по проектам, достаточной для того, чтобы заинтересовать инвестора и подвигнуть его на прямые переговоры с инициатором; представлением информации в привычном для инвесторов стандарте; бесплатностью для инвесторов и максимальной дешевизной для российских претендентов на получение инвестиций; обеспечением единого доступа к региональным информационным источникам и базам данных инвестиционных проектов.

Таким образом, в рамках интернета создается единое информационное пространство, дающее потенциальным инвесторам возможность доступа к разносторонней информации, хранимой на большом количестве серверов и относящейся к теме прямых инвестиций. Информация содержит:

двухуровневое представление инвестиционных проектов, прошедших предварительную экспертизу специалистами по инвестиционному проектированию (инвестиционное предложение и детализированная информация о проекте, вплоть до бизнес-плана);

данные о компаниях-инициаторах инвестиционных проектов;

методологические рекомендации по подготовке и оформлению проектов;

аналитические материалы о состоянии и перспективах развития регионов и отраслей промышленности;

законы страны и регионов в сфере защиты прав акционеров и инвесторов;

инвестиционную карту России и ее регионов;

мониторинг практики инвестирования;

перечень консалтинговых и обучающих организаций в области инвестиционного проектирования.

Увеличению притока иностранных инвестиций, на наш взгляд, способствовало бы и совершенствование таможенных процедур, таможенного законодательства. В этой области следовало бы прежде всего:

дополнить закон "Об иностранных инвестициях в Российской Федерации" положением о предоставлении таможенных льгот при ввозе товаров в качестве вклада в уставный капитал. Дело в том, что, несмотря на разъяснение о применении ранее действовавшего порядка, установленного законом "О таможенном тарифе" и законом "О налоге на добавленную стоимость", таможенные органы на местах зачастую отказывают в предоставлении льгот;

распространить таможенные льготы на части зданий и конструкции, вносимые в качестве вклада в уставный капитал. Более 50 % вклада иностранного учредителя в уставный капитал, как правило, составляют здания производственного назначения. Вместе с тем в соответствии с действующим порядком товары, ввозимые для строительства и реконструкции, не относятся к основным производственным фондам и на них не распространяются льготы;

ускорить работу по введению в действие положения о свободных складах;

снизить ставки пошлин по многим товарам, не производимым в России, поскольку они завышены по сравнению с действующими в других странах;

ввести поощрительные пошлины на отдельные товары. Это способствовало бы привлечению инвестиций в российскую экономику, строительству новых производственных мощностей и улучшению инвестиционного климата в целом;

усилить борьбу с массовой фальсификацией товарных знаков и соответствующей им продукции;

создать правовую основу участия таможенных органов в обеспечении защиты прав интеллектуальной собственности при перемещении товаров через таможенную границу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Губкин П. В., Клячко Л. М., Степанов А. А.** Судостроение: проблемы регулирования инвестиционных и инновационных процессов // Наука и промышленность России. 2001. № 9.

2. **Клячко Л. М., Степанов А. Е.** Методические подходы к определению приоритетов научно-технологического развития, обоснованию и построению систем управления в интегрированных отраслевых структурах // Биржа интеллектуальной собственности. 2005. № 3, № 4.

3. **Развитие** регионов в условиях конверсии / Под общ. ред. В. П. Баранчеева, Ю. Ф. Тимофеева, А. Е. Степанова. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. 297 с.

4. **Саламатина Н. И., Степанов А. Е.** Проблемы построения финансово-промышленной интеграции как одной из составляющих повышения эффективности управления инвестиционными ресурсами в условиях рынка // Вестник машиностроения. 2004. № 12. С. 58—69.

5. **Смирнов С.** Промышленная политика: проблемы и перспективы // Вопросы экономики. 2000. № 9.

6. **Хохлов М. Н., Степанов А. Е.** Основные принципы развития инвестиционных процессов в оборонных отраслях промышленности (части 1 и 2) // Промышленность России. 2000. № 5. С. 50—52; № 7. С. 21—30.

УДК 681.51

Н. В. БУЛЕЙ (ОАО "НИИАТ", г. Москва)

Информационное обеспечение системы мониторинга производственного процесса

Повышение эффективности функционирования машиностроения возможно лишь в случае повышения конкурентоспособности машиностроительной продукции и существенной модернизации технологического потенциала производственного процесса. Концепция автоматизированного управления производством позволяет использовать экономико-математические методы для учета значительного количества исходных данных, снизить до минимума все заделы и издержки, оптимизировать сроки выполнения производственных процессов, уменьшить время вывода продукции на рынок, автоматизировать рутинные и трудоемкие процессы, получить своевременную и достоверную информацию для выбора приоритетных стратегических и тактических решений.

Управление современным машиностроительным предприятием при его технической оснащенности и все возрастающих внутренних и внешних связях требует сбора, обработки и анализа разнообразной технической, технологической и экономической информации больших объемов. Эти задачи можно решать с помощью автоматизированной системы управления предприятием (АСУП), основанной на интеграции информационных потоков с использованием экономико-математических методов и информационной технологии.

Машиностроительное предприятие — сложная система, эффективность которой зависит от слаженности всех структурных подразделений и функциональных служб. Немаловажную роль при этом играет управление производством. Производственная система в некотором интервале времени характеризуется различным сочетанием состояний. Управление такой системой заключается в выборе некоторого множества возможных состояний с определенными результатами производственного процесса. Управляющие воздействия вырабатываются на основе информации о реальном и требуемом состояниях управляемого объекта. В управляющей части системы происходит соединение задающих воздействий и обратной связи элементов.

Эффективность функционирования системы управления современным предприятием во многом зависит от состояния его информационной системы, обеспечивающей связь между всеми функциональными подсистемами АСУП на основе интеграции информационных потоков. Поэтому при создании АСУП большое значение имеет правильная организация информационного обеспечения.

Информационное обеспечение АСУ — совокупность реализованных решений по объемам, размещению и формам организации информации. Функции информационного обеспечения: установление оптимальных объемов информации, своевременное обеспечение системы управления информацией о состояниях объекта управления и внешней среды, координация потоков информации во времени и пространстве. Главные составляющие информационного обеспечения — данные, средства формализованного описания данных, программные средства и организационные принципы создания и ведения массивов. В основе построения информационного обеспечения АСУП лежит информационная модель предприятия.

Информационное обеспечение АСУП включает в себя систему классификации и кодирования технико-экономической информации, систему документации и информационную базу.

Основные принципы организации информационного обеспечения: создание интегрированной обработки данных, упорядочение и централизация хранения информации; агрегация данных в зависимости от уровня принятых решений; постоянное наращивание емкости информационной базы и числа пользователей. Все это следует учитывать при определении состава, структуры и методов формирования информационной базы АСУП, организации хранения и внесения изменений в массивы информации. При проектировании информационного обеспечения АСУП выполняют комплекс работ по предпроектному обследованию, разрабатывают технический и рабочий проекты, ведут подготовку нормативно-справочной информации (НСИ), формируют информационную базу в соответствии с требованиями автоматической обработки и возможностями вычислительного комплекса.

В ходе предпроектного обследования необходимо дать характеристику существующей системы управления предприятием, описать действующий документооборот, проанализировать существующие классификаторы технико-экономической информации, нормы и нормативы, состав первичной документации, а также сформулировать требования к системе классификации и кодирования информации и информационной базе, которые обусловливаются задачами управления. Разработка информационного обеспечения АСУП предусматривает совершенствование информационного обеспечения уже существующей системы управления.

Как правило, для действующих на предприятии информационных систем характерны такие недостатки, как избыточность сведений, параллелизм в расчетах идентичных показателей, несопоставимость данных в различных подразделениях, наличие практически не используемых в управлении документов, которые выявляются при анализе существующей информационной системы предприятия.

При создании информационного обеспечения устанавливают состав данных, необходимый для решения задач АСУП, осуществляют формализацию их представления, унификацию документации, выбор и обоснование носителей информации, определяют содержание и порядок размещения информации на носителях, разрабатыва-

ют способы хранения, поиска и внесения изменений в массивы данных, выбирают методы контроля достоверности информации и информационные языки.

При проектировании информационного обеспечения АСУП необходимо учитывать уровень производства, его особенности, структуру проектируемой системы, возможности уже существующего вычислительного комплекса. При этом особое значение имеют правовые вопросы функционирования данной системы, например распределение решаемых задач между специалистами и техническими средствами.

При построении систем мониторинга производственного процесса (СМПП) используются принципы сквозных, интегрированных и перекрывающихся систем (перекрываемость баз данных). СМПП с автономными базами данных (БД), в которых часть данных имеет синхронизированный формат, позволяют проводить обмен данными на уровне копирования без преобразований.

Принцип перекрываемости позволяет экономить ресурсы, что требует строгой диспетчеризации. Предложенный принцип перекрываемости БД позволяет реализовывать информационные системы крупного машиностроительного предприятия, где каждая входящая система является автономной, но при этом реализуется информационная прозрачность в части требуемых данных. Принцип автономности и ограниченности позволяет минимизировать сроки внедрения системы управления производством и существенно снизить риски при реализации интегрированного проекта информатизации в целом.

На машиностроительных предприятиях управление финансово-хозяйственной деятельностью обеспечивает ERP-система, определяющая уровень бизнес-процесса. Кроме того, существует MES-система, определяющая деятельность на уровне цеха, участка, линии, и т. п. Основной причиной неудачных проектов является попытка объединить в рамках ERP-системы все функции управления производством. Поэтому необходимо стремиться убрать из ERP-системы несвойственные ей функции оперативного технологического управления. В функции ERP-системы входят финансово-хозяйственная деятельность предприятия, бизнес-процессы, управление предприятием, в функции MES-системы — оперативная деятельность предприятия (на уровне цеха, участка, линии), производственные процессы, управление производством.

Рассматривая ERP- и MES-системы с позиции структурной нисходящей декомпозиции с учетом предложенной модели перекрываемости решаемых задач, можно сформулировать следующее правило взаимодействия систем. Перекрываемость задач ERP- и MES-систем для их реализации требует соответствующей перекрываемости на уровне БД, что, в свою очередь, обусловливает необходимость использования однотипного средства управления базами данных (СУБД). Основной информационный поток в перекрывающихся БД идет от систем с первичной информацией: от MES-системы к ERP-системе. В данном случае это информация от производственных подразделений в электронном виде, представляющая собой сменные и суточные рапорты. Обратный информационный поток от ERP-системы к MES-системе может представлять собой информацию, например, о составе и количестве сырья, которое поступает от внешнего поставщика. Эта информация обрабатывается в ERP-системе, т. е. ERP-система выступает в роли первичного источника информации.

Таким образом, реализуется двухконтурное (двухуровневое) управление предприятием: ERP-система — первый контур (стратегическое управление), MES-система — второй контур (тактическое управление). Происходит перекрытие и задач, и центральных баз данных (ЦБД).

На всех этапах производства должен проводиться оперативный анализ различной информации, отражающей особенности текущих процессов, на основе которого вырабатывают необходимые рекомендации для устранения возникшей той или иной неисправности, учитывая нелинейность и неопределенность протекающих процессов.

Применение экспертных систем (ЭС) значительно повышает эффективность диагностирования выпускаемой продукции.

Одним из перспективных способов повышения эффективности систем диагностики является использование современных информационных технологий, основанных на так называемых мягких вычислениях, в которых используются: нечеткая логика (НЛ), нейронные сети (НС), генетические алгоритмы (ГА), с адаптацией этих технологий к среде гибридных динамических ЭС. Это позволяет при равных вычислительных возможностях с обычными ЭС охватывать более широкий спектр решаемых задач.

ЭС соотносят наблюдаемые нарушения в поведении системы и вызвавшие их причины, опираясь на один из двух методов: первый метод заключается в использовании таблицы ассоциативных связей между типами поведения систем и диагнозами [2]; второй — в совместном использовании информации об устройстве системы и слабых местах (в конструкции или деталях), что позволяет делать предположения о неисправностях, совместимых с получаемыми данными [1].

Мощность ЭС определяется, в первую очередь, наращиваемой базой знаний (БЗ), в которой хранятся эталонные данные, описывающие рассматриваемую область, и правила, описывающие целесообразные преобразования данной области. Современные гибридные диагностические ЭС позволяют оперировать нечеткими определениями, давая возможность более эффективно использовать и хранить знания, упрощая процесс их получения. В результате система становится более гибкой.

Мобильность ЭС определяется мобильностью БЗ и возможностью ее пополнения из различных информационных источников (баз данных), баз экспертных знаний (БЭЗ), баз концептуальных знаний (БКЗ), динамических файлов и т. д., используя различные процессы вывода. Конкретизация знаний при решении задач диагностики декомпозирует их на точные и неточные, полные и неполные, статические и динамические, однозначные и многозначные и т. д. Кроме того, сами экспертные знания неточны в силу их субъективного

характера. Приблизительность и многозначность знаний приводят к тому, что ЭС имеет дело не с одной, а с несколькими альтернативными областями. Поэтому неполнота знаний позволяет использовать не один, а несколько источников, что особенно актуально при использовании продукции, требующей привлечения интеллектуальных систем, способных эффективно локализовать отказ, устранить неисправность, осуществить настройку (регулировку) параметров и сделать прогноз текущего состояния (ресурса) и т. д.

В основе идеологии ЭС мониторинга состояния лежит использование метода FDI (Fault Detection and Identification), который заключается в обнаружении неисправностей и идентификации, основанной на сравнении результатов измерений параметров реального изделия с расчетными параметрами, вычисленными по его математической модели.

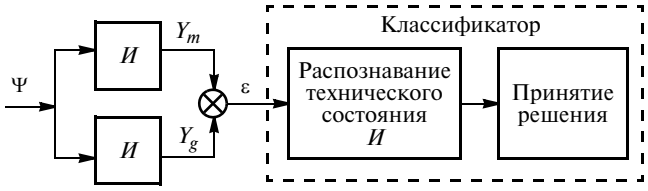
На рисунке приведена типовая реализация метода FDI, где Ψ — вектор управляющих воздействий; Y_m — вектор параметров, вычисленных с помощью математической модели *И*, представляющей собой классическую аналитическую модель; Y_g — вектор параметров, предоставляющий данные измерений, полученные с помощью датчиков; $\varepsilon = Y_g - Y_m$ — рассогласование, полученное в процессе покомпонентного сравнения векторов Y_g и Y_m.

При реализации данного метода решаются следующие задачи: 1) разработка и программная реализация модели изделия; 2) вычисление рассогласования параметров и распознавание технического состояния изделия; 3) принятие решения по техническому состоянию изделия.

Процессы распознавания технического состояния и принятия на основании этого соответствующего решения в совокупности являются реализацией функций классификатора. При этом использование нечеткой логики позволяет осуществлять разделение классов технического состояния изделия в условиях получения неполной информации с учетом неопределенности конструктивных и параметрических характеристик реального изделия [3].

Цепочка реализации вычислительных процессов в данной ЭС выглядит следующим образом: спецификация → теорема → доказательство → алгоритм → результат.

В этой ЭС от пользователя не требуется четкого описания алгоритма решения задачи, ему достаточно, используя входной язык ЭС (УТОПИСТ), описать данную задачу. При этом постановка задачи представляется в виде оператора, который запустится, если задача разрешима, т. е. является семантически правильной.



Реализация метода FDI при внедрении информационной системы мониторинга производственного процесса

Для семантически правильной задачи в системе синтезируется алгоритм на ассемблере в виде модуля решения. При выполнении программы, исходный текст которой содержит оператор задачи, происходит обращение к автоматически составленному модулю решения. Он, в свою очередь, может содержать обращение к другим автоматически вызываемым модулям, в качестве которых используются подпрограммы либо макроопределения.

Суть метода структурного синтеза, реализованного в данной ЭС, заключается в интерпретации реальных уравнений и модулей как предложений по вычислению: $\Gamma \in X \xrightarrow{f} Y$, где Γ — условие применения предложения (аксиома); X — множество входных объектов; Y — множество выходных объектов; f — соответствует некоторой реализуемой функции.

На основании запросов к БД и БЗ в ЭС выполняются действия:

1) строятся таблицы данных, объектов, типов данных, системных фактов;

2) включаются в рабочий контекст все уравнения и отношения, которые связаны с используемыми типами данных;

3) если с используемыми типами данных были связаны теоремы, то результаты в ЭБЗ на основании их системных фактов автоматически расширяются контекстом решаемой задачи (вводятся дополнительные уравнения и отношения);

4) решаются уравнения относительно всех переменных, формируются соответствующие отношения вычисляемости;

5) выполняется поиск всех возможных путей решения, число которых минимизируется;

6) на основании найденного решения генерируется ответ, который в соответствии с FDI-парадигмой формирует результирующий вектор $E = Y_m - Y_э$, где $Y_э$ — вектор эталонных параметров. По значениям вектора E оценивается техническое состояние изделия и принимается окончательное решение.

Автоматизированные системы могут работать автономно, однако эффективность автоматизации будет заметно выше, если данные, генерируемые в одной из систем, будут доступны другим системам, поскольку принимаемые в них решения станут более обоснованными.

Для должного взаимодействия промышленных автоматизированных систем требуется создание единого информационного пространства не только на отдельных предприятиях, но и в рамках объединения предприятий, путем унификации форм и содержания информации об изделиях на различных этапах их жизненного цикла.

Современное производство машиностроительных изделий требует согласования работ множества предприятий, участвующих в проектировании, производстве, реализации и эксплуатации изделия. Для этого необходима соответствующая информационная поддержка всех этапов его жизненного цикла.

Предложенная система идентификации и мониторинга является одним из элементов CALS-технологий (Continuous Acquisition and Lifecycle Support), цель которой — предоставлять необходимую информацию в

нужное время в нужном виде в конкретном месте любому пользователю на всех этапах жизненного цикла изделия.

Использование CALS-технологий на машиностроительных предприятиях в ближайшие годы станет необходимым условием их выживания при существующей жесткой рыночной конкуренции. Однако в настоящее время можно ограничиться внедрением на предприятиях машиностроения системы мониторинга, так как данная система является более экономичной и в полной мере удовлетворяет требованиям по управлению производством.

Так же как в САПР, в составе информационной системы мониторинга следует различать лингвистическое, информационное, математическое, программное, методическое, техническое и организационное обеспечения.

Информационное обеспечение мониторинга составляют БД, содержащие сведения о промышленных изделиях, используемых различными системами при их проектировании и производстве, а также международные и национальные стандарты.

В дальнейшем для должного взаимодействия промышленных автоматизированных систем необходимо создать единое информационное пространство в рамках объединений путем унификации форм и содержания информации.

Используемые на предприятиях автоматизированные системы, как правило, имеют локальный характер, так как внедрялись различными подразделениями в разное время и для различных целей. В связи с этим возникает проблема ввода в эти системы одной и той же информации. Особенно острой данная проблема становится при совместном использовании автоматизированных систем конструкторского и технологического назначения.

Локальное, а зачастую и хаотичное, внедрение САПР, автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП), системы автоматизированного проектирования станков с ЧПУ (САП ЧПУ) в условиях ограниченности средств на их приобретение, разброс цен на различные автоматизированные системы одного и того же назначения, отсутствие четкой стратегии приводят к тому, что конструкторам, технологам, разработчикам управляющих программ, диспетчерам приходится многократно вводить одну и ту же информацию в разные системы. В результате временны́е затраты на ввод информации значительно превышают время автоматической работы.

Таким образом, разработка способов формализации, алгоритмов и моделей интеграции САПР, АСТПП и АСУП и их внедрение позволят сократить затраты непроизводительного труда, сроки подготовки и освоения новых изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Интеллектуальные** системы принятия проектных решений / А. В. Алексеев, А. Н. Борисов, Э. Р. Вилюмс и др. Рига: Знание, 1997. 320 с.

2. **Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф.** Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000. 384 с.

3. **Тыугу Э. Х.** Концептуальное программирование. М.: Наука, 1984. 236 с.

УДК 37:331.4 + 37:331.34

С. А. ТЮТЮКОВ, канд. техн. наук (РГППУ, г. Екатеринбург)

Аспекты экологизации инженерно-педагогического образования

Рассматриваются особенности эколого-микроцивилизационного описания инженерно-педагогической "оболочки" техносферы. Оно предполагает системное применение теорий творческой деятельности, в частности, экологизированных средств педагогической изобретологии для решения некоторых задач экологического образования. Обращается внимание на онтологический и моральный аспекты процесса экологизации содержания подготовки студентов технических специализаций в вузах.

Разработка содержания образования приобретает особое значение при реализации актуального для современного профессионального образования в РФ принципа перехода от обучения к самообразованию. В работах В. В. Краевского, И. Я. Лернера предложено рассматривать содержание образования как педагогически адаптированный социальный опыт человечества, тождественный по структуре культуре во всей ее полноте [1]. Соответственно необходимо предусматривать в составе содержания помимо традиционных элементов — знаний, умений, навыков — элементы, отражающие опыт личностного отношения к общечеловеческим ценностям и творческой деятельности. Данное направление исследований осуществляется в русле реализации принципа гуманизации образования, пока воспринимаемого, на наш взгляд, антропоцентрически.

В сфере профессионально-педагогического образования (ППО) есть особенности подготовки будущих специалистов, которые отличают его от других видов высшего профессионального образования (педагогического и инженерно-технического): по ориентации подготовки специалистов; по содержанию их технологической подготовки для будущей деятельности; по реализации направленности образовательного процесса; по особенности профессиональной деятельности выпускников; по необходимой и достаточной учебно-материальной и кадровой базе (А. А. Жученко, Г. М. Романцев, Е. В. Ткаченко, В. А. Федоров). Инженеры-педагоги (а в какой-то степени все преподаватели технических дисциплин, в том числе в политехнических вузах, по

роду деятельности являются инженерами-педагогами) занимают пограничное положение между инженерной и педагогической микроцивилизациями, что создает предпосылки для формирования двойственного самосознания и возникновения психического напряжения. Снятию этих негативных явлений должно способствовать становление инженерно-педагогической микроцивилизации. Ее структура может быть представлена (с учетом мнения Ю. В. Яковца) следующим образом: человек с его знаниями, способностями, мировосприятием; затем материальная база и технологии обучения, а также социальные отношения (экономические, правовые и т. п.); наконец, мир духовных ценностей (наука, культура, идеология). В содержании образования как "мире идей" так или иначе отражаются аспекты взаимодействия субъектов микроцивилизации с природой. По характеру этого взаимодействия инженерно-педагогическая микроцивилизация также является промежуточной между педагогической и инженерной микроцивилизациями. В целом микроцивилизации занимают определенные ступени в развитии образования как целостной системы.

Ухудшение среды обитания и уничтожение ресурсов жизнедеятельности потребовали развития экологической деятельности и выявили потребность в экологизированных рабочих профессиях. Соответственно, необходимо переосмыслить содержание образования студентов инженерно-педагогических (профессионально-педагогических) вузов. По нашему мнению, на данном этапе развития человеческого сообщества следует уделить внимание разработке содержания ППО с позиций эколого-микроцивилизационного подхода. Он заключается в выявлении и исследовании связей, существующих между изучаемым объектом, например какой-либо технической (технико-педагогической) системой, и окружающей средой (миром природы). Осуществим подход при системном применении теорий творческой деятельности, в частности экологизированных средств педагогической изобретологии (см. ниже) для инженерно-педагогического проектирования [2, 3].

В нашем исследовании рассматриваются связи между педагогическими системами и экологией, а также между учебными дисциплинами специализации (например, "Источники питания для сварки", "Конструкции и проектирование электрических печей") и курсами "Экология", "Безопасность жизнедеятельности" (БЖД). Необходимо системно осуществлять процесс экологизации содержания учебных планов и образовательных программ по техническим курсам, преподаваемым в профессионально-педагогическом вузе, и соответствующего методического обеспечения. Под экологизацией понимается процесс последовательного разноуровневого нравственно-экологического воздействия педагогических систем на степень гармоничности встраивания социума, микроцивилизации в мир природы. Воздействие осуществляется на локальном, региональном и глобальном уровнях (от образовательного учреждения до техносферы). В более узком смысле экологизация — это процесс ценностно-ориентационного влияния экологии как комплексной, интегративной науки на различные сферы жизнедеятельности.

Мы рассматриваем, как было сказано выше, влияние экологии на дисциплины специализации, отраслевой подготовки. В то же время необходимо отметить, что термин "экологизация" по отношению к содержанию технических дисциплин подразумевает (не исключено) не только процесс встраивания, интегрирования в учебный материал сведений по экологии, БЖД, охране окружающей среды (инженерной экологии), но и процесс вовлечения специальных технических, педагогических, экономических знаний о правильном проектировании и воплощении в реальность технико-педагогических объектов, технологических процессов. В этом смысле результат экологизации, пожалуй, интегративно отражает все то позитивное (по снижению степени тяжести последствий для природы деятельности человека), чего удается достичь при разработке и реализации творческих техносферно-ориентированных проектов будущих специалистов профобучения (инженеров-педагогов). Терминологические аспекты рассматриваются нами в работах [2, 3]. Экологизация, на наш взгляд, осуществима при системном применении экологизированных средств педагогической изобретологии для проектирования упомянутых выше элементов содержания ("знаниевого", "отношенческого", "деятельностного") и, соответственно, для подготовки специалистов ППО с развитой экологической культурой, включающей те же три элемента. Безусловно, будут затронуты и вопрос формирования их нравственной культуры, и аспекты становления их мировосприятия. Под экологической культурой нами понимаются мера и способ развития и реализации творческого потенциала человека в процессе его всестороннего равноправного взаимодействия с другими людьми, с природной средой при условии поддержания равновесного состояния в техносфере посредством природосообразной творческой пректировочной деятельности [3].

Известно, что проблема экологического образования (ЭО) и воспитания была выдвинута Программой ООН по охране окружающей среды в разряд основных средств гармонизации взаимодействия человека и природы [4]. Однако нами была установлена недостаточно высокая степень комплексности ЭО, заключающаяся в слабом учете имеющимися системами ЭО специфики ППО, о которой было сказано выше. Среди особенностей ППО следует отметить наметившееся использование, в том числе при разработке содержания образования, принципов педагогических систем развития технического творчества (ТТ) [2]. Это объяснимо, так как в деятельности инженеров-педагогов значительное место занимают вопросы инженерного и педагогического проектирования и конструирования, которые тесно связаны с теориями инженерного творчества [5]. Под ТТ мы будем понимать многогранную общественно или индивидуально полезную деятельность субъекта по разработке технических объектов. Принцип экологичности ТТ, предложенный нами, реализуется через экологизацию известных принципов технической творческой деятельности [2, 5, 6].

Реализация данных принципов для достижения целей, провозглашаемых экологической педагогикой [7], может быть осуществлена с применением методов и

средств педагогической экологизированной изобретологии (ПЭИ) [2, 3]. ПЭИ может рассматриваться в качестве субмикроцивилизации. ПЭИ — наука и искусство экологизированного и педагогизированного ТТ с элементами автоматизации проектирования, направленного главным образом на минимизацию вредных последствий деятельности человека для мира природы и обеспечение его разумных (в том числе с точки зрения экологической безопасности) потребностей, Разработка методологии экологизации ТТ, изучение аспектов его педагогизации позволили выявить принцип экологического проектирования технико-педагогических объектов (в частности содержания учебных технических дисциплин) с использованием средств ПЭИ. Критерием его применимости служит наличие в конструируемом содержании сведений о путях безопасной эксплуатации и утилизации устройств, материалов, отходов производств, минимизации выбросов, вредностей и т. п. Экологически проработанными считаются учебные элементы, включающие содержательные, контрольно-оценочные и деятельностные компоненты, способствующие усвоению этих элементов с позиций экологической культуры. Целесообразно определить долю экологизированных элементов содержания учебной технической дисциплины в ее общем объеме, в результате чего будет выделен экологизированный учебный материал. Следует разрабатывать содержание с учетом "сродства" учебного материала с экологией и БЖД, определять "параметры взаимодействия" вариативных экологизированных и инвариантных учебных элементов.

Так, в процессе анализа содержания рабочей программы дисциплины "Источники питания для сварки" было установлено, что наиболее высоким "сродством" с экологией обладает учебный материал, отражающий вопросы эксплуатации источников (более тесно связанный с деятельностью человека). Меньшим "сродством" характеризуется материал, описывающий конструкции и устройство источников, еще меньшим — описывающий их принципы действия (самый высокий уровень абстрагирования в содержании технического курса). Соответственно меняются и пока только качественно могут быть оценены "параметры взаимодействия". В предыдущем варианте (до экологизации) в содержании рассматриваемой дисциплины практически не было экологизированных элементов. После проведения исследований эти элементы появились в разделах: "Значение дисциплины" (один элемент); "Цель и задачи" (три); "Перечень смежных дисциплин, необходимых для усвоения курса" (два); "Свойства сварочной дуги и требования к источникам питания" (девять); "Основные правила эксплуатации источников" (10). Доля экологизированных элементов изменяется в пределах 5—50 % в разных разделах рабочей программы. Практически все лабораторно-практические занятия были экологизированы (деятельностная компонента содержания), чему способствовало составление морфологической матрицы этих видов работ различной направленности [3]. Контрольно-оценочная компонента рабочей программы включает два экологизированных элемента (20—30 %). Для ее осуществления разработаны технико-эколого-экономические задачи, в которых студенты должны усматривать экологическую мораль [3] (примеры приведены ниже). Подобная работа проведена или проводится по всем техническим дисциплинам специализации, читаемым на кафедре сварочного производства Российского государственного профессионально-педагогического университета (РГППУ). Разрабатываются также дополнительные образовательные программы [3].

Дальнейшее развитие ПЭИ получает, если рассматривать конкретные темы содержания ППО (содержания как "мира идей") в качестве субмикроцивилизаций. Экологическое микроцивилизационное описание компонентов образования позволяет сделать проектирование его содержания более многоаспектным. При этом возрастает значимость инженера-педагога и требования к уровню его подготовленности к подобной деятельности. Рассматриваемое направление исследований, на наш взгляд, способствует интеграции знаний (технических, экологических, педагогических, экономических, философских, исторических, литературных и т. п.). Так, для того чтобы успешно педагогизировать и экологизировать технико-технологические знания (и деятельность), следует провести мысленный эксперимент по трансформации педагогических принципов для использования при инженерном проектировании, например, технологических схем.

Принцип политехнизма (а также принцип экологичного проектирования технико-педагогических объектов с применением методов и средств ПЭИ) может быть преобразован в принцип комплексности использования минерального сырья. Из принципа научности следует принцип максимально возможного использования при построении технологических схем теоретических прогнозных расчетов. Принцип наглядности предполагает разработку аспектов выбора и символизации "первоэлементов" для преобразования технологической схемы, упрощения ее построения и может применяться под тем же названием. "Первоэлементы" должны позволять студентам самим конструировать задания. Алгоритм их выполнения определяется способом обозначения и природой "первоэлементов". Например, это могут быть электрические активные и реактивные сопротивления (квазиэкологические "сопротивления") [3]. Реализация принципа доступности способствует выбору доступных материалов и процессов при разработке технологической схемы. Принцип систематичности соотносится с "генетическим" принципом (учет предыстории переработки подобных материалов, естественно-историческое описание микроцивилизации). Принцип природосообразности предполагает подражание природе [8], использование "бионического" подхода [2, 3] при разработке и моделировании функционирования технологических схем.

Следует уделять внимание изобретению природных и антропоморфных аналогов при объяснении сложного материала технических дисциплин. В частности, это касается функционирования логических элементов, возникновения противоЭДС, вращающегося магнитного поля и т. п. Подобную "трансформацию" целесообразно осуществить и с остальными педагогическими принципами в целях оптимизации процесса построения технологи-

ческих схем (путем педагогизации и экологизации). Анализ на экологичность основополагающих принципов педагогики предлагалось выполнить студентам РГППУ при изучении ими авторского курса "Методология экологизации ТТ" [2]. Варианты формулировок экологизированных принципов приведены в работе [3]; там же дан пример реализации ПЭИ применительно к разработке технологической схемы утилизации отработанных ванадийсодержащих катализаторов в металлургических, литейных, сварочных и других процессах.

Кроме того, экологическое микроцивилизационное описание темы "Прямое легирование сплавов" позволило автору настоящего сообщения изменить структуру технологической схемы ЛП-процесса, разрабатываемого акад. В. Г. Лисиенко с соавторами [9] (и эта корректировка была позитивно воспринята ими). С элементами философского анализа сформулирована концепция современной электроплавки природнолегированных материалов и требования к плавильному агрегату, которые заметно отличаются от тенденций развития сверхмощных дуговых электропечей [10], в том числе и по критерию экологичности. Далее с привлечением теорий инженерного творчества установлено, что из известных в настоящее время электропечей в наибольшей степени мировосприятию обитателей субмикроцивилизации "Прямое легирование стали" отвечает дуговая печь постоянного тока нового поколения [11]. Соответственно, корректируется тематика курсового проектирования по дисциплине "Конструкции и проектирование электрических печей", поскольку печь проектируется для конкретной технологии выплавки. Подобные изыскания, как отмечено выше, проведены применительно к сварочным процессам [2, 3] и соответствующим учебным курсам, в том числе с привлечением биографического метода.

Если рассматривать в качестве микроцивилизации инженерно-педагогическое образование, то возникает необходимость в изучении разрабатываемой нами учебной дисциплины "Инженерно-педагогическая экология". Отразится этот подход и на содержании блока общих гуманитарных и социально-экономических дисциплин и, естественно, всего плана учебного процесса в вузе.

Экологизация профессионально-педагогической деятельности должна помогать настраивать субъектов образовательного процесса на восприятие окружающего мира, космоса как высшего дара, как благодати, обязывающей их к ответному отношению дарения, приближающемуся к экологическому императиву современности. В том числе и технологии творчества следует направлять главным образом на сохранение природы, а не на удовлетворение в рамках парадигмы меновых стоимостных эквивалентов непомерных потребностей наслаждающихся индивидов. Вне отношения дарения все вещи космоса могут восприниматься как бесконечно тиражируемые и воспроизводимые, получаемые без ответных обязательств. Перерабатывая их в качестве не имеющего собственной структуры, образа и названия сырья, человек воспринимает себя как субъекта, все более произвольно оперирующего знаками (обозначающими вещи), освобождаемыми от соотнесенности с первичной космической (бытийной) реальностью, и теряющего сам ее след. Соответственно приветствуется освобождение развитой культуры знака от привязки к опостылевшему референту — материалу природы, с переработкой которого и связана вся старая промышленная культура [12]. Примерно об этом же (бизнес как форма социальной игры ...) пишет автор работы [13].

В связи со сказанным экологизация профессионально-педагогической деятельности имеет онтологический аспект: через гармонизацию связей технических и педагогических объектов с миром природы возвращать индивида к реальности, бытию (а значит, и к реальному, не виртуальному, производству неотчуждаемых природой ценных продуктов). Соответственно, представляется важным совершенствование средств обучения для сохранения и развития инженерно-педагогического образования в условиях снижения престижности и вытеснения из системы ППО специализаций технической направленности, связанных с материальными производствами (металлургическим, литейным, сварочным).

Вопрос об идеальных средствах экологизации знаний уже затрагивался [3, 14]. С учетом особенностей методического конструирования и задач настоящего исследования обращено внимание на такие средства обучения, как логические регулятивы обучающей деятельности (подходы, принципы, правила, методы, методики, действия, операции, приемы), знаковые системы (учебники, учебно-методические пособия, опорные конспекты, рабочие тетради, плакаты и т. п.) и на материальные объекты (лабораторные установки, измерительные приборы, технические средства обучения и др.), используемые в подготовке студентов [15]. О подходах и принципах уже было сказано выше. Складывается впечатление, что в вопросах методического творчества достижения изобретологии не используются в достаточной степени [16—19]. Некоторые примеры возможного влияния ПЭИ на процесс разработки методического обеспечения также приведены выше. Кроме того, предложено преднамеренно нарушать целостность схем, кривых на графиках и текстов с описанием работы устройств и их характеристик, что способствует активизации учебной деятельности студентов и соответствует принципам теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) [20] и положениям проблемного обучения. Также следует учитывать факт снижения аудиторной нагрузки при изучении технических курсов и предусмотреть при составлении заданий предоставление студентам возможностей для проведения большого объема плодотворной самостоятельной работы. Имеет значение последовательность применения перечисленных выше принципов педагогики при разработке заданий и рабочих тетрадей [17].

Экологизация имеет и моральный аспект. Например, еще И. Кант, хотя и не без некоторого антропоцентризма, отмечал: "...дух разрушения, свойственный людям относительно вещей, которые еще могут быть использованы, аморален. Ни один человек не должен разрушать красоту природы, потому что если он сам не может использовать ее, то все-таки другие люди могут найти ей применение" [21, с. 213]. Эта обязанность, как и обязанность по отношению к зверям, другим существам, рассматривается Кантом относительно человечества.

Соответственно, по нашему мнению, в разрабатываемых учебных заданиях должна содержаться экологи-

ческая мораль, и студентов следует научить усматривать ее. В этом проявляется влияние педагогической науки на процесс составления технико-эколого-экономических задач, что может считаться элементом их педагогизации. Например, введение в задания на выполнение лабораторных работ по исследованию внешних характеристик источников питания для сварки требований по определению негативных последствий производства и потребления энергоресурсов (аспект экологии) и их стоимости (аспект экономики) дает основание для усмотрения конфликтных ситуаций (аспект педагогики и психологии) и выявления экологической морали лабораторного занятия. Этому способствует и заполнение экологически структурированных бланков отчетов по работе [3]. Подобным образом корректируются задания к контрольным работам [3]. Психологические процессы (восприятие, мышление и др.) зависят от мотивации (о непрагматическом характере мотивов обучения в экологической педагогике сказано в работах [7, 2, 3]). Поэтому, для того чтобы у студента складывалась внутренняя, устойчивая, обобщенная мотивация, его необходимо включать в самостоятельную деятельность по анализу, преобразованию учебной деятельности, например в разработку и последующее выполнение систем заданий. При этом подразумевается учет многих, в том числе экологических, аспектов. В частности, если рассматривать работу студента по конструированию и выполнению заданий как мини-изобретения (технико-педагогические решения), то ему еще приходится доказывать, что достигаемый положительный эффект от предполагаемого решения не сопровождается какими-либо скрытыми побочными отрицательными воздействиями на природу и человека. Следует создавать в инженерно-педагогических вузах подсистемы ПЭИ с соответствующим организационно-информационным и научным обеспечением.

Далее, занимаясь задачами экологизации образовательного пространства, можно на основе понятия "идеальный конечный результат" (из ТРИЗ Г. С. Альтшуллера) "изобрести" такую цель: разместить экологически значимую информацию по сварочному производству в аудитории без повреждения ее стен. Представляется, что в этом случае инженерное проектирование устройства для размещения информации и педагогическое проектирование содержания образования по дисциплинам специализации в области сварочного производства приобретут определенную целостность и интегративный характер благодаря их экологически значимой цели. В задаче, на наш взгляд, содержится экологическая мораль: соотнеси свои действия с требованиями безопасности окружающей среды [3]. Тем более, что экологичность учебного процесса зависит не только от степени экологизации логических регулятивов обучающей деятельности, знаковых систем, но также от уровня экологизации материальных объектов, используемых в подготовке студентов. В частности, при таком подходе может быть "изобретено" новое направление использования мобильных малогабаритных комплексных лабораторных устройств с электрическими схемами. В конечном итоге формируется природосообразное образовательное пространство [3].

Таким образом, разработка содержания подготовки инженеров-педагогов на основе эколого-микроцивилизационного подхода, включающего, в том числе неизбежное использование средств ПЭИ, способствует решению некоторых задач ЭО. Некоторые результаты исследования эффективности такого подхода приведены в работе [3]. ПЭИ должна включать в себя и элементы методического творчества. Экологическое микроцивилизационное описание инженерно-педагогической "оболочки" техносферы позволяет сделать проектирование содержания технических дисциплин более многоаспектным (поскольку появляются более ярко выраженные онтологический и моральный аспекты подготовки студентов) и способствует интеграции технических, экологических, педагогических, экономических, философских, исторических, литературных и других знаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Краевский В. В.** Общие основы педагогики. М.: Издательский центр "Академия", 2003. 256 с.
2. **Тютюков С. А., Тютюков В. С.** Экологизация профессионально-педагогической деятельности с использованием средств технического творчества и изобретологии. Екатеринбург: Изд-во РГППУ, 2002. 320 с.
3. **Тютюков С. А., Тютюков В. С.** Экологический подход в подготовке студентов профессионально-педагогического вуза. Екатеринбург: Изд-во РГППУ, 2005. 170 с.
4. **Петров К. М.** Экология и культура. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2001. 368 с.
5. **Техническое** творчество: теория, методология, практика: Энцикл. слов.-справ. / Под ред. А. И. Половинкина, В. А. Попова. М.: НПО "Информсистема", 1995. 408 с.
6. **Новоселов С. А.** Развитие технического творчества в учреждении профессионального образования. Системный подход. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. проф.-пед. ун-та, 1997. 371 с.
7. **Дерябо С. Д., Ясвин В. А.** Экологическая педагогика и психология. Ростов н/Д: Феникс, 1996. 480 с.
8. **Гегель Г. В. Ф.** Эстетика. В 4 т. Т. 1. М.: Искусство, 1968. 312 с.
9. **Энерго-экологический** анализ, программное обеспечение и снижение эколого-экономического ущерба / В. Г. Лисиенко, О. Г. Дружинина, Б. Б. Зобнин и др. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. техн. ун-та — УПИ, 2005. 310 с.
10. **Кудрин В. А.** Теория и технология производства стали. М.: Мир, ООО "Изд-во АСТ", 2003. 528 с.
11. **Малиновский В. С., Малиновский В. Д., Власова И. Б.** Универсальные дуговые печи постоянного тока нового поколения для литейного и металлургического производств // Литейное производство. 2005. № 7. С. 15—19.
12. **Панарин А. С.** Православная цивилизация в глобальном мире. М.: Алгоритм, 2002. 496 с.
13. **Орлов В. И.** Философия бизнеса в обществах переходного типа. Минск: Экономпресс, 2004. 288 с.
14. **Чапаев Н. К.** Теоретико-методологические основы педагогической интеграции: Дис. ... д-ра пед. наук. Екатеринбург: Урал. гос. проф.-пед. ун-т, 1998. 400 с.
15. **Эрганова Н. Е.** Методика профессионального обучения. Екатеринбург: Изд-во РГППУ, 2003. 150 с.
16. **Калошина И. П.** Психология творческой деятельности. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003, 431 с. (Серия "Педагогическая школа. 21 век").
17. **Тютюков С. А**. Эколого-микроцивилизационное описание инженерно-педагогической "оболочки" техносферы // Инновации в профессиональном и профессионально-педагогическом образовании. Тез. докл. 13-й Всерос. науч.-практ. конф., СПб., 11—13 апреля 2006 г. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2005. С. 167—168.
18. **Сборник** заданий по дисциплине "Механизация и автоматизация сварочного производства" / С. А. Тютюков, В. С. Тютюков, Н. С. Рудь и др. Екатеринбург: Изд-во РГППУ, 2004. 96 с.
19. **Тютюков С. А., Беляева Н. В.** Сборник заданий по дисциплине "Управление техническими системами". Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. техн. ун-та — УПИ, 2005. 96 с.
20. **Нестеренко А. А.** Опыт овладения инструментами анализа и решения проблем через синтез творческих текстов (по материалам ТРИЗ-эксперимента) // Педагогические технологии. 2005. № 2. С. 7—32.
21. **Кант И.** Лекции по этике. М.: Республика, 2005. 431 с.

УДК 628.543.3/.9:629.113

И. Г. ШАЙХИЕВ, канд. техн. наук (Казанский ГТУ), А. Г. ЗАРИПОВА (ФГУ ЦЛАТИ по Республике Татарстан), Г. Ш. ЗАРИПОВ (ОАО "Камский прессово-рамный завод", г. Набережные Челны)

Исследование очистки металлосодержащих гальванических стоков производства ОАО "КамАЗ" щелочными стоками нефтехимических производств

Исследована очистка концентрированных металлосодержащих сточных вод гальванических производств ОАО "КамАЗ" от ионов железа и цинка щелочными сточными водами ОАО "Казанский завод синтетического каучука" и ОАО "Нижнекамскнефтехим". Показано, что наибольшая степень очистки от ионов металлов достигается в случае использования сточных вод ОАО "Нижнекамскнефтехим".

Современное машиностроение развивается на базе крупных производственных объединений, включающих или связанных с добычей и переработкой руд, металлургией, термической и механической обработкой металлов, гальваническими производствами, которые являются неотъемлемой частью данной отрасли.

Машиностроение и родственные отрасли являются основными источниками загрязнения окружающей среды. В частности, гальваническими производствами предприятий Российской Федерации ежегодно потребляется более $2 \cdot 10^9$ м^3 воды, образуется около 80 млн т гальваношламов. Со сточными водами в водоемы поступает не менее 2400 т никеля, 3300 т цинка, 500 т хрома, 450 т меди, 130 т кадмия и других загрязнителей в год. На большинстве предприятий машиностроительного комплекса РФ, как показал анализ литературы, для очистки образующихся гальваностоков используют реагентные методы [1].

На ОАО "КамАЗ" для очистки стоков гальванических производств также используют реагентный способ, который заключается в смешивании гальваностоков из различных ванн, обработке стока смеси серной кислотой с целью восстановления ионов Cr^{6+} до Cr^{3+}, далее известковым молоком для перевода ионов тяжелых металлов (ИТМ) в соответствующие гидроксиды, доочистке стока сульфидом натрия путем перевода ИТМ в соответствующие малорастворимые сульфиды металлов, удалении осадка и подкислении сточной жидкости до нейтральной среды и сбросе на биологические очистные сооружения.

Применяемые в настоящее время устаревшие технологии очистки гальваностоков имеют следующие недостатки: многостадийность, использование дорогостоящего сульфида натрия и известкового молока вместо NaOH или Na_2CO_3, что хотя и позволяет удешевить процесс, но способствует забиванию трубопроводной аппаратуры и образованию большого количества гальваношлама и т. д.

В настоящее время для очистки сточных вод гальванических производств применяют дорогостоящие, но весьма эффективные способы: обратный осмос, нанофильтрацию и др. [2, 3]. Однако экономическое состояние многих хозяйствующих субъектов РФ ограничивает ресурсные возможности по реализации природоохранной деятельности. Выходом из такого положения может быть реализация программы внедрения высокоэффективных методов очистки сточных вод, не требующих больших финансовых вложений и не оказывающих негативного влияния на природную среду. В связи с этим особый интерес представляет использование в качестве реагентов для очистки сточных вод отходов производств, и, в частности, сточных вод других производств.

В работе исследовалась возможность очистки сточных вод гальванических производств ОАО "КамАЗ" сточными водами других производств. Для исследования был выбран концентрированный кислый гальваносток (ККГС), содержащий в своем составе ионы цинка и железа (табл. 1).

В качестве нейтрализующего стока были выбраны щелочные сточные воды производства полисульфидных каучуков (тиоколов) ОАО "Казанский завод синте-

Таблица 1

Показатели кислого гальваностока ОАО "КамАЗ"

Показатель	Значение показателя
pH	0,9
Содержание ионов, мг/л:	
Zn^{2+}	133,1
$Fe^{общ}$	412,1
Cl^-	6083
Светопропускание *T*, %	95
Оптическая плотность *D*	0,04
Цвет	Бесцветный

Таблица 2

Физико-химические показатели щелочных сточных вод

Показатель	Значение показателя для стоков	
	ОАО "КЗСК"	ОАО "Нижнекамскнефтехим"
pH	12,00	11,95
ХПК, мг O_2/л	20 840	6640
Содержание ионов, мг/л:		
сульфидов	2669	2890
сульфатов	3022	2686,6
хлоридов	35 848	1106
Светопропускание, *T*, %	6,0	72,0
Оптическая плотность *D*	1,3	0,14
Цвет	Темно-вишневый	Бесцветный

Таблица 3

Физико-химические показатели смесевых стоков при разных соотношениях ККГС ЩСВСК и ЩСВНХ

Показатель	Соотношение ККГС:ЩСВСК (в числителе) и ККГС:ЩСВНХ (в знаменателе)						
	10 : 1	10 : 3	10 : 5	10 : 10	10 : 15	10 : 20	10 : 30
pH	1,7/1,95	1,9/13,4	2,2/13,55	4,6/13,75	5,5/13,75	7,5/13,80	8,7/13,85
ХПК, мг O_2/л	3984/0	4914/0	5810/0	8798/810	9960/1458	11 128/2916	12 118/3564
Содержание ионов, мг/л:							
Zn^{2+}	112,7/35,5	50,7/2,88	32,1/1,69	14,7/0,79	14,1/0,73	14,1/0,67	14,1/0,61
$Fe^{общ}$	384,6/130,2	301,8/6,67	278,1/3,68	87,4/3,22	43,7/2,52	18,4/1,61	16,1/1,61
S^{2-}	0/0	136/374	238/544	340/1224	408/1598	510/1836	714/2244
Cl^-	3502/5714	8664/4608	11 060/4240	13 825/3502	15 115/2765	16 590/2396	17 881/1106
SO_4^{2-}	1343/1511	1679/1679	2350/1914	2686/2115	3358/2317	4029/2350	4264/2585
Светопропускание, *T*, %	92/95	34/78	61/64	61/68	18/55	21/58	24/47
Масса осадка, г/л	2,73/1,75	3,94/2,24	5,34/3,74	5,45/3,98	5,45/3,69	4,73/3,53	3,62/2,64

тического каучука" (ЩСВСК) и ОАО "Нижнекамскнефтехим"(ЩСВНХ) с характеристиками, приведенными в табл. 2. Выбор щелочных сточных вод названных производств обусловлен тем, что в их составе содержатся NaOH, который является нейтрализующим агентом, и органические и неорганические сульфиды, способные связывать ионы тяжелых металлов в малорастворимые сульфиды металлов [1].

Сущность эксперимента заключалась в следующем: в мерные цилиндры наливали по 100 мл ККГС и к ним в определенной пропорции добавляли щелочные сточные воды названных выше производств. Были выбраны следующие соотношения ККГС к щелочным стокам: 10:(1 ÷ 30).

После смешивания сточных вод наблюдалось мгновенное образование мелкодисперсной фазы черного цвета, обусловленное химической реакцией и образованием в реакционной смеси сульфидов железа (II), (III) и сульфида цинка. Следует отметить, что образовавшиеся частички сульфидов металлов в коллоидной системе имели весьма мелкие размеры, поэтому не удалось проследить кинетику осаждения образовавшейся дисперсной фазы.

Физико-химические показатели стоков смеси после отделения осадка приведены в табл. 3. Их анализ позволил сделать следующие выводы. С увеличением количества ЩСВСК в смесевой композиции содержание ионов железа и цинка планомерно снижается, достигая величин 14,1 и 16,1 мг/л по ионам Zn^{2+} и $Fe^{общ}$ соответственно. Однако следует отметить, что данные концентрации довольно высоки и превышают показатели для сброса сточных вод, содержащих ионы названных выше металлов, на биологические очистные сооружения. Значения pH, ХПК и содержание ионов сульфидов и хлоридов повышаются с увеличением ЩСВСК в составе стока смеси. Анализ полученных данных позволяет констатировать, что использование щелочных сточных вод производств полисульфидных каучуков для очистки кислых гальванических сточных вод, образуемых на ОАО "КамАЗ", не совсем эффективно ввиду неполной очистки от ИТМ и больших значений ХПК и содержания сульфид-, хлорид- и сульфат-ионов в составе очищенной сточной жидкости. Последнее обстоятельство объясняется тем, что в составе щелочных сточных вод производства тиоколов последние вышеназванные анионы присутствуют в больших количествах и не выпадают в осадок в результате реакции нейтрализации одной жидкости другой.

Анализ показателей, приведенных в табл. 3 в знаменателе, выявил следующие закономерности. С увеличением дозировки ЩСВНХ в композиции смеси значения ХПК и содержания ионов сульфидов и сульфатов повышаются, содержание хлорид-ионов понижается. Весьма интересен тот факт, что значения pH стоков смеси превышают таковой у исходной щелочной сточной жидкости. Природа данного аномального явления в настоящее время выясняется, но очевидно, что значения pH повышаются в результате протекающих в водной среде химических реакций с выделением, по-видимому, щелочных соединений. Содержание ионов железа и цинка с увеличением содержания щелочного стока в смесевой композиции планомерно снижается, достигая конечных величин 0,61 и 1,61 мг/л по ионам Zn^{2+} и $Fe^{общ}$ соответственно.

Таким образом, по результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы: щелочные сточные воды производства ОАО "Нижнекамскнефтехим" способствуют более полному удалению ионов железа и цинка по сравнению с аналогичными стоками ОАО "КазСК".

Следует отметить, что в результате взаимоочистки образуется гораздо меньшее количество гальваношлама, чем в случае применения известкового молока в качестве щелочного реагента и представленного в основном сульфидами и гидроксидами соответствующих металлов. Проведение аналогичного эксперимента с менее концентрированными гальваностоками показало, что для очистки от ионов тяжелых металлов содержание щелочного стока ОАО "Нижнекамскнефтехим" составляет 0,5 ÷ 5 % от количества кислого гальванического стока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Смирнов Д. Н., Генкин В. Е.** Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. М.: Металлургия, 1989. 224 с.
2. **Сковронек Е.** Обработка сточных вод в гальванотехнике // Гальванотехника и обработка поверхности, 2002. Т. 1. № 4. С. 55—61.
3. **Виноградов С. С.** Экологически безопасное гальваническое производство. М.: Глобус, 2002. 343 с.

УДК 621.31

Е. С. АСКАРОВ, канд. техн. наук
(Казахский национальный технический университет им. К. Сатпаева, г. Алма-Ата)

Конструкция ветроустановки малой мощности

Описывается конструкция ветроустановки мощностью 3 кВт с горизонтальной осью вращения, имеющая оригинальную конструкцию регулятора поворота лопастей, складную мачту и новую конструкцию тормоза. Ветроустановка отличается простотой конструкции и низкой стоимостью.

Одним из первых видов энергии, которой удалось овладеть человеку, является энергия ветра. Первые ветряные мельницы древние персы создали в третьем тысячелетии до нашей эры. Чуть позже появились парусные суда. В XX веке тепловая и гидроэнергетика практически полностью вытеснили ветровую энергетику, особенно на территории бывшего СССР. Про ветроэнергетику просто забыли.

В настоящее время ситуация коренным образом меняется. Во-первых, в мире уменьшаются запасы углеводородов, что ведет к постоянному повышению их стоимости. Во-вторых, ухудшается экологическая ситуация, в частности, атмосфера загрязняется продуктами сгорания, изменяется климат, наблюдается потепление. Эти причины без сомнения способствуют возрождению ветроэнергетики на территории СНГ. Не стоит забывать, что в 1954 г. Совет Министров СССР принял постановление "О всемерном внедрении ветроэнергоустановок в сельское хозяйство страны". В это время в СССР проводились реальные работы по производству ветроустановок, но в связи с удешевлением дизельного топлива работы были практически свернуты. Последние события дают надежду, что разговоры о ветроэнергетике сменятся наконец реальными действиями. Например, разговоры об установке ветроэнергоустановок в створе Джунгарских ворот в Казахстане ведутся с середины 30-х годов XX века.

Выбор ветроэнергоустановки (ВЭУ) является вполне оправданным для снабжения электроэнергией небольших отдаленных объектов. Такое решение подтверждается мировым опытом эксплуатации подобных установок, тем более, что большинство малых объектов-пользователей находится в ветровой зоне, и не использовать этот огромный энергопотенциал было бы неразумно. Для примера, около 30 % электроэнергии, получаемой в таких высокоразвитых странах Европы, как Дания и Нидерланды, вырабатывается на ВЭУ. В настоящее время в США эксплуатируется более 6 млн ВЭУ, в основном это небольшие установки мощностью до 10 кВт.

Проблема снабжения электроэнергией небольших и отдаленных населенных пунктов может быть решена несколькими путями: 1) использованием ВЭУ небольшой мощности; 2) использованием автономных дизель-бензин-генераторов; 3) подключением к централизованной сети энергоснабжения.

Варианты 2 и 3 давно используются, и до настоящего времени вполне себя оправдывали. В последнее время ситуация изменилась и использование этих вариантов в ряде случаев становится экономически невыгодным. Это можно объяснить:

1) повышением тарифов на оплату электроэнергии, подаваемой по централизованной сети. Причем тарифы резко возрастают при снабжении ею небольших и отдаленных объектов, когда необходимо проводить и эксплуатировать отдельную линию электропередачи (ЛЭП). В последнее время наблюдается также срыв поставок электроэнергии по ЛЭП из-за износа оборудования электростанций, отсутствия у них финансовых средств на покупку энергоносителей и ремонт оборудования;

2) повышением стоимости дизельного и бензинового топлива и доставки его потребителю. Стоимость дизельного топлива в настоящее время составляет около 10 тыс. руб. за 1 т, причем дизельное топливо дефицитно. Эксплуатация и ремонт самой дизель-бензин-установки требуют расходов, специальной подготовки обслуживающего персонала. Эксплуатация дизель-бензин-генераторов опасна в пожарном отношении и загрязняет атмосферу продуктами сгорания. Также следует отметить, что небольшие, (до 5 кВт) дизель-бензин-генераторы работают на бензине высокого качества, например установка "Хонда" (Япония) мощностью 3 кВт потребляет в час 1 л бензина АИ-93, стоимость которого составляет 15 руб.

Принимая во внимание рассмотренные причины, можно сделать вывод, что в некоторых случаях вполне оправданным было бы использование в отдаленных населенных пунктах ВЭУ, т. е. снабжение электроэнергией по варианту 1.

Реализация варианта 1 предусматривает выбор типа ВЭУ. В настоящее время все ВЭУ можно разделить на два типа: с горизонтальной осью вращения ветроколеса — крыльчатые ВЭУ и с вертикальной

осью вращения ветроколеса — роторные ВЭУ (роторы Савониуса, Дарье, Эванса, Масгрува и т. д.). ВЭУ типа 1 отличаются только числом лопастей.

Мощность ветроколеса зависит от следующих величин: коэффициента C мощности; площади сечения потока ветра, перекрываемого ветроколесом, так называемая ометаемая площадь A; плотности P воздуха и скорости U ветра.

Коэффициент C мощности — важнейший показатель ВЭУ, характеризующий степень ее энергетического совершенства. Он показывает какую часть энергии ветрового потока ВЭУ преобразует в механическую энергию. Еще Н. Е. Жуковский доказал, что для ветроколеса максимальное теоретическое значение $C = 0{,}593$. Для колес с вертикальной осью вращения не может быть $C > 0{,}18$ (ротор Савониуса), для ветроколеса с горизонтальной осью наибольшее значение коэффициента $C = 0{,}48$. Отсюда можно сделать вывод, что крыльчатое колесо в 2,66 раз лучше использует энергию ветра.

Наличие длинного вертикального вала в роторной установке создает технологические проблемы. Для установки мощностью 3 кВт требуется вал длиной $10 \div 12$ м и массой ≈ 250 кг. Изготовление такого вала и его монтаж — сложная и дорогостоящая технологическая задача. Такой вал может изготовить не каждый завод.

Роторные ВЭУ очень материалоемки. Например, для установки мощностью 3 кВт для ротора Савониуса требуется изготовить два полуцилиндра диаметром 4 м и высотой 12 м. Масса такой конструкции с учетом того, что поверхность ротора будет сделана из жесткого сукна, не менее 200 кг, масса вала — 250 кг, масса редуктора — 50 кг. Для крепления верхней части вала необходима жесткая рама, которая в самом легком варианте будет иметь массу 100 кг. Итого, масса ВЭУ без электрооборудования будет равна 600 кг. Большие массы ротора и вала создают большие силы трения в нижней опоре, что будет снижать КПД установки.

Роторные ВЭУ мало применяются во всем мире. В США из 6 млн применяемых ВЭУ большинство крыльчатые. К этому следует добавить, что Дарье создал свою схему в 1903 г., а Савониус — в 1923 г. Если бы эти схемы обладали заметными преимуществами перед крыльчатыми ВЭУ, они получили бы более широкое распространение.

Из изложенного можно сделать однозначный вывод: роторная установка значительно превосходит крыльчатую по металлоемкости, массе, сложности изготовления, потерям на трение и стоимости. Преимуществом роторной установки являются отсутствие необходимости ориентировать ветроколесо по ветру и более высокая сопротивляемость штормовому ветру. Следует отметить, что ориентация крыльчатой ВЭУ малой мощности не представляет сложности. Ее можно осуществить обычным флюгерным стабилизатором, так как масса такой установки небольшая и силы ветра вполне хватит для разворота установки по ветру. Что касается устойчивости перед сверхсильным ветром, то ВЭУ малой мощности совсем не должна быть рассчитана на ураганные ветры, которые бывают редко. Проще и дешевле создавать быстродемонтируемые крыльчатые ВЭУ. Перед ураганом ветроколесо просто снимается с мачты, а затем снова устанавливается на место, либо мачта ВЭУ пригибается к земле (мачта делается складной).

С учетом всех замечаний можно сказать, что для ВЭУ малой мощности наиболее приемлемым вариантом является крыльчатая трехлопастная установка. Выбор трех лопастей объясняется тем, что от числа лопастей мощность ВЭУ не зависит, а двухлопастная установка имеет более низкую плавность хода. Большинство зарубежных компаний выпускают именно трехлопастные крыльчатые ВЭУ. Астраханский завод в России выпускает двухлопастные установки.

В настоящее время автором разработан рабочий проект крыльчатой ВЭУ мощностью 3 кВт. Основная цель проекта — создание минимальной по стоимости конструкции ВЭУ, неприхотливой в эксплуатации, не требующей квалифицированного обслуживания, производимой из простых материалов, комплектующих и в то же время долговечной. Эксплуатация подобной ВЭУ позволит получить электроэнергию, стоимость, которой соизмерима со стоимостью электроэнергии централизованной сети. Такая ВЭУ будет доступна для потребителей, не имеющих высоких доходов, в частности сельских жителей.

От известных аналогов эту установку отличает применение более простой и дешевой конструкции регулятора поворота лопастей ветроколеса (рис. 1). Регулятор поворота лопастей ветроколеса состоит из ступицы *1*, в которой в радиальном направлении через равные углы выполнен ряд отверстий по числу лопастей *2*. Каждая лопасть *2* жестко соединена со стержнем *3*, вставленным в отверстие ступицы *1*, в котором он имеет свободное осевое и вращательное перемещение. На стержне *3* установлен палец *4*, входящий в косой паз *5*, выполненный на стенке отверстия ступицы *1*. Снизу на стержень *3* надета пружина *6*, стремящаяся отжать стержень *3* к центру ступицы *1*.

Регулятор работает следующим образом. Лопасти *2* под действием ветра получают вращательное движение. При усилении ветра скорость вращения колеса возрастает, также возрастает центробежная сила, действующая на лопасти *2*. Центробежная сила, преодолевая сопротивление пружины *6*, стремится отодви-

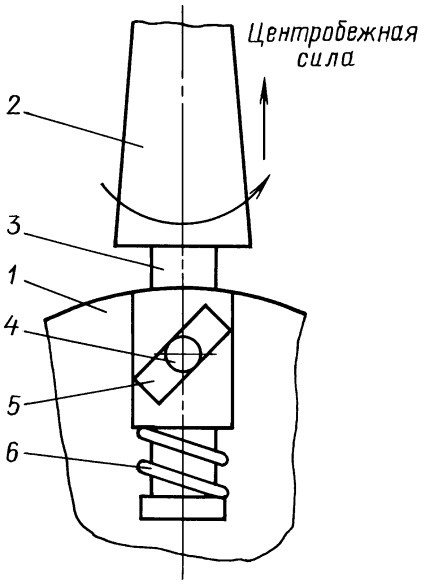


Рис. 1

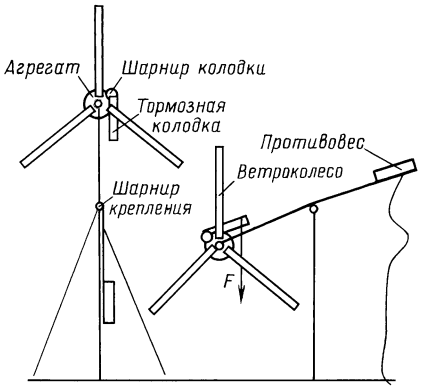


Рис. 2

нуть лопасть *2* вместе со стержнем *3* от центра ступицы *1*. При этом палец *4* перемещается по косому пазу *5* и поворачивает стержень *3* с лопастью *2* вокруг его оси. Угол встречи лопасти с ветром изменяется, увеличивается сопротивление воздуха и уменьшается частота вращения колеса, что приводит к уменьшению центробежной силы, в результате пружина *6* тянет стержень *3* вместе с лопастью *2* обратно к центру ступицы *1*. Лопасть *2* возвращается в исходное положение с одновременным поворотом в обратную сторону. Угол встречи с ветром вновь изменяется со снижением сопротивления воздуха. Колесо снова набирает обороты.

На первом этапе лопасти ветроколеса предлагается делать из многослойной фанеры, армированной стальными прутьями, в дальнейшем лопасти можно изготовлять из более современного материала — пластиков, композитных материалов. Для удобства обслуживания мачта ВЭУ выполнена из двух частей, соединенных шарниром. В рабочем положении обе части мачты жестко фиксируются. При ремонте агрегата, его установке или демонтаже, сильном ветре, урагане верхняя часть мачты поворачивается вокруг шарнира крепления, ветроагрегат также поворачивается вместе с этой частью мачты и приближается к земле, где его удобно ремонтировать, устанавливать или наоборот снимать (рис. 2).

Предлагается использовать очень простую конструкцию тормоза для ветроколеса. Тормозная колодка крепится с помощью шарнира (см. рис. 2) на корпусе агрегата возле ступицы ветроколеса. При вертикальном рабочем положении мачты тормозная колодка не контактирует со ступицей. При ремонтном положении мачты, повороте ее верхней части, тормозная колодка под действием собственной силы тяжести *F* поворачивается вокруг шарнира, вступает в контакт со ступицей и затормаживает вращение ветроколеса. Подобная конструкция не требует специального механизма срабатывания, проста в исполнении, достаточно надежна.

ВЭУ имеет следующие параметры: высота мачты 8 м, диаметр ветроколеса 5 м, масса без генератора 350 кг, примерная стоимость без генератора и электрооборудования 40 тыс. руб., общая стоимость около 90 тыс. руб. (3000 долл. США).

По некоторым параметрам установка будет превосходить существующие аналоги. Значительно снижена металлоемкость: масса российской установки мощностью 4 кВт составляет 900 кг (з-д Астрахань), предлагаемая установка имеет массу около 450 кг при мощности 3 кВт. Снижение металлоемкости получено за счет применения новой конструкции мачты. Поворотная конструкция башни позволяет выдерживать сильные ветры без значительного усиления конструкции, при сильном ветре мачта просто пригибается к земле.

На два узла ВЭУ имеется предпатент 7917 Казахстана и патент 7919 на изобретение.

Расчеты показывают, что себестоимость 1 кВт электроэнергии за 10 лет эксплуатации установки составит для варианта 1 — 0,07 долл. США, для варианта 2 — 0,18, для варианта 3 — 0,09.

Приведенные расчеты показывают, что применение ВЭУ даст ощутимый экономический эффект для потребителя, следовательно, ВЭУ будет иметь достаточно устойчивый спрос на рынке.

Выгоды от реализации проекта:

уменьшение финансовых затрат на получение электроэнергии;

уменьшение загрязнения окружающей среды продуктами сгорания;

уменьшение пожароопасности эксплуатируемого оборудования;

уменьшение расходов на эксплуатацию и ремонт автономной электростанции;

независимость энергоснабжения от сторонних поставщиков.

В конечном итоге можно говорить, что настало время реально возродить ветроэнергетику, и начать это возрождение лучше всего с внедрения малых ВЭУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мачта** ветровой энергетической установки: Предпатент 7917 РК, Б. № 8 от 16.08.99.

2. **Ветроколесо.** Пат. 7919: РК: Б. № 10 от 15.10.02.

3. **Аскаров Е. С.** Ветроэнергетическая установка малой мощности // Сб. "Новости науки Казахстана". Алматы: 2001. № 1. С. 67—69.

4. **Аскаров Е. С., Нурмамбетов С. М.** Ветроэнергетическая установка малой мощности — обоснование внедрения и выбор конструкции // Магистраль. 2002. № 1. С. 25—28.

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ ЖУРНАЛА "ВЕСТНИК МАШИНОСТРОЕНИЯ"

Подписка на журнал принимается по каталогам:

"Роспечать" — индекс **70120**;
"Пресса России" — индекс **27841**;
"Почта России" — индекс **27841**

УДК 621.914.1

Л. Б. ЗИВЗИВАДЗЕ, А. Г. МАГРАДЗЕ, кандидаты технических наук (Кутаисский ГУ им. А. Церетели)

Определение основных факторов, влияющих на точность компоновки сборных инструментов

Повышение эффективности гибкого производства, его интенсификация предусматривают создание и внедрение оснастки станка, повышающей его работоспособность. Одним из параметров сокращения непроизводительных затрат времени в технологическом процессе является сокращение времени на переналадку, замену и настройку сборного инструмента, оснащенного сменными многогранными пластинами (СМП).

Настоящая работа дает возможность определить основные факторы, влияющие на положение режущей кромки сборного инструмента. Проведенные исследования позволяют представить положение режущей кромки как функцию геометрии пластины и вариант ее базирования на державке. Очевидно, размеры державки будут рассматриваться как постоянные величины, а геометрические параметры пластины будут считаться переменными. Такое допущение соответствует заводской практике при повороте или замене пластины.

Конструкции инструментов, оснащенных СМП, разнообразны по способам крепления пластины, но используются в основном две схемы базирования: в первом случае пластину базируют по ее опорной и боковым поверхностям, что обеспечивает крепление пластины с захватом (рис. 1, *а*), или закрепляют рычагом (рис. 1, *б*), или винтом (рис. 1, *в*); во втором случае пластину базируют по ее опорной поверхности и по центральному отверстию (рис. 1, *г*), что обеспечивается при креплении пластины клином.

Положение режущей кромки может быть представлено размерной цепью, описывающей расстояние F_x между касательной к режущей кромке и любой неподвижной точкой на державке.

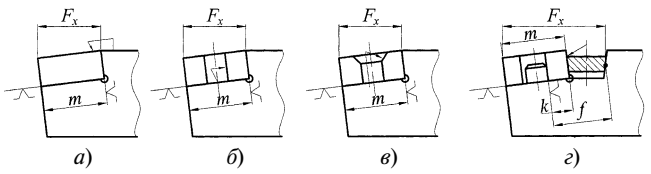


Рис. 1. Схемы базирования и крепления СМП на державке:
а — захватом; *б* — рычагом; *в* — винтом; *г* — клином

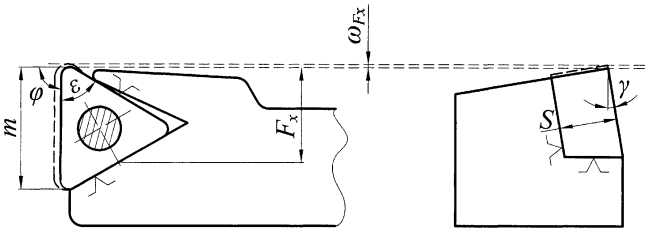


Рис. 2. Геометрическое соотношение размеров пластины и гнезда для определения величины F_x

В первом случае базирования $F_x = m$, во втором $F_x = f - k + m$, где m, k — параметры пластины; f — параметр державки. В соответствии с предыдущими формулами погрешности положения режущей кромки для первого случая $\omega_{F_x} = \omega_m$ и для второго случая $\omega_{F_x} = \omega_f + \omega_k + \omega_m$. Анализ формул показал, что первая схема базирования имеет большую точность по сравнению со второй из-за того, что в первом случае число звеньев в размерной цепи меньше, чем во втором. Во время эксперимента использовали первую схему базирования, когда меняли только пластину на державке. Пластины для эксперимента брали без выбора по 100 штук, нумеровали их, измеряли все геометрические параметры (d, m, r, ε, S) каждой пластины, затем определяли размер F_x при закреплении каждой из пластин в резцовых вставках. Результаты измерений записывали в таблицы.

При постоянной державке и меняющейся пластине (рис. 2) поля рассеяния параметра F_x зависят от полей рассеяния геометрических параметров m, r, ε пластины. Зависимость можно записать в виде:

$$F_x = m\sin\left[180^\circ - \left(\varphi + \frac{\varepsilon}{2}\right)\right] + S\sin\gamma.$$

В результате проведенного эксперимента было доказано, что величина рассеяния параметра m также является функцией следующих параметров пластины: $\omega_m = f(\omega_d; \omega_r; \omega_\varepsilon)$. Таким образом, величина поля рассеяния положения режущей кромки почти совпадает с величиной поля рассеяния параметра m пластины, т. е. $\omega_{F_x} \approx \omega_m$.

Из изложенного можно заключить:

1) в автоматизированном производстве для обеспечения бесподналадочной смены пластин необходимо использовать базирование пластины на державке по ее опорной и боковым поверхностям, т. е. использовать крепление пластины рычагом, винтом или захватом;

2) из-за того, что параметр m пластины точно описывает поле рассеяния режущей кромки при креплении пластины, его можно использовать для выбора пластины по классу точности изготовления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Барботько А. И.** Основы аналитической геометрии рабочей части режущего инструмента. Тула: 1981. 85 с.

2. **Гречишников В. А.** Моделирование систем инструментального обеспечения автоматизированных производств // Обзор информац. / ВИНИТИ ЭМР. Вып. 4. М.: 1988. 60 с.

Г. П. БЕНДЕРСКИЙ, д-р техн. наук, А. Е. КИСЛУХА (ОАО "НПО "Лианозовский электромеханический завод")

Инновационный подход при создании радиолокационных средств двойного назначения

Рассмотрены особенности формирования инновационного потенциала технического оснащения единой радиолокационной системы федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства Российской Федерации радиолокационными комплексами двойного назначения.

В начале 90-х годов прошлого века в связи с проводимым сокращением в Вооруженных Силах РФ значительному реформированию подверглись силы противовоздушной обороны (ПВО), в том числе и радиотехнические войска (РТВ).

Некогда самая мощная в мире радиолокационная система ПВО, которая осуществляла контроль воздушного пространства страны во всем диапазоне высот боевого применения средств воздушного нападения вероятного противника, перестала существовать. Очаговое радиолокационное поле (РЛП) не позволяло качественно решать задачи контроля воздушного пространства (КВП) и управления воздушным движением (УВД) в воздушном пространстве России. Поэтому была поставлена задача: интегрировать возможности, оставшиеся после сокращения группировки радиотехнических войск РТВ ПВО и военно-воздушных сил (ВВС) с радиолокационной системой УВД в рамках создаваемой федеральной системы разведки (ФСР) и КВП. Главным стало техническое оснащение информационных элементов двойного назначения (ИЭДН) единой радиолокационной системы (ЕРЛС) ФСР и КВП. Готовых технических средств двойного назначения не было. Необходимо было создать такие технические средства и наладить их серийное производство в очень короткие сроки. Причем решить эту задачу предстояло в условиях полного отсутствия финансирования со стороны государства.

Лианозовский электромеханический завод и конструкторское бюро "Лианозовский радар" (КБ "Лира") в те сложные годы приступили к решению сложнейшей задачи. Именно здесь был разработан и прошел испытания первый российский трассовый радиолокационный комплекс (ТРЛК) двойного назначения "Лира-Т" для ИЭДН ЕРЛС ФСР и КВП.

Основой положительного результата при разработке продукции двойного назначения стали инновационные подходы (прежде всего организационного и методологического плана) в вопросах технической политики предприятия. Новая продукция была необходима заводу не меньше, чем ЕРЛП стране, так как выпускаемые в то время радиолокационные станции, широко использовавшиеся в системах Минобороны и гражданской авиации, морально устарели и не соответствовали возросшим требованиям заказчиков.

Новые технические средства двойного назначения должны были создать инновационный потенциал технических средств ЕРЛС ФСР и КВП и обеспечить стабильное финансовое положение предприятия.

ОАО "НПО "Лианозовский электромеханический завод" ("НПО "ЛЭМЗ") в 2006 г. стал преемником Лианозовского электромеханического завода и КБ "Лира".

Принципы выбора инновационных подходов при создании новых технических средств

Известны следующие направления развития РЛС для решения задач КВП и УВД: расширение направлений применения РЛС; освоение новых частотных диапазонов; совершенствование элементной базы.

Необходимо было реально оценить производственные, технологические, кадровые и финансово-экономические возможности предприятий и определить дальнейшие действия, при этом рассматривались варианты как покупки патента на производство технических средств, так и разработки новых технических средств собственными силами.

Возможности кооперации КБ "Лира" и ЛЭМЗа позволили создать ранее не использовавшуюся в России структурную схему радиолокационного комплекса (РЛК) на основе собственных разработок. Имевшиеся на предприятиях заделы и инновационные идеи были использованы на этапе формирования замысла разработки нового РЛС. Немаловажную роль при этом сыграли ведомства, участвующие в создании ФСР и КВП, в лице их представителей в составе центральной межведомственной комиссии и в первую очередь управления радиотехнических войск ВВС и Федеральной службы воздушного транспорта Министерства транспорта России по линии гражданской авиации.

Унифицированный комплекс ТРЛК "Лира-Т", удовлетворяющий требования военных и гражданских потребителей, был создан на базе РЛС 1Л118, а также твердотельный цифровой вторичный радиолокатор (ВРЛ) "Лира-В".

В ходе опытно-конструкторских разработок "Лира-Т", заданных совместным решением военного и гражданского ведомств на основании Постановления Правительства России (2000 г.), и в результате государственных испытаний опытного образца в реальных условиях были проверены возможности принятия трассового РЛК (ТРЛК) "Лира-Т" для оснащения радиолокационных позиций.

В состав базового комплекта ТРЛК "Лира-Т", предъявленного на государственные испытания, входили: две обзорные РЛС "Лира-ТВК"; аппаратура первичной обработки информации (АПОИ-ТВК); комплекс автоматизированных средств отображения (КАСО); комплект программного обеспечения.

Испытания подтвердили соответствие базового комплекта ТРЛК "Лира-Т" требованиям технического зада-

ния на разработку типового ТРЛК для модернизируемых и вновь создаваемых радиолокационных позиций Единой системы организации воздушного движения (ЕС ОрВД) и требованиям действующего положения о трассовых радиолокационных позициях двойного назначения.

Распоряжением Федерального агентства воздушного транспорта в 2004 г. ТРЛК "Лира-Т" был принят для оснащения радиолокационных позиций гражданской авиации. На основе совместного решения военного и гражданского ведомств в период с 2004 по 2006 гг. закуплено более десяти ТРЛК "Лира-Т" для оснащения радиолокационных позиций двойного назначения, выполняющие задачи ФСР и КВП РФ.

В рамках принятой федеральной целевой программы (ФЦП) "Совершенствование федеральной системы разведки и контроля воздушного пространства Российской Федерации (2007—2010 гг.)" предусматриваются дальнейшие поставки ТРЛК "Лира-Т". Кроме того, запланирована реконструкция трассовых радиолокационных позиций двойного назначения Федеральной аэронавигационной службы (Росаэронавигации).

В 2006 г. по акту государственных испытаний базового комплекта ТРЛК "Лира-Т" было признано необходимым принять на вооружение радиолокационный трассовый комплекс КРЛТ-69Ж6 — модификация ТРЛК "Лира-Т". КРЛТ-69Ж6 предназначен для радиотехнических войск и радиолокационных позиций двойного назначения центров системы организации воздушного движения взамен РЛС П-37, принятой на вооружение еще в 1971 г. Выпускать КРЛТ-69Ж6 предполагается в двух комплектациях: полный КРЛТ и комплексированный ВРЛ (КВРЛ).

Доработки базового комплекта ТРЛК "Лира-Т" до уровня КРЛТ-69Ж6 предполагаются в следующем объеме:

размещение АПОИ-ТВК и выносного оборудования в контейнере, разрешенном для использования в изделиях, поставляемых по заказам Минобороны;

ввод в состав КРЛТ-69Ж6 электростанцию нового поколения и провести ее доработку по обеспечению раздельного электропитания двух РЛС ЛИРА-ТВК и повышению оперативности работы расчета комплекса;

ввод в состав изделия в качестве КАСО аппаратуру выносного индикаторного поста ВИП-117МЗ.

В текущем году на вооружение радиотехнических войск поступят первые комплексы. Уже проведены рекогносцировочные работы по выбору позиций для развертывания КРЛТ, выполняющего задачи военного и гражданского назначения. Партнеры из ближнего зарубежья также заинтересованы в модернизации РЛС П-37 и 1Л118 до уровня ТРЛК и КРЛТ.

В скором времени наряду с комплексами двойного назначения ТРЛК "Лира-Т" и КРЛТ-69Ж6 появятся ТРЛК "Утес-Т" и "Утес-А".

По указанию Минобороны признана целесообразной реализация дополнительных технических требований:

встраивание в РЛК аппаратуры РЛГО. Для этого необходима доработка антенны РЛГО программного обеспечения головного процессора РЛК (в части введения алгоритма автоматического запроса воздушных объектов для определения их государственной принадлежности) и аппаратуры РЛК;

обеспечение измерения высоты полета воздушных объектов с использованием фазового метода в силу разности хода сигналов принятых верхним и нижним лучами диаграммы направленности антенны;

обеспечение информационно-технического взаимодействия с автоматизированными комплексами ПВО, так как РТВ и ЕС ОрВД, имея общую задачу по КВП, могут использовать собственные КСА.

Проект реализуется по согласованию с государственными заказчиками сразу в нескольких регионах страны.

КБ "Лира" в рамках ОКР "Сопка-2" разработаны инновационные предложения по базовым техническим решениям и информационным технологиям для ФСР и КВП с применением последних достижений в области создания и производства РЛС и РЛК для систем УВД и ПВО:

1) при создании первичной РЛС:

пассивная приемопередающая фазированная антенная решетка (ФАР) с частотным качанием луча;

комбинированный метод обзора пространства по углу места (последовательный — одним лучом и параллельный — двумя-тремя лучами диаграммы направленности антенны);

моноимпульсный метод измерения азимута и угла места объектов;

технология программного зонообразования под заданные задачи;

технология программного цифрового формирования сложных ЧМ сигналов с перестраиваемой несущей частотой, длительностью и периодами посылок;

твердотельные СВЧ модули передающего устройства сантиметрового диапазона;

твердотельные (на интегральных микросхемах) приемные каналы с выходом сигнала на промежуточной частоте;

технология комбинированной обработки сигналов, при которой пачка импульсов поступает в цифровую систему селекции движущейся цели (ЦССДЦ), а последующий ее импульс — в устройство амплитудной обработки;

безредукторный привод для механического вращения антенны;

резервирование всех основных комплектов аппаратуры с ее автоматической реконфигурацией при обнаружении неисправностей;

унифицированные функциональные модули;

исполнение аппаратуры с открытой архитектурой, обеспечивающей поэтапное развитие РЛС и ее возможностей, в том числе повышение средней мощности твердотельного передатчика и уменьшение периода сопровождения скоростных и маневрирующих целей;

2) при создании ВРЛ:

пассивная ФАР RBS диапазона;

формирование в режиме приема суммарного разностного каналов и канала подавления приема сигналов по боковым лепесткам антенны;

антенна, обеспечивающая возможность применения в составе и автономного, и встраиваемого ВРЛ;

передатчик сигналов запроса с регулируемой мощностью (для основной антенны и антенны ПВО);

твердотельные СВЧ модули передающих устройств дециметрового диапазона волн;

твердотельные многоканальные приемники RBS диапазона;

резервирование основных комплектов аппаратуры с ее автоматической реконфигурацией при обнаружении неисправностей;

исполнение аппаратуры с открытой архитектурой, обеспечивающей поэтапное развитие неселективного ВРЛ до уровня моноимпульсного безадресного с режимом S, и далее до ВРЛ с дискретно-адресным запросом при минимальном объеме конструктивно-технических доработок;

3) при создании аппаратуры съема и автоматической обработки информации от первичной РЛС и ВРЛ:

подключение АЦП и цифровых фазовых детекторов непосредственно к выходам УПЧ первичной РЛС и ВРЛ;

технология программного формирования необходимых структур и алгоритмов функционирования ЦССДЦ в зависимости от помеховой обстановки;

формирование порога в обнаружителе отметок РЛС по оценке выборочной медианы в скользящем окне, более устойчивой в условиях воздействия хаотических импульсных помех;

два цифровых фильтра с различными коэффициентами сглаживания в схеме фильтрации и экстраполяции параметров траекторий для обеспечения непрерывности сопровождения маневрирующих воздушных объектов при изменении характера их движения;

программно-аппаратное исполнение с открытой архитектурой с возможностью реализации алгоритма трассовой обработки с воспроизведением виртуальных отметок и использованием ассоциативной памяти в рамках нейросетевой технологии для сопровождения групповых объектов.

Предлагаемые решения защищены рядом патентов и создают мощный потенциал для развития наукоемких технологий в этом направлении.

С 2009 г. начнется оснащение ИЭДН ЕРЛС ФСР и КВП комплексом нового поколения "Сопка-2", разработка которого ведется на основе приведенных выше базовых технических решений и информационных технологий.

Направления развития технических средств для ФСР и КВП

РЛС (РЛК) двойного назначения должны соответствовать следующим требованиям:

обеспечивать обнаружение и сопровождение в подконтрольном воздушном пространстве (на воздушных трассах и вне их) воздушных объектов всех типов, в том числе внезапно появляющихся (например, в результате террористических актов), опознавание государственной принадлежности и типа целей, возможность автоматической передачи радиолокационной информации в центры управления воздушным движением и на пункты управления ПВО и ВВС в режиме единого реального времени;

быть максимально простыми, унифицированными, сравнительно дешевыми, выпускаться серийно;

иметь высокую надежность, низкое энергопотребление, ограничиваться незначительными трудозатратами для технического обслуживания и поддержания эксплуатационной готовности;

не требовать специальной аппаратуры для защиты от активных помех;

иметь возможность высокоточного определения координат своего местоположения для решения задач информационно-технического взаимодействия в ЕРЛС ФСР и КВП.

Выставка "Технофорум–2007"

На территории Центрального выставочного комплекса "Экспоцентр" в г. Москве с 28 мая по 1 июня 2007 г. проходила международная выставка "Современные технологии обработки материалов, интеллектуальные системы, оборудование, приборы и инструмент", организованная ЦВК "Экспоцентр" и Российской Ассоциацией производителей станкоинструментальной продукции "Станкоинструмент". На выставке было представлено все самое лучшее в металлообрабатывающей отрасли: станки, оборудование, комплектующие узлы и изделия, программное обеспечение и др.

На выставке было представлено около 300 экспонентов из 15 стран, в том числе из России. Приведем краткое описание некоторых экспонатов.

ОАО "Стерлитамакский станкостроительный завод" (г. Стерлитамак) представило *универсальный сверлильно-фрезерный станок СФ32Б* для обработки деталей из различных конструкционных материалов в условиях мелкосерийного производства. Станок выполняет операции фрезерования, сверления, зенкерования, растачивания и нарезания резьб метчиками. Диапазон сверления в стали 3 ÷ 31,75 мм. Наибольший диаметр торцовой фрезы 100 мм. Диапазон нарезаемой резьбы М5 ÷ М22. Размер поверхности рабочего стола 630 × 250 мм, он может подниматься на 300 мм. Диапазон частот вращения шпинделя 90 ÷ 1400 мин$^{-1}$. Мощность двигателя главного движения 1,5 кВт. Наибольшая масса обрабатываемой заготовки 100 кг. Габаритные размеры станка 1300 × 1060 × 1930 мм, масса 1,1 т.

НПО "Рубикон-Инновация" (г. Смоленск) представило *программное обеспечение системы "Феникс"*. Система позволяет осуществлять линейную, круговую, вин-

товую, синусоидальную интерполяции, выполнять такие операции, как резьбонарезание, формирование сложного профиля, растачивание сложных отверстий. Система имеет два типа циклов; стандартные, определяемые производителем системы, и циклы пользователя. Циклы пользователя загружаются в систему в виде отдельного файла, подготавливаемого на внешнем ПК с помощью сервисного программного обеспечения. Благодаря технологии Look Ahead система заранее просчитывает изменения скорости движения рабочего органа по обрабатываемому контуру и не допускает отклонений от предельно допустимых режимов, а также оптимизирует процесс отработки технологической программы для повышения производительности. Предварительный просмотр программы на несколько кадров вперед позволяет предупредить появление таких аварийных ситуаций, как выход за пределы рабочей зоны, столкновение с механическими частями конструкций. Процесс отладки технологических программ облегчен благодаря наличию таких функций системы, как: покадровая и ускоренная отработка программ; блокировка перемещений по выбранным осям и исполнение команд электроавтоматики; выполнение программы от или до выбранного кадра; зеркальная отработка по выбранным осям; коррекция скоростей подачи и вращения шпинделя. Для описания функций электроавтоматики используется язык ST из семейства языков IEC61131. Объективно-ориентированная среда разработки позволяет быстро создавать файлы привязки и отлаживать их на станке или автономно.

ОАО "Станкомонтаж" (г. Стерлитамак) предложило потребителям *комплекс мод. КАРП 3000* для автоматизированной резки плазмой листового материала толщиной 0,5 ÷ 20 мм. Комплекс эффективно используется для раскроя листового металла в заготовительном производстве машиностроительных заводов, а также для изготовления деталей сложной формы из листа. Резка осуществляется по технологии HIFocus, которая позволяет получать заготовки и детали сложной конфигурации без затрат на механическую обработку. Скорость резания 0,5 ÷ 5 м/мин. Питающее напряжение комплекса 3 × 400 В, потребляемая мощность 17 кВт. Габаритные размеры комплекса 970 × 510 × 970 мм, масса 161 кг.

Промышленная группа "АСВ-Техника" (г. Москва) демонстрировала новые разработки:

круглошлифовальный прецизионный универсальный станок мод. КШ-3М для наружного и внутреннего шлифования цилиндрических и конических поверхностей, а также торцовых поверхностей деталей, к которым предъявляются особо высокие требования по шероховатости и геометрической точности. Станок уникален по своим точностным характеристикам. Беззазорная система поперечного перемещения обеспечивает наивысшую точность подачи шлифовального круга и стабильность размеров. Гидродинамические многоклиновые подшипники шлифовального шпинделя и шпинделя изделия обеспечивают высокую точность вращения без дополнительных регулировок. Круглость образца при обработке в неподвижных центрах 0,2 ÷ 0,3 мкм. Наибольшие: диаметр обрабатываемого изделия 200 мм; длина наружного шлифования 360 мм. Установленная мощность станка 10 кВт. Наибольшее перемещение рабочего стола 440 мм. Габаритные размеры станка 2300 × 1760 × 1950 мм, масса 2 т;

токарный станок с ЧПУ мод. SLT-400WD для токарной высокопроизводительной обработки деталей типа дисков, колец, фланцев из алюминиевых сплавов, сталей и других материалов. На станке можно обрабатывать цилиндрические, конические, фасонные и торцовые поверхности, нарезать наружные и внутренние резьбы, осуществлять сверление и развертывание центральных отверстий. Обработка ведется по двум координатам: X с величиной хода 340 мм и Z с величиной хода 600 мм. Мощность главного привода до 26 кВт. Станок оснащен двенадцатипозиционной револьверной головкой и специальным быстрозажимным патроном, не деформирующим заготовки. Имеется система интенсивного охлаждения заготовки, смыва стружки и охлаждения СОЖ (при обработке алюминиевых сплавов). Диаметр обрабатываемой детали: над станиной 710 мм; над салазкой 540 мм. Частота вращения шпинделя 30 ÷ ÷ 2200 мин$^{-1}$. Имеется возможность присоединения устройства удаления пыли из рабочей зоны. Габаритные размеры станка 4545 × 2030 × 1950 мм, масса 6 т.

Компания DUAMEX2000 (г. Москва) предложила потребителям новые разработки — портативные приборы для измерения и анализа вибрации.

Виброметр ЯНТАРЬ-М для измерения виброскорости, виброускорения и виброперемещения в стандартных и установленных пользователем частотных диапазонах с заданным временем усреднения, а также сравнения полученных данных с установленными нормами. Пользование прибором не требует специальных навыков. Возможна диагностика технического состояния любых роторных механизмов. В приборе реализована функция экспресс-диагностики состояния подшипников качения, позволяющая определять зарождающиеся дефекты элементов подшипников, а также дефекты монтажа и износа подшипников. Частотный диапазон прибора 2 ÷ 10 000 Гц. Число измерительных каналов 1 шт. Прибор работает при температуре −10 ÷ +60 °С. Длительность работы от аккумулятора более 6 ч при погрешности менее 5 %. Прибор также имеет взрывозащищенное исполнение. Масса прибора 325 г. Он укомплектован наушниками, позволяющими проводить оценку состояния агрегата по шумам.

Портативный двухканальный виброанализатор АГАТ-М для анализа параметров вибрации и проведения двухплоскостной динамической балансировки вращающегося оборудования. Прибор укомплектован программным обеспечением АГАТ-ПРОТОКОЛ, значительно упрощающим процесс обработки и хранения данных балансировок. Использование прибора в качестве сборщика данных совместно с программным обеспечением позволяет создать полноценную систему прогнозирования обслуживаемого оборудования. Отличительной особенностью прибора является наличие функции экспресс-диагностики подшипников качения, которая по разовому замеру позволяет определить дефекты монтажа, зарождающиеся дефекты подшипников, а также

степень их износа. Частотный диапазон прибора 2 ÷ ÷ 10 000 Гц, число измерительных каналов 2 шт. Прибор работает при температуре −10 ÷ +60 °С. Длительность работы от аккумулятора более 6 ч при погрешности менее 5 %. Масса прибора без датчиков и кабелей 870 г. Для определения собственных частот агрегата и его резонансов в приборе реализованы функции разгона и выбега, в том числе одновременно по двум каналам и спектру собственных частот.

АО «Кировский завод "Красный инструментальщик"» предложило потребителям свою продукцию.

Гладкий микрометр мод. МК Ц25 для измерения наружных размеров изделий. Измерительные поверхности микрометра оснащены твердым сплавом. Перемещение микровинта 25 мм, шаг дискретности 0,001 мм. Микрометр выполняет следующие функции: выдачу цифровой информации в прямом коде (с указанием знака и абсолютного значения); установку начала отсчета в абсолютной системе координат; предварительную установку нуля; измерение величин в миллиметрах или дюймах; вывод результатов измерения на внешние устройства (через цифровой интерфейс RS232). Габаритные размеры микрометра 170 × 27 × 65 мм, масса 250 г.

Штангентрубомер мод. ШТН750 для измерения наружных диаметров труб технологических трубопроводов. Измерительные поверхности штангентрубомера оснащены твердым сплавом. Детали выполнены из коррозионно-стойкой стали, что позволяет эксплуатировать прибор при температуре −20 ÷ +35 °С и относительной влажности воздуха не более 80 %. Габаритные размеры штангентрубомера 980 × 60 × 580 мм, масса 9 кг.

Штангензубомер мод. ШЗН-18 для измерения расстояния между разноименными боковыми поверхностями (толщины) зуба цилиндрических прямозубых и косозубых колес внешнего зацепления 11-й и 12-й степеней точности (ГОСТ 1643—81) по постоянной хорде или по хорде делительной окружности. В рамке прибора с неподвижной губкой в двух взаимно перпендикулярных пазах перемещаются штанга с подвижной губкой и высотная линейка. На штанге и высотной линейке нанесены углубленные шкалы, что предотвращает их износ при перемещении в рамке. Рамка снабжена нониусами. Для точной установки высотной линейки и штанги на размер служат микроподачи, а для их фиксации — стопорные винты. Габаритные размеры прибора 125 × 15 × 110 мм.

Маятниковый угломер типа ЗУРИ-М для измерения углов режущих инструментов различных типов. Работа угломера основана на принципе действия массы маятника, жестко соединенного с показывающей стрелкой и имеющего общую с ней ось поворота. Углы поворота маятника отсчитываются стрелкой по круговой шкале. В процессе измерения контрольная линейка угломера соприкасается с соответствующей поверхностью режущего инструмента. Угломер имеет устройство для фиксации положения стрелки. Габаритные размеры прибора 90 × 92 × 100 мм.

Стойку типа С-III для установки измерительной головки с ценой деления 0,001 ÷ 0,01 мм. Контролируемое изделие устанавливают на столе стойки. Измерительная головка закрепляется в кронштейне, перемещающимся вдоль колонки до основания стойки. Стойка оснащена устройством для тонкой установки на размер (микроподача). Габаритные размеры стойки 29 × 88 × 125 мм

Группа компаний "Томский инструмент" демонстрировала на выставке высокоточный инструмент, изготовленный по новой технологии — методом вышлифовки.

Спиральные сверла диаметром 2 ÷ 20 мм с цилиндрическим хвостовиком для сверления отверстий в конструкционных сталях твердостью 159 ÷ 229 НВ, углеродистых и легированных сталях твердостью 179 ÷ 321 НВ, углеродистых и инструментальных сталях твердостью 179 ÷ 269 НВ, серых и ковких чугунах твердостью 170 ÷ ÷ 210 НВ. Сверла повышенной точности класса А1 имеют канавки и спинки, изготовленные методом вышлифовки. Преимущества таких сверл: стабильность размеров профиля; малые значения осевого и радиального биений; возможность нанесения одно- и многослойных износостойких покрытий. Малые значения осевого и радиального биений сверл позволяет получать равномерную нагрузку на режущие кромки, а это повышенная стойкость, отсутствие увода сверла, отверстие при сверлении не разбивается, что важно, если по технологическому процессу оно подвергается дальнейшей обработке — нарезанию резьбы, зенкованию или развертыванию. Так, сверлами, изготовленными по технологии вышлифовки, можно получать отверстия квалитета I^0, что в обычных условиях исключает операцию зенкерования. Наличие на сверлах износостойкого покрытия TiN способствует лучшему отводу стружки, предохраняет режущие кромки от высоких температур, а следовательно, позволяет увеличить скорость резания до 28 м/мин и повысить стойкость сверл.

Спиральные сверла мод. СЦ0401А для сверления отверстий в изделиях из титановых и алюминиевых сплавов ручными пневмо- и электродрелями. Сверла также имеют вышлифованный профиль, а значит являются сверлами повышенной точности. Преимущества сверл те же, что и у описанных выше.

Ступенчатые сверла для сверления отверстий диаметром 3 ÷ 34 мм в листовом материале. Сверло затыловочное имеет 8 ÷ 13 ступеней, постепенно увеличивающихся в диаметре. Такие сверла при сверлении сквозных отверстий в листовом материале обладают следующими преимуществами по сравнению со спиральными сверлами: одним сверлом можно просверлить до 13 отверстий различных диаметров (взамен комплекта спиральных сверл из 13 штук); поломка сверла при выходе из отверстия исключается; на выходе из отверстия почти не образуются заусенцы; отверстие получается качественное недеформированное. Максимальная толщина обрабатываемого листа 3 ÷ 5 мм.

Пустотелые сверла диаметром 12 ÷ 50 мм для сверления сквозных отверстий в крупных металлоконструкциях. Сверление осуществляется с помощью ручных переносных станков, оснащенных магнитным зажимным элементом (крепление станка к изделию), системой подачи СОЖ, приспособлением для выталкивания высверленной части. Пустотелые сверла при сверлении

сквозного отверстия обладают рядом преимуществ по сравнению с цельными спиральными сверлами: малое усилие резания; отсутствие (или очень мало) заусенцев на выходе сверла. Наличие большего числа зубьев на сверле и отличная от спиральных сверл геометрия режущей части исключают поломку сверла при выходе из отверстия. Максимальная глубина сверления 25 ÷ 50 мм.

Фрезы концевые шпоночные с цилиндрическим хвостовиком для обработки шпоночных пазов в изделиях из стали. Фрезы повышенной точности изготовлены методом вышлифовки из цельных заготовок и имеют износостойкое покрытие TiN.

Машинные метчики с прямыми стружечными канавками и винтовой подточкой по передней грани для нарезания метрической резьбы в сквозных отверстиях в стали с пределом прочности до 800 Н/мм^2, латуни, отожженном чугуне. Наличие винтовой подточки по передней грани (скос пера) обеспечивает совпадение направлений схода стружки и подачи метчика, что не позволяет стружке скапливаться на режущей части метчика. Это в свою очередь уменьшает величину крутящего момента и вероятность заклинивания и поломки метчика, что особенно важно при нарезании резьбы в автоматическом режиме, в частности на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах. Скорость резания (м/мин) машинного метчика: конструкционной стали — 15 ÷ 18, легированной стали — 6 ÷ 8, инструментальной стали — 6, сплавов меди — 10 ÷ 12, чугунов — 10 ÷ 18. Нанесение на метчики износостойкого покрытия TiN улучшает отвод стружки, предохраняет режущие кромки от высоких температур, что способствует увеличению скорости резания и повышению стойкости метчика.

Машинные метчики с шахматным расположением зубьев и винтовой подточкой по передней грани для нарезания метрической резьбы в изделиях из вязких и труднообрабатываемых материалов (алюминий, медь, латунь, мягкая сталь, жаропрочная сталь, титановые сплавы) с пределом прочности до 800 Н/мм^2 и отожженного чугуна. При нарезании резьбы в вязких и труднообрабатываемых материалах процесс резания сопровождается большими силами трения между витками инструмента и детали, а также налипанием стружки в канавках и между витками, что может привести к защемлению метчика в отверстии. Для улучшения условий резания на таких метчиках вырезают зубья на калибрующей части — от одного пера к другому в шахматном порядке.

Международная выставка "Технофорум—2007" предоставила экспонентам большие возможности для презентации инновационных продуктов и их активного продвижения на мировой рынок. В рамках выставки была организована научно-техническая конференция "Инновационные технологии, оборудование, комплектующие изделия, инструмент — отечественным машиностроителям". Также были проведены круглые столы с присутствием ведущих ученых технических ВУЗов и специалистов предприятий, а также презентации и семинары отдельных фирм, консультации и обмен мнениями по вопросам сертификации машиностроительной продукции.

А. Н. ИВАНОВ, чл. корр. АПК

Выставка "Росупак–2007"

С 26 по 29 июня 2007 г. на территории МВЦ "Крокус Экспо", г. Москвы проходила двенадцатая Международная специализированная выставка — Упаковочные машины и технологии, оборудование для производства упаковки. Организатор выставки — Международный выставочный холдинг MVK при поддержке Правительства Москвы и Торгово-промышленной палаты РФ. Свою продукцию на выставке представили 922 компании из 37 стран, в том числе из России. В статье приведено краткое описание некоторых экспонатов.

Компания "НПО Технологии упаковки" (г. Москва) демонстрировала на выставке модельный ряд упаковочных машин.

Автомат-целлофанатор для упаковки в пленку различных прямоугольных коробок. В автоматическом режиме упаковывает отдельные коробки, используя пленку из полипропилена или ПВХ, а также наклеивает необходимые ярлыки нагретым воском или клеем. Особенности автомата: непрерывная работа в автоматическом или толчковом режимах; определение необходимости использования устройства для термоусадки упаковки в соответствии с толщиной пленки из ПВХ. Автомат работает от электродвигателя мощностью 1,5 кВт. Производительность автомата до 3000 коробок/ч, расход сжатого воздуха 100 л/мин. Питающее напряжение автомата 220 или 380 В, габаритные размеры 1920 × × 1520 × 1500 мм, масса 500 кг.

Автомат для сборки гофротары на различных производствах в автоматическом режиме осуществляет формирование гофрокороба из заготовки, закрытие нижних клапанов и их заклейку скотчем, а также подачу коробов на приемный стол или конвейер. Производительность автомата до 1200 коробок/ч, размер коробок: минимальный 200 × 150 × 120 мм, максимальный 600 × 500 × 500 мм. Расход сжатого воздуха 45 л/мин. Питающее напряжение автомата 200 или 380 В, потребляемая мощность 3,5 кВт, габаритные размеры 2000 × × 3000 × 1400 мм, масса 500 кг.

Автомат для упаковки продукции в гофротару выполняет следующие операции: формирование коробки из заготовки; группирование и укладку продукции в коробку; закрытие и заклеивание клапанов коробки скотчем. Автомат выпускается в прямом, левом и правом исполнении, что позволяет вписывать его практически в любую планировку цеха. Производительность — 1200 коробок/ч. Размеры коробок: минимальные 200 × 150 × 120 мм, максимальные 600 × 500 × 500 мм. Расход сжатого воздуха 150 л/мин. Питающее на-

пряжение автомата 220 или 380 В, потребляемая мощность 3,7 кВт, габаритные размеры 2000 × 3000 × × 2000 мм, масса 1,8 т.

ЗАО "Промбиофит" (г. Москва) — производитель упаковочного и перерабатывающего оборудования предложило потребителям:

пневматическую установку мод. УСС-2ПН для герметичной заварки пластиковой тары крышками из алюминиевой фольги с термолаком. Оператор вручную устанавливает емкость с продуктом в ячейку узла сварки, накрывает ее крышкой и переводит подвижную каретку до упора на позицию заварки. Одновременно каретка упирается в пневмопереключатель с пружинным возвратом. Давление воздуха от компрессора поступает в пневмоцилиндр, сварочная головка опускается и приваривает крышку к пластмассовой таре, после чего автоматически возвращается в исходное положение. Во время работы сварочной головки автоматически поддерживается заданный температурный диапазон;

установку мод. ТПА-1200 РА для фасовки и упаковки сыпучих и мелкоштучных продуктов (кроме пылящих) в пакеты из термосвариваемой пленки. Установка работает по фотометке и без нее. Она укомплектована объемным или весовым дозатором, имеет блок печати даты упаковки, а также ствол под пленку диаметром 250 мм (пакет шириной 115 мм) и 350 мм (пакет шириной 165 мм) при длине до 285 мм. Производительность установки до 600 пакетов/ч, питающее напряжение 220 В, габаритные размеры 1100 × 650 × 1750 мм, масса 270 кг. Тип используемой пленки ПП, ПП/ПЭ, ПП/ПП.

ЗАО "Стеклопак" (г. Орел) демонстрировало на выставке упаковочное и конвейерное оборудование для стекольной промышленности.

Вертикальный конвейер, применяемый на предприятиях (производствах), расположенных на нескольких уровнях. Специальная цепь конвейера с упругими элементами обеспечивает надежный захват и перемещение изделий. Высота опускания или подъема груза до 12 м.

Полуавтоматическая универсальная машина мод. УПБ-3М (рис. 1) для упаковки в термоусадочную

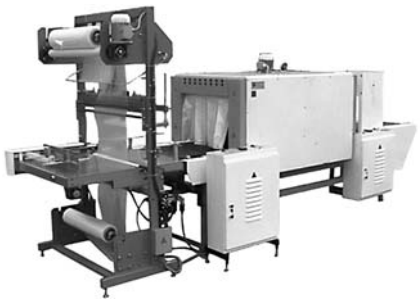


Рис. 1

пленку различных изделий для многих отраслей промышленности. Машина осуществляет автоматическое оборачивание изделий, их сталкивание и сварку пакетов. Она оснащена приводом размотки пленки с рулона, блокировочным устройством сварочного ножа, исключающим его поломку, автоматической защитой от падения давления воздуха ниже заданного. Эксплуатационные особенности машины — широкий диапазон регулирования времени сварки, температуры сварочного устройства и термоусадочного тоннеля. Производительность машины 400 пакетов/ч. Размеры пакета до 480 × 350 × 360 мм.

ООО "ННХС" (г. Нижний Новгород) предложило потребителям упаковочные машины.

Полуавтоматическая упаковочная машина мод. ПУМ-600М2 для групповой упаковки стеклянной продукции в термоусадочную пленку. Машина состоит из упаковочного узла, в который входят верхний и нижний пневмоцилиндры, барабаны для размещения рулона пленки, сварочно-обрезной нож и рабочий стол. Машина также оснащена термотоннелем с роликовым конвейером и охлаждающими вентиляторами. Технология упаковки следующая. Продукция группируется на рабочем столе в лотке, далее пневмотолкателем подается в упаковочный узел, где обертывается в термоусадочную пленку, которая сваривается и отрезается; далее сформированный блок подается в термотоннель, из которого готовая упаковка поступает на роликовый конвейер и охлаждается. Производительность машины до 6 упаковок/мин. Питающее напряжение электродвигателей 3 × 380 В, установленная мощность 13 кВт, давление воздуха 0,5 МПа, его расход 3 $м^3$/ч. Температура в термотоннеле до 200 °С, размеры его проходного окна 700 × 380 мм. Габаритные размеры машины 3150 × × 1050 × 1960 мм, масса 400 кг.

Автоматический упаковочный комплекс "АУК-1 Traypacker" для групповой упаковки продукции в склеиваемые в автоматическом режиме картонные лотки с последующей упаковкой в термоусадочную пленку с возможностью перестройки на несколько видов упаковываемой продукции, а также для групповой упаковки продукции в термоусадочную пленку на картонной подложке или только в термоусадочную пленку. Всего комплекс позволяет осуществить 27 разновидностей упаковки по размерам и количеству продукции. Работает автомат следующим образом. Продукция по конвейеру от линии разлива и укупорки подается на конвейер-накопитель с ворошителем, затем в механизм формирования и склеивания лотка, куда одновременно подается развернутая заготовка лотка, где автоматически на бортики лотка наносится клей и происходит его формирование. Далее продукция в сформированном и склеенном лотке подается в упаковочный автомат, в котором происходит автоматическое обертывание блока термоусадочной пленкой, ее сваривание и отрезание. Затем сформированный блок автоматически подается в термотоннель, из которого поступает на роликовый конвейер и охлаждается. Производительность комплекса до 10 упаковок/мин. Питающее напряжение трех электродвигателей комплекса 380 В, установленная мощность 16,2 кВт, давление воздуха 0,5 МПа при расходе до 35 $м^3$/ч, температура в термотоннеле до 200 °С. Габаритные размеры комплекса 6540 × 1370 × 2150 мм, масса 2,2 т. Обслуживает комплекс один оператор.

НПФ "Интеграл+" (г. Казань) предложил потребителям:

упаковочный комплекс мод. УТ-1000 для упаковки в термоусадочную пленку различной продукции. Комплекс состоит из устройства термоусадки и устройства упаковки. Питающее напряжение комплекса 380 В, производительность до 1000 упако-

вок/ч. Скорость конвейерной линии 2,3 м/мин. Максимальные размеры упаковываемых изделий 940 × 250 мм. Упаковочный материал ПЭ толщиной до 110 мкм. Потребляемая мощность комплекса 17 кВт. Его габаритные размеры 3600 × 1340 × 1430 мм, масса 350 кг;

сварочное устройство мод. ИС-600 для ручной сварки полимерной пленки при упаковке продукции торговых, почтовых и промышленных предприятий. Импульсный нагреватель с длиной шва 600 мм расположен на губках щипцов, обеспечивает качественную сварку пакетов разных размеров. Оптимальная длительность сварки устанавливается вручную и контролируется по индикатору. Исходный свариваемый материал — полимерная пленка шириной 200 мм и толщиной 30 ÷ 200 мкм, время сварки не более 5 с. Потребляемая мощность устройства 500 Вт, питающее напряжение 220 В. Его габаритные размеры 160 × 210 × 120 мм. Масса: блока питания 3,5 кг, сварочного устройства 1,7 кг. Все блоки сварочного устройства легко стыкуются со штатной универсальной стойкой, снабженной наклонной регулируемой по длине пакета столешницей.

ООО "Филуэт Инжиниринг" (г. Москва) предложило потребителям свои новые разработки.

Рентгенодетектор (рис. 2) для обнаружения посторонних включений с помощью рентгеновских излучений. Устройство может распознавать также металлические включения, скрытые упаковкой из фольги или металлизированной пленки и одновременно отбраковывать продукты с твердыми посторонними включениями, измерять общую массу упаковки или ее отдельных составляющих. Аппарат позволяет обнаруживать не только металлы, но и другие плотные включения — стекло, камень, пластик, резину и т. п.

Рис. 2

Фасовочный автомат мод. WW1000 для порошкообразных и пылеобразных продуктов. Шнековый дозатор автомата приводится в действие сервомотором, его вместимость регулируется специальной системой. Преимущества автомата: прозрачный бункер, позволяющий видеть продукт; шнек длиной до 2 м позволяет осуществлять высокую точность дозирования; детектор, определяющий содержание остаточного кислорода; устройство контроля, расположенное возле воронки выхода готовой упаковки, гарантирует точность массы до 1 %. Производительность автомата 120 упаковок/мин, вместимость бункера 55 л. Мощность автомата 3 кВт, питающее напряжение 380 В, габаритные размеры 1555 × 1174 × 2394.

Торговая фирма "Теплоформ" (г. Москва) показала на выставке и предложила потребителям упаковочные автоматы.

Заварочный полуавтомат мод. ПЗ-5 для упаковки различных продуктов в полимерные лотки. Продукты укладывают в лоток вручную. Затем лоток с продуктами подается в зону сварки. После герметичной приварки производится ручная или автоматическая вырубка упаковок по контуру. Длительное хранение упакованного обеспечивается за счет создания вакуума с впрыском смеси защитных газов. На одной и той же машине можно упаковывать продукты в лотки разной формы и глубины (максимальный размер лотков 210 × 200 мм, глубина 80 мм). Установленная мощность полуавтомата 2 кВт. Его производительность 5 циклов/мин.

Фасовочно-упаковочный автомат мод. АТД 12, работающий по технологии "формирование — дозирование — запечатывание — вырубка", предназначенные для изготовления полимерной тары, расфасовки в нее жидких, пастообразных, труднотекущих или сыпучих продуктов с последующим запечатыванием и вырубкой готовых упаковок. Любой механизм автомата управляется и настраивается в ручном или автоматическом режимах. Особенность автомата — безотходная технология производства упаковок, низкое энергопотребление. В целях безопасности обслуживающего персонала его электронагреватели работают под напряжением 42 В. Производительность автомата 13 ÷ 18 циклов/мин (за один цикл изготавливается 6 упаковок вместимостью 50 ÷ 1000 мл), установленная мощность 10 кВт. Рабочее давление сжатого воздуха 0,63 МПа при расходе 1200 л/мин. Габаритные размеры автомата 4800 × 1300 × 2000 мм.

Фирма "OMAG" (Италия) представила фасовочные и упаковочные автоматы:

упаковочный автомат CSD/5 (рис. 3) с пятью технологическими дорожками разработан и оборудован для фасовки легкосыпучих и гранулированных продуктов. Скорость его работы до 60 циклов/мин по каждой дорожке, что суммарно составляет 300 пакетов/мин. На автомате допускается фасовка мелких и средних объемов продуктов. Дозирующая система — объемный ротационный дозатор, точно регулирующий объем дозы (4 ÷ 7 см^3) без прерывания технологического процесса;

Рис. 3

Рис. 4

автомат OMAG C3 (рис. 4) непрерывного действия с 12 технологическими дорожками для формирования четырехшовного пакета. Он оснащен системой дозирования — пневматической помпой с распределительным поворотным клапаном с системой отсечки капли, предотвращающей попадание продукта в верхний сварной шов. Привод автомата от серводвигателя мощностью 12 кВт с электронным контролем. Автомат оборудован фотоэлементом для центрования печатного рисунка на пакете. Управление осуществляется с сенсорного дисплея OMRON, позволяющего устанавливать и запоминать все параметры технологического цикла, а также отображать аварийные ситуации и данные самодиагностики. Конвейер упаковочного автомата оборудован системой отбраковки. Питающее напряжение автомата 380 В, уровень шума при работе 78 Дб. Его габаритные размеры 1700 × 2300 × 2900 мм, масса 1,9 т.

На выставке российские и зарубежные компании продемонстрировали самое современное оборудование и технологии, многообразие упаковочных материалов и готовой упаковки, уникальные дизайнерские и конструкторские разработки, а также полный спектр услуг в упаковочной отрасли.

В рамках выставки "Росупак" прошли специализированные выставки: "Люксупак" (упаковка премиум класса), "Алюмупак" (упаковка из алюминия), "Формупак" (фармацевтическая и медицинская упаковка), также была проведена международная конференция "Современная упаковка: аналитика, инновации, креатив".

А. Н. ИВАНОВ, чл.-корр. АПК

3D Форум компании Autodesk

В Москве 25 сентября этого года компания Autodesk — лидер в области трехмерных технологий провела широкомасштабное мероприятие — 3D Форум, которое совпало с 25-летием компании и выходом русских версий 3D решений 2008 года. Участники получили новейшую информацию о последних разработках в области автоматизации процессов проектирования, дизайна, визуализации и анимации. Многие из посетивших это мероприятие уже работают с продуктами компании.

Программа 3D Форума состояла из секций:

решения для машиностроительных отраслей промышленности; решения для архитектуры и строительства;

геоинформационные системы для контроля, анализа и управления данными;

дизайн, анимация и мультимедиа.

Секции вели ведущие специалисты компании Autodesk в СНГ, руководители соответствующих направлений: Павел Брук — машиностроение, Павел Ханженков —архитектура и строительство, Алексей Петрунчик — инфраструктура и ГИС. Секцию по анимации вел Ник Меннинг — директор по развитию бизнеса Media & Entertainment.

Посетители Форума узнали не только о новейших возможностях, которые предоставляют решения Autodesk , но и о том, как правильно выбирать программные продукты для автоматизации процессов проектирования, как этот выбор может повысить эффективность работы специалистов и предприятия в целом. А главное — были даны рекомендации о том, как сделать предприятие на порядок лучше, а продукцию конкурентоспособной и современной, используя возможности предлагаемых решений Atodesk.

В течение всего дня в фойе работала выставка авторизованных партнеров Autodesk из разных городов России, демонстрировавших широкие возможности новых программных продуктов.

В рамках 3D Форума состоялась пресс-конференция, на которой Александр Тасев — глава представительства Autodesk в СНГ рассказал о значительных финансовых достижениях компании по итогам первого полугодия, перечислил основные вехи развития за 25 лет и ознакомил с перспективами компании.

На Форуме можно было получить консультацию по вопросам приобретения, внедрения, технической поддержки и обучения специалистов. Сотрудники авторизованных партнеров демонстрировали работу новых программных продуктов и отвечали на вопросы по новому функционалу.

САПР и средства управления данными, переплетаясь, охватывают весь цикл проектирования изделия – от конструкторского замысла до передачи в производство.

Для машиностроительного проектирования решения компании Autodesk объединяют в себе линию передовых программных продуктов и разнообразные ус-

луги, предоставляемые разветвленной партнерской сетью. Залогом эффективности работы с ними являются обучающие ресурсы и техническая поддержка со стороны компании. Использование предлагаемых решений Autodesk — эффективный способ опередить конкурентов и добиться максимальной отдачи от вложений в программное обеспечение.

Для машиностроительных предприятий компания Autodesk предлагает следующую программную продукцию.

Автоматизированное проектирование

Autodesk Inventor Suite (прежнее название — Autodesk Inventor Series) — комплекс программного обеспечения для выполнения проектов крупных машиностроительных сборок, включающий пакеты двумерного и трехмерного параметрического проектирования: AutoCAD, AutoCAD Mechanical, Autodesk Mechanical Desktop и Autodesk Inventor,

Autodesk Inventor Professional — система трехмерного твердотельного проектирования, предназначенная для организаций, разрабатывающих сложные машиностроительные изделия. Autodesk Inventor Professional предоставляет единое интегрированное решение, которое позволяет инженерам-конструкторам, работающим в области механики и электрики, значительно повысить производительность проектирования, контроля и документирования таких изделий. Построенная на базе Autodesk Inventor Suite (Autodesk Inventor Series) — комплекса, включающего Autodesk Inventor, Autodesk Mechanical Desktop и Autodesk Vault, — система расширяет функциональные возможности Autodesk Inventor Suite с помощью специализированного инструментария, ориентированного на потребности инженеров-конструкторов механических и электрических систем. Autodesk Inventor Professional охватывает все аспекты процесса проектирования промышленного оборудования.

MechaniCS Оборудование — специальная версия MechaniCS, предназначенная для конструкторов теплообменного и емкостного оборудования нефтегазовой, нефтехимической, химической и энергомашиностроительной отраслей. Система включает в себя все возможности MechaniCS и предоставляет дополнительные инструменты проектирования сосудов и аппаратов в среде Autodesk Inventor.

SchematiCS — приложение, работает на базе AutoCAD, применяется для автоматизации создания схем любой сложности и формирования ее структурной модели SchematiCS (версия 2). Это специализированный продукт, работающий на базе AutoCAD, применяется для создания, сохранения, вывода на печать и анализа схем любой сложности.

ElectriCS предназначен для проектирования электрооборудования, применяемого в различных отраслях промышленности.

ElectriCS Express — эффективное решение для создания принципиальной схемы и получения перечня элементов электротехнического проекта в соответствии с требованиями различных стандартов.

Connect UG — программный модуль САПР ElectriCS, осуществляющий связь с пятой и последующими версиями системы с модулем проектирования электропроводки Wiring, входящим в состав системы Unigrahhics (UG).

COPRA MetalBender — специализированный набор программных модулей, реализованных в виде приложения к AutoCAD, Autodesk Mechanical Desktop, Autodexs Inventor для проектирования изделий из листового материала.

COPRA RollForm — профессиональный набор инструментов для проектирования практически любых (простых и сложных, открытых и замкнутых) профилей и технологической оснастки для их изготовления.

PARTsolutions — уникальная система менеджмента стандартных компонентов и комплектующих. В масштабах предприятия PARTsolutions является системным решением для всех действующих CAD/PDM и ERP-систем, включающим в себя весь спектр комплектующих изделий (стандартные и покупные изделия, узлы и комплектующие собственного производства), которые используются на предприятии. Простота использования и оптимизация производственных процессов позволяют достичь значительной экономии времени, что способствует снижению издержек на проектирование и его сопровождение.

eCATALOGsolutions представляет собой программное решение для создания, использования и распространения электронных каталогов продукции. CADENAS не только предлагает проверенную и хорошо зарекомендовавшую себя систему, но и обеспечивает дополнительный контакт между поставщиком и потенциальным потребителем, открывая доступ к новым рынкам.

Инженерный анализ

MSC. Nastran — главный продукт MSC. В сфере, где ненадежность результатов может обернуться колоссальными суммами дополнительных расходов на разработку, Вот уже более 30 лет MSC. Nastran доказывает свою точность и эффективность. Он аккумулирует в себе достоинства новейших методик и алгоритмов и потому на сегодняшний день остается лучшей программой конечно-элементного анализа.

MSC. Adams — широко используемое программное средство для виртуального моделирования сложных машин и механизмов.

MSC. Patran — это интегрирующая среда систем проектирования, моделирования и анализа на основе современного графического пользовательского интерфейса.

MSC. Fatigue предоставляет уникальные возможности оптимизации конструкций на основе критериев долговечности.

MSC. Dytran — это система анализа высоконелинейных быстротекущих процессов, связанных с взаимодействием конструкции и жидкости (газа) или конструкции и конструкции.

MSC. Marc представляет собой универсальную конечно-элементную программу для проведения углубленного анализа высоконелинейного поведения конструкций и решения задач теплопередачи.

MSC. FEA & MSC. AFEA — интегрированные персональные рабочие места на основе комплексов "MSC. Patran — MSC. Nastran" и "MSC. Patran — MSC. Marc".

MSC. Mvision — первая в своем роде система хранения и комплексной обработки информации по материалам.

MSC. Actran — система акустического анализа.

MSC. SimDesigner for CATIA V5 — семейство встроенных решений для CAD системы CATIA V5, обеспечивающее моделирование динамики механизмов, напряженно-деформированного и теплового состояний.

MSC. Sofy —современный пре-, постпроцессор для решения задач прочности, анализа виброакустических характеристик изделия, оценки долговечности, моделирования различных краш-тестов.

MSC. EASY5 — система моделирования и расчета гетерогенных технических систем и устройств.

Техническая подготовка производства

LVMFlow — профессиональная CAM-система трехмерного моделирования литейных процессов, реализующая широкий спектр технологий в литейном производстве, позволяющая автоматизировать рабочее место технолога-литейщика, а также сократить затраты времени и средств на подготовку новых изделий.

ProCAST — профессиональная система компьютерного 3D-моделирования литейных процессов методом конечных элементов. Система работает под ОС UNIX, MS Windows и позволяет моделировать практически все варианты литейных технологий, включая свободное литье в формы, литье под низким и высоким давлением, литье по выплавляемым моделям и т. д.

Управление станками с ЧПУ

SolidCAM — инструмент быстрого и легкого создания управляющих программ для токарных, фрезерных и электроэрозионных станков с ЧПУ. Использование SolidCAM как интегрированного приложения к программным продуктам, входящим в состав Autodexs Inventor Series/ Professional, обеспечивает возможность создания полнофункциональной CAD/CAM-системы.

VERICUT — программный комплекс для визуализации процесса обработки деталей на станках с ЧПУ, проверки и оптимизации управляющих программ в G- и APT-форматах.

Техтран — семейство современных CAM-систем, объединенных общим интерфейсом и единым подходом к решению задач технологического проектирования

Комплексная CAD/CAM/CAE-система

CAD/CAM/CAE Unigraphics — система высокого уровня, предназначенная для решения всего комплекса задач, стоящих перед инженерами на всех этапах создания сложных технических изделий (предварительное проектирование, этап инженерного анализа и оптимизации конструкции, изготовление).

Н. В. СКУГАРЕВСКАЯ

Компания Autodesk предлагает новые решения для производственной отрасли

На состоявшейся в марте 2007 г. пресс-конференции корпорация Autodesk (NASDAQ: ADSK) представила новейшие версии своих решений для машиностроения, позволяющие заказчикам проверить возможности своих проектов, прежде чем претворять их в жизнь. Выпустив обновленные версии программных продуктов Autodesk Inventor, AutoCAD Mechanical, AutoCAD Electrical, Autodesk AliasStudio и Autodesk Productstream, компания предлагает законченный подход к созданию цифровых прототипов, позволяющих производителям без больших затрат проверить свои идеи и ускорить выход продукта на рынок.

"Являясь крупнейшим в мире и самым проверенным поставщиком САПР, Autodesk предлагает компаниям наиболее новаторские 2D-и 3D-приложения, — заявил Роберт "Базз" Кросс, вице-президент Autodesk, — мы обновили наши продукты, чтобы помочь производителям использовать мощь функционального проектирования и ускорить и упростить процесс создания цифровых прототипов. Обновления позволяют сократить время вывода новых продуктов на рынок без дополнительных расходов на создание нескольких опытных образцов". По данным отраслевой исследовательской фирмы Aberdeen Group, лучшие в своем классе производители создают вдвое меньше физических прототипов, чем средний производитель, и выводят продукты на рынок на 58 дней быстрее с почти вдвое меньшими расходами на создание прототипов. Усилия, необходимые для разработки продукта, могут быть сорваны из-за бумажной волокиты, несовместимости систем, используемых различными подразделениями, изоляции знаний и данных на различных стадиях производственного цикла.

Новейшие производственные решения Autodesk определяют процесс проектирования продукта, поддерживая и естественным образом объединяя все дисциплины, участвующие в разработке продукта, от промышленного дизайна, машиностроения и электротехники до производства. Функции и возможности взаимодействия производственных приложений Autodesk формируют среду, позволяющую промышленным дизайнерам создавать цифровые концептуальные модели и использовать их совместно с инженерами. В свою очередь инженеры могут применять функциональные схемы для автоматического создания 3D-геометрии цифрового прототипа, который легко интегрирует машиностроительные и электротехнические данные. С помощью ис-

черпывающей системы управления данными, тесно взаимосвязанных вычислений, анализа нагрузок и моделирования движения инженеры могут тестировать цифровые прототипы, оптимизировать и проверять конструктивные решения, а также предоставлять заказчикам возможность испытать качество и свойства продукта до его выпуска. Более того, файлы в формате DWF доставляют в цифровом формате подробные данные о проекте в производственные цеха.

Программное обеспечение Autodesk Inventor 2D и 3D

Линейка продуктов Inventor — это оптимальный выбор для конструкторов, желающих отслеживать процесс разработки и сопровождения своей продукции, а также сделать наглядными свои производственные процессы путем создания цифровых прототипов. Среди основных изменений, способствующих созданию цифровых прототипов, можно отметить следующие.

Взаимодействие с форматом DWG. С помощью DWG TrueConnect пользователи могут загружать и сохранять DWG-файлы, не прибегая к дополнительным программам-трансляторам. При этом поддерживается полная ассоциативность с 3D-моделью и повышаются возможности использования уже имеющихся 2D-данных.

Взаимодействие с AliasStudio. Новые возможности импорта поверхностей и твердотельных объектов, созданных в AutoCAD, совмещенные с новой функцией экспорта в формат DWG из Autodesk AliasStudio, обеспечивают быструю и безошибочную передачу концептуальных разработок в Inventor.

Работа с листовым материалом. Повышена производительность проектирования деталей из листового материала, улучшена работа таких полезных функций, как создание разверток и хранение информации о высечных инструментах.

Средства проектирования шлейфов. Возможность управления формой и расположением кабельных шлейфов упрощает разводку электрических цепей и снижает вероятность связанных с этим производственных ошибок. Все типы электрических кабелей теперь включаются в цифровой прототип и корректно отражаются в документации.

Эффективность построения эскизов. Среда работы с 2D-эскизами обновлена, и конструкторам теперь требуется меньше времени, чтобы овладеть ею. В процессе работы более четко виден статус зависимостей, команды форматирования для геометрических объектов стали более доступными.

"Революционные концепции функционального проектирования и цифрового прототипа еще больше укрепляют позиции компании Autodesk как мирового лидера в области программного обеспечения САПР. Эти концепции, совместно с решениями в области промышленного дизайна и управления данными, решают все актуальные задачи по автоматизации инженерных процессов, что позволяет нашим заказчикам достичь значительных конкурентных преимуществ на рынке", — сказал Павел Брук, директор машиностроительного направления представительства Autodesk в России и СНГ.

Исчерпывающее производственное решение

Наряду с Inventor компания Autodesk выпустила полностью усовершенствованные версии дополнительных производственных продуктов, включая следующие:

AliasStudio — инструментарий для концептуального проектирования, помогающий компаниям создавать великолепные проекты, которые способствуют бизнесу. Теперь AliasStudio может взаимодействовать с Inventor.

AutoCAD Electrical — ведущее приложение, разработанное специально для проектирования и документирования электрических систем управления.

AutoCAD Mechanical — приложение для механического 2D-проектирования и черчения, отличающееся стандартизованными библиотеками компонентов, средствами автоматизации и ассоциативными подробностями моделей Autodesk Inventor.

Autodesk Productstream — программное обеспечение, авоматизирующее процесс работы с версиями с помощью управления техническими изменениями и спецификациями.

При приобретении и реализации производственных решений Autodesk клиенты могут выбрать различные возможности. Подписка Autodesk Subscription служит альтернативой отдельным обновлениям и предоставляет ряд дополнительных преимуществ. За годовую плату подписчики получают новейшие версии своих лицензированных программных продуктов Autodesk, веб-поддержку от Autodesk, возможности самообучения и широкий диапазон других технологических и бизнес-преимуществ. Клиенты, желающие максимизировать эффект своих инвестиций в производственные решения Autodesk могут воспользоваться обучением в авторизованных учебных центрах Autodesk. В России и СНГ расположены 20 таких учебных центров.

Компания Autodesk поставляет свои программные продукты через своих авторизованных партнеров. Это позволяет обеспечивать постоянную оперативную и качественную техническую поддержку, консультации по внедрению и эффективному использованию решений Autodesk на предприятиях СНГ.

О компании Autodesk

Компания Autodesk нацелена на реализацию инновационных идей. Это крупнейший в мире поставщик программного обеспечения (САПР) и услуг для промышленного и гражданского строительства, машиностроения, геоинформатики, цифровых средств передачи информации и беспроводной связи. Autodesk — это более 5000 сотрудников, работающих в 106 странах на более чем 7 000 000 пользователей! Компания Autodesk основана в 1982 г.; ее штаб-квартира расположена в Сан-Рафаэле (Калифорния, США). Представительство по странам СНГ находится в Москве и работает с 4 дистрибьюторами, 73 партнерами, а также 20 учебными центрами, помогая проектировщикам работать на мировом уровне. Более подробная информация об Autodesk — на сайте www.autodesk.ru.

А. И. САВКИН

American Machinist. 2007. Nr. 5

Новости промышленности, с. 16, 30, ил. 1.

Фирма DMG America предлагает компактный горизонтальный многоцелевой станок DMC 55/65 H duoBLOCK с наклонными Z-образными кожухами, облегчающими отвод стружки и обеспечивающими возможность обработки без охлаждения и с минимальным количеством СОЖ, и вертикальным цепным магазином на 180 режущих инструментов. Частота вращения шпинделя 12 000 и 18 000 мин$^{-1}$. Точность позиционирования по трем осям ±0,0025 мм. Размеры рабочей зоны станка составляют 500 × 600 × 600 мм или 700 × 700 × × 700 мм. Максимальная масса обрабатываемой детали 440 кг (мод. 55) и 530 кг (мод. 65). Зажимное устройство powerRgrip фирмы Rego-Fix Tool позволяет закреплять режущий инструмент за 10 с и менее и представляет собой эффективную альтернативу сборке инструмента по горячей посадке.

Benes J. Режущие инструменты и оснастка, с. 22, 24, 25, ил. 5.

Описываются новые инструменты, представленные на международной выставке Eastec 2007. Цельнотвердосплавные концевые фрезы Pow-R-Feed M90 фирмы IMCO Carbide Tool с четырьмя или пятью стружечными канавками предназначены для черновой и чистовой обработок плоских поверхностей и пазов. Фирма Emuge представила новую серию цельнотвердосплавных обдирочных концевых фрез Multi-Cut диаметром от 4 до 20 мм с переменными шагом и размерами стружечных канавок для уменьшения вибрации при обработке различных материалов твердостью до 44 *HRC*. Новая серия насадных фрез фирмы Seco Tools с круглыми режущими пластинами диаметром 10, 12 и 16 мм и никелевым покрытием предназначена для чернового и получистового фрезерования. Фирма Greenleaf представила режущие пластины WG-300 для торцевых фрез, изготовленные из армированной волокнами керамики. Они отличаются высокими износостойкостью и сопротивляемостью тепловым ударам при высокой скорости резания. Геометрия пластин обеспечивает обработку материала твердостью 54 *HRC* со скоростью резания 240 м/мин и глубиной резания до 1 мм. Инструментальный патрон типа HSK для фрезерных станков последнего поколения с ЧПУ фирмы Rego-Fix Tool балансируется при частоте вращения 25 000 мин$^{-1}$.

Haftl L. О низкозатратном производстве, с. 28.

Описываются успехи американских машиностроительных предприятий в организации низкозатратного производства за счет уменьшения неисправимого брака и исправления бракованной продукции. Исследования показали, что лучших результатов добились предприятия, постоянно проводящие сравнительный анализ критериев технического уровня производства (бенчмаркинг) и вкладывающие больше средств в приобретение капитального оборудования и внедрение современной технологии.

Benes J. Абразивные материалы, с. 42, 44—46, ил. 1.

Изготовители абразивных материалов используют разнообразные присадки и наполнители, обеспечивающие уникальные свойства шлифовальных кругов. Такие круги полностью отвечают требованиям повышения производительности и качества обработки. Подробно рассматривается семейство современных абразивных материалов, включающее оксиды алюминия, карбиды кремния, абразивы с керамическими зернами и суперабразивы — алмазы и КНБ. Описываются состав, зернистость и способ получения этих материалов, а также область их применения (обрабатываемый материал, требования к качеству обработанной поверхности)

Industrie Anzeiger. 2006. V. 128. Nr. 13

Новый обрабатывающий центр, с. 25.

Фирма Toyoda выпустила горизонтальный центр FH 450S для массового изготовления малых и средних деталей. На столе с ЧПУ могут устанавливаться спутники с заготовками общей массой до 400 кг. Размеры спутников составляют 450 × 450 мм. Величина перемещений по осям — 600 мм, скорость ускоренного хода — 50 м/мин, ускорение — 0,7 g. Мощность привода шпинделя 22 или 18,5 кВт, частота вращения до 15 000 мин$^{-1}$. Центр комплектуется транспортером для отвода стружки и системой управления фирмы Fanuc.

Прецизионный обрабатывающий центр, с. 26, ил. 1.

Фирма Breton S.p.A. (Италия) выпустила обрабатывающий центр Xceeder 900 RTM для высокоскоростной обработки сложных контуров на деталях авиа- и космической техники. Высокая точность гарантируется жесткой портальной конструкцией и специальным ПО, компенсирующим тепловые деформации. На наклонном вращающемся столе устанавливаются заготовки массой до 1000 кг. Перемещения по осям составляют 900, 900 и 500 мм, скорости — до 50 м/мин. Центр комплектуется тремя шпинделями мощностью 40, 40 (частоты вращения 18 000 и 40 000 мин$^{-1}$) и 20 кВт (28 000 мин$^{-1}$) с крутящим моментом 100 и 38 Н · м.

Вертикальный обрабатывающий центр с дополнительной осью *Y*, с. 27.

Центр с дополнительной осью *Y* выпускается фирмой Kehren и предназначен для выполнения с одного установа операций точения, фрезерования, сверления и шлифования различных деталей, включая торцевые и криволинейные зубья. Центр имеет оптимизированную гидростатику, улучшенный привод, автоматическое измерительное устройство.

Инструментальные патроны для обработки с минимальным количеством СОЖ, с. 28, ил. 1.

Фирма Giihring предлагает различные инструментальные патроны HSK и SK, зажимные устройства и

инструментальную оснастку. Наряду с конструкциями для обработки с минимальным количеством СОЖ предлагаются также конструкции патронов HSK-A SK с периферийным охлаждением. Для оптимизации закрепления обрабатываемых деталей предложено беспроводное устройство для контроля усилия зажима, которое устанавливают непосредственно на станке.

Многорезцовая головка, с. 29, ил. 1.

Описывается многорезцовая головка MSD с четырьмя прецизионно шлифованными твердосплавными режущими пластинами фирмы Wagner. Хотя толщина стружки, приходящейся на одну режущую кромку, составляет всего одну четверть от величины общей подачи, производительность резания такими пластинами выше, чем обычным инструментом с одной режущей кромкой. Радиальные силы, создаваемые на противоположных режущих кромках, уравновешивают друг друга. Точность обработки составляет 0,01 ÷ 0,02 мм.

Измерительные устройства, с. 33, ил. 1.

Фирма Ratinger NSK Precision Europe предлагает синтетические конструкционные материалы для миниатюрных направляющих оптических и измерительных устройств. Новые материалы отличаются эффективными демпфирующими свойствами и позволяют уменьшить на 20 % массу направляющих. Кроме того, существенно уменьшается шум при работе и увеличивается плавность перемещения по направляющим при одновременном увеличении скорости перемещения.

Магнитные подшипники шпинделя, с. 34, 35, ил. 1.

Рабочая скорость и долговечность шпинделя станка может быть увеличена за счет магнитных подшипников или специальных уплотнений. Описаны магнитные подшипники фирмы Levitec, применяемые в качестве опор главного шпинделя станка и обеспечивающие высокое качество обработанной поверхности при шлифовании, благодаря большой динамической жесткости.

Шлифовальные круги с датчиками измерения усилий, с. 42, ил. 1.

В институте технологии машиностроения IPT (Frauenhofer) разработана конструкция шлифовальных кругов с трехкомпонентным пьезоэлектрическим датчиком для измерения усилия шлифования непосредственно в зоне контакта инструмента и обрабатываемой поверхности. Датчики работают при частоте вращения шлифовального круга до 6000 мин$^{-1}$. Применение подобных шлифовальных кругов ускоряет процесс шлифования, уменьшает расход материала и повышает стойкость инструмента.

MAN (Modern Application News). 2006. V. 40. Nr. 6

Обработки штампов и литейных форм, с. 12, 13, ил. 3.

Описывается опыт фирмы Datum Industries по применению концевых фрез со сферическим торцем Chip Surfer фирмы Ingersoll Cutting Tools при обработке штампов и литейных форм. Фрезы имеют корпусы из легированной стали, сменные твердосплавные пластины и по две стружечные канавки и устанавливаются в корпусе с точностью 0,0127 мм. Типовая операция черновой обработки осуществляется при частоте вращения инструмента 4855 мин$^{-1}$, подаче 10,16 м/мин и глубине резания 0,5 мм.

Модернизация шлифовальных станков с ЧПУ, с. 14—16, 19, ил. 3.

Рассматривается опыт модернизации шлифовальных станков фирмой Honeywell Engine and Systems (США), специализирующейся на обработке лопаток турбин глубинным шлифованием. Указывается, что стоимость модернизации каждого станка с ЧПУ марки Sinumerik 802D составила 35 000 долл.

MAN (Modern Application News). 2006. V. 40. Nr. 8

Станок для лазерной резки, с. 50, ил. 1.

Описан станок для лазерной резки с летучей оптикой мод. TC L 2510 фирмы Trumpf Inc. Станок, предназначенный для скоростной автоматизированной резки конструкционной и коррозионно-стойкой стали, алюминия и титана с использованием сжатого воздуха как вспомогательного газа, имеет встроенное устройство загрузки-разгрузки. Отмечается отделка кромок с малым окислением с получением оптимальных результатов при резании углеродистой стали толщиной до 1,27 мм.

Горизонтальный обрабатывающий центр, с. 53, ил. 1.

Описан обрабатывающий центр марки Tohnford HMC-500H фирмы Absolute MachineTools Inc. Отмечается удвоенная коробчатая конструкция "box-in-box" станка. Для повышения производительности и жесткости при повышенных скоростях подач и ускорениях применены роликовые направляющие качения по всем осям и шариковые винты с увеличенным предварительным нагружением. Станок имеет шпиндель диаметром 90 мм мощностью 26 кВт и устройство автоматической смены инструмента на 60 мест при времени смены 3,5 с. Крутящий момент составляет 354 Н · м, верхний предел частоты вращения 500 мин$^{-1}$, координатные перемещения по осям X, Y, Z составляют соответственно 762, 660 и 660 мм.

Горизонтальный обрабатывающий центр, с. 58, ил. 1.

Описан горизонтальный обрабатывающий центр мод. nbh 5+ фирмы Hüller Hille с рабочей зоной 890 × × 900 × 900 мм, грузоподъемностью паллет 800 кг, верхним пределом частоты вращения шпинделя 15 000 мин$^{-1}$, мощностью главного привода 18 кВт, скоростью быстрых перемещений по всем линейным осям 50 м/мин и с ускорением 6 м/с^2. Отмечается сохранение стабильного режима работы при длительных циклах.

Шлифовальный станок для режущих пластин, с. 65, ил. 1.

Описан компактный пятикоординатный шлифовальный станок с ЧПУ мод. WAC 735 Centro фирмы Wendt Diacraft для шлифования геометрически сложных инструментальных пластин диаметром до 400 мм. Станок оснащен гидростатическими подшипниками для подвески шлифовального шпинделя и системой автоматического измерения пластин марки Kompensa 3D.

Шлифовальный станок, с. 67, ил. 1.

Описан бесцентрово-шлифовальный станок с ЧПУ мод. 255 CL фирмы Agathon Machine Tools, Inc., предназначенный для высокоточной обработки деталей диа-

метром 0,5 ÷ 15 и длиной до 125 мм. Станок имеет стабильную сварную конструкцию станины, наполненную бетоном марки Hyropol для увеличения жесткости. Отмечается возможность использования круга шириной 127 мм для врезного шлифования и шириной 90 мм для обработки конусов.

Хонинговальный станок, с. 73, ил. 1.

Описан хонинговальный станок мод. KGM-5000 Krossgrinding, предназначенный для высокоточной обработки деталей хирургических инструментов, при этом прямолинейность и круглость обеспечиваются с допуском до 0,00025 мм. Отмечается исключение сильного нагрева при хонинговании, что повышает размерную точность и устраняет металлургические деформации деталей из различных материалов вплоть до высокопрочных и редких.

Manufacturing Engineering. 2006. 136. Nr. 6

Вертикальные токарные центры, с. 15, ил. 1.

Описаны вертикальные токарные центры мод. VTC2000 фирмы Giddings & Lewis (США) для широкого использования (от предприятий аэрокосмической промышленности до производства ветровых энергоустановок). Среди конструктивных особенностей выделяются: полное рабочее перемещение по оси *X*, точная шкала выравнивания траверсы и жесткая поперечина.

Использование измерительного программного обеспечения, с. 32, 33, ил. 1.

Применение на переносной координатно-измерительной машине PowerGage программного пакета PowerInspect фирмы Delcam pic (Великобритания) позволяет импортировать данные во всех основных форматах САПР, используемых в промышленности. Контроль поверхностей деталей осуществляется путем сравнения полученных отсчетов с исходными файлами САПР, причем на экране визуализируются инструкции оператору в виде графических изображений.

Aronson R. Моделирование процесса шлифования, с. 69, 70, 72—74, 76, 77, ил. 3.

Сообщается о создании математической модели для оценки параметров, характеризующих эффективность процессов резания. Для этого был создан адаптивный контроллер для прецизионной системы шлифования, учитывающий все параметры процесса в реальном времени. Модель проверена на трехосевой системе шлифования. Разработаны алгоритмы регулирования, позволяющие выдерживать предельную силу резания и, следовательно, поддерживать требуемую производительность. Приведены подробные технологические данные практических испытаний модели. Проанализировано также значение СОЖ в процессе обработки.

Пятикоординатные обрабатывающие центры фирмы Hermle, с. 99, ил. 2.

Описаны обрабатывающие центры новой серии C фирмы Hermle Machine Company, специально сконструированные для пятикоординатной обработки деталей. Станок имеет литую станину из синтеграна большой виброустойчивости, на которой установлен комбинированный наклонно-поворотный стол, обслуживаемый трехкоординатной инструментальной головкой, обеспечивающей высокие точность и стабильность обработки сложных деталей. Отмечается широкий типоразмерный ряд станков, что позволяет обрабатывать детали медицинской, авиастроительной, автомобильной и других отраслей промышленности.

Станок для обработки деталей медицинских изделий, с. 99, ил. 1.

Фирма Sodick Inc. (США) выпускает электроэрозионный станок AQ300 LEDMedical Device Center, который поставляется "под ключ" для обработки медицинских инструментов и имплантатов. Заправка проволоки осуществляется автоматически. Перемещения по осям *X*, *Y* и *Z* составляют соответственно 205, 203 и 203 мм. В приводах подач используются линейные двигатели и стеклянные линейки для передачи сигналов обратной связи.

Станки для водоструйной резки, с. 100, ил. 1.

Фирма MC Machinery Systems Inc. (США) выпускает три модели станков: двухкоординатную мод. Classica, четырехкоординатную мод. Suprema с наклоняемой головкой и пятикоординатную мод. Evolution. Последние две имеют интеллектуальную систему ПО Tapering Control, которая автоматически корректирует наклон прорези. Станки поставляются с одной или двумя головками, со столом из коррозионно-стойкой стали и насосом мощностью 44,7 кВт.

Координатно-шлифовальный станок с ЧПУ, с. 104, ил. 1.

Описан станок H-500 CPWZ фирмы Moore Tool Co. Inc. (США), оснащенный четырехкоординатной системой ЧПУ типа CNC. Круглость выдерживается с точностью 0,00025 мм, линейная точность 0,0012 мм. Станок предназначен для изготовления форм, штампов и миниатюрных изделий оптоэлектронной техники. Обрабатываются отверстия диаметром до 127 мм при частотах вращения шпинделя до 175 000 мин$^{-1}$.

Maschine und Werkzeug. 2006. V. 107. Nr. 6

Высокоскоростное фрезерование микроинструментами, с. 40—42, ил. 6.

Описывается опыт фирмы Hitachi Tool Engineering Europe по применению высокоскоростного фрезерования фрезами диаметром 0,03 мм из материалов твердостью 60 *HRC* вместо дорогостоящей электроэрозионной обработки. Специалистам фирмы удалось выполнить фрезерование инструментами диаметром 0,025 мм на длине резания 30 мм. Рассматриваются проблемы, связанные не только с работой таких мелких инструментов, но и с их изготовлением.

Устройство для контроля инструментов, с. 57, ил. 2.

Фирма EZset демонстрировала на международной выставке METAV две новые модели устройства для контроля режущих инструментов. Устройство EZset400 предназначено для контроля инструментов диаметром и длиной до 400 мм, а устройство EZset600 — для контроля инструментов диаметром 400 и длиной 600 мм. Названные устройства имеют систему программного управления "ImageController" и дисплей, на котором

изображаются контролируемые поверхности инструмента.

Экономичное изготовление высокоточных деталей сложной геометрии, с. 74, 75, ил. 4.

Описаны центры мод. TNC и TNX фирмы TRAUB Drehmaschinen GmbH & Co KG. Для достижения поставленных задач центр мод. TNC имеет систему управления TX8i TRAUB, одинаковую конструкцию основного и противошпинделей, высокие жесткость и усилие подачи, две револьверные головки на 10 или 14 приводных инструментов, возможность работы в ночное время по безлюдной технологии. Центр серии TNX имеет четыре головки на 10 инструментов, четыре независимых оси *Y*, систему видеоконтроля инструмента при работе, возможность пространственного моделирования работы в реальном времени.

Австрийские станки конкурируют с азиатскими, с. 116, 117, ил. 1.

Анализируется успех фирмы Emco Maier GmbH, входящей в группу Emco Gruppe (Австрия). Конкурентоспособность фирмы базируется на стремлении поставлять на рынок станки с традиционным немецким качеством, но по ценам, сопоставимым с ценами на станки азиатских и восточно-европейских производителей. Так, на выставке METAV 2006 был показан токарный станок мод. E 45, обладающий этими свойствами. Еще одно слагаемое успеха — высокомотивированные квалифицированные сотрудники, работающие на общую цель.

Новые режущие инструменты, с. 126, 127, ил. 2.

Описаны новые инструменты фирмы Lach Diamanl со стальным корпусом и пластинами из поликристаллических алмазов со стружкоформирующими элементами, обеспечивающими эффективное дробление стружки, что особенно важно при обработке вязких алюминиевых сплавов. Для фрезерования алюминиевых деталей фирма предлагает фрезы Monoblock-Diamant, обеспечивающие обработку со скоростью резания до 7500 м/мин и подачей до 60 м/мин.

"**Старый** конь борозды не портит", с. 174 — 179.

Сохранение конкурентоспособности германского станкостроения на мировом рынке ввиду ухода из отрасли высококвалифицированных старых работников, которые из-за сложившейся ситуации не смогли передать накопленный опыт следующему поколению, под угрозой. В качестве выхода из положения предлагается, в частности, создание на каждом предприятии специального банка данных, в котором собирался бы этот опыт.

Г. С. ПОТАПОВА

По вопросам получения и перевода материалов из зарубежных журналов обращаться к Г. С. Потаповой по тел./факсу: (495) 611 21 37, e-mail: stankoinform@mail.ru, веб-сайт: www.stankoinform.ru

Крупнейшая в мире мобильная выставка самых современных технологий автоматизации Siemens Exiderdome

Ведущий поставщик продукции, услуг и комплексных решений для модернизации ключевых отраслей промышленности — департамент "Техника автоматизации и приводы" (Automation and Drives) концерна "Сименс" представила грандиозную выставку самых современных технологий автоматизации — Siemens Exiderdome.

На торжественном открытии выставки присутствовали заместитель руководителя Департамента науки и промышленной политики Правительства Москвы Андрей Ушаков, полномочный министр, директор Департамента экономики и науки Посольства Германии в России Эккечард Брозе, президент "Сименс" в России доктор Дитрих Мёллер, генеральный директор департамента "Техника автоматизации и приводы" Андреас Калиш, а также топ-менеджеры компании "Сименс" и департамента "Техника автоматизации и приводы".

Крупнейшая в мире передвижная выставка технологий автоматизации проходила с 13 по 29 июня 2007 г. на территории ЦВК "Экспоцентр". На выставке были представлены самые последние достижения департамента "Техника автоматизации и приводы" концерна "Сименс" в области автоматизации производства и технологических процессов. Выставка Exiderdome в России стала беспрецедентным проектом в мире индустриальных технологий, а инновационные продукты и решения, представленные концерном "Сименс", непременно будут востребованы российскими компаниями.

Конструкция из 50 контейнеров была расположена на территории более 1000 м^2, что можно приравнять к площади половины футбольного поля. На двух этажах разместились восемь выставочных залов, зал для демонстрации мультимедийного шоу, помещения для семинаров, встреч и переговоров. В выставочных залах было представлено более 137 000 продуктов, разработанных за последние несколько лет концерном "Сименс" для различных отраслей экономики. Масштаб сооружения можно представить на простом примере: если грузовики с выставочным оборудованием выстроить в одну линию, ее длина составит километр. Exiderdome имеет высокотехнологичную структуру, включающую более 60 демонстрационных компьютеров, 150 плазменных экранов, 5 HD-проекторов, 6 беспроводных точек доступа LAN, более 22 километров информационных и силовых кабелей и масса другого оборудования. Жизнедеятельность этого технологического чуда обеспечивается собственной системой вентиляции и кондиционирования воздуха.

Посетители Siemens Exiderdome могли видеть потрясающее мультимедийное шоу — настоящее произведение технологического искусства: на 34-метровом экране все новейшие разработки и достижения концерна "Сименс". Для передачи мультимедийного изображения на огромный экран со скоростью 625 Мбайт/с задействованы 150 специальных призм. Это равносильно тому, что за одну секунду можно пролистать 25 000 страниц. Цепочка таких страниц, выложенных одна за другой, протянулась бы на 7,3 км. Звук, графика и спецэффекты представляют посетителям выставки образ автоматизированного будущего, которое создает "Сименс".

Инновационные концепции Totally Integrated Automation (TIA) и Totally Integrated Power (TIP), созданные "Сименс", являются уникальными в индустрии автоматизации и комплексно представлены на выставке. Центральное место отводилось презентациям решений для различных отраслей промышленности, в том числе для автомобилестроения, производства пищевых продуктов и напитков, химической и нефтехимической промышленности. На выставке также были представлены решения для металлургической, газовой/нефтегазовой, аэрокосмической, целлюлозно-бумажной и стекольной индустрий.

На открытии выставки президент "Сименс" в России, Вице-президент "Сименс АГ" доктор Дитрих Мёллер сказал: "За более чем полтора века работы в России "Сименс" и его дочерние компании участвовали во множестве специализированных выставок: "Связь-Экспокомм", "Электрические сети России", "Нефтегаз", "Литмаш", "Здравоохранение" и другие. Но персональная выставка "Сименс" в собственном мобильном павильоне проходит впервые. Главный организатор выставки — наш промышленный департамент "Техника автоматизации и приводы". Выставка Exiderdome имеет успех мирового уровня. Перед премьерой в Москве уникальная выставка прошла уже в 10 крупнейших городах мира и везде встречала большой интерес со стороны деловых кругов и широкой общественности. Убежден, что и в России это мероприятие послужит повышению авторитета "Сименс" и еще большей востребованности его новейших решений в области промышленной автоматизации и приводной техники среди наших клиентов".

Андреас Калиш, Генеральный директор департамента "Техника автоматизации и приводы" и Вице-президент ООО "Сименс" добавил: "Инновационный выставочный проект Exiderdome в своем роде единственный в мире. Стоимость вложений в Exiderdome России составила 1 миллион евро, но мы знаем, что инвестиции в этот проект окупаются беспрецедентным интересом со стороны потребителей тех стран, где он уже побывал и только еще состоится".

По мнению Андрея Ушакова, заместителя руководителя Департамента науки и промышленной политики Правительства Москвы, "открытие экспозиции Siemens Exiderdome в Москве знаменательно и для России, и для Германии. Правительство Москвы и "Сименс" год назад заключили рамочный договор о сотрудничестве, в рамках которого идет работа над совместными проектами в различных отраслях промышленности, в сфере высоких технологий, телекоммуникаций, транспорта и т. д. Уверен, что наглядная демонстрация инновационных технологий "Сименс" на выставке Exiderdome несомненно будет способствовать вхождению этих технологий в нашу каждодневную жизнь".

Во время двухнедельной работы выставки состоялись открытые дни для всех желающих и специальные дни, посвященные различным отраслям промышленности, в которых применяли участие руководители и ведущие специалисты немецкого концерна, представители российских министерств и ведомств, отраслевых компаний, а также бизнесмены и политики.

Дополнительную информацию о выставочном комплексе Siemens Exiderdome можно получить на сайте: http:/www.exiderdome.ru/.

ОАО "Промтрактор" внедряет "Систему управления "ПАРУС""

В ОАО "Промтрактор" реализован первый этап внедрения "Системы управления "ПАРУС"", в результате оптимизирован процесс управления финансовыми и материальными потоками компании. На сегодняшний день в системе работают более 500 пользователей.

Выбор системы для ИТ-проекта осуществлялся в форме заочного тендера среди программных продуктов Axapta, "ПАРУС", One World, SAP R/3, а также решений компании Baan и корпорации "Галактика". Оптимальное соотношение функциональных возможностей программного обеспечения (в том числе его достаточная масштабируемость) и стоимости лицензий стали главными агрументами в пользу выбора "Системы управления "ПАРУС"".

В ходе первого этапа были внедрены модули системы: "Управление финансами", "Управление закупками, складом и реализацией", "Бухгалтерский учет". В результате достигнуты высокая оперативность и достоверность финансово-хозяйственной информации, возможность анализа бизнес-показателей компании. Руководители могут самостоятельно в любой момент времени получать объективную информацию, что позволяет быстро и эффективно решать управленческие задачи. Необходимыми данными своевременно обеспечиваются финансово-экономические службы ОАО "Промтрактор", а также отделы, работа которых связана с закупками и реализацией материальных средств: служба продаж; служба финансового директора; служба снабжения; главная бухгалтерия и бухгалтерии заводов "Промтрактора"; управление экономики; управление главного механика; управление инструментального хозяйства и другие службы.

Информация, которая формируется в системе, позволяет финансовым службам управлять оборотными активами, контролировать договорные отношения, осуществлять финансовое планирование и оперативно управлять дебиторско-кредиторской задолженностью. Бюджет движения денежных средств создается в режиме реального времени. Службам, закупающим товарно-материальные ценности (ТМЦ), автоматизация позволяет сегментировать рынок поставщиков по номенклатуре и принимать своевременные и оптимальные решения по планированию закупочной деятельности. Экономическая служба ведет оперативный учет деятельности центров финансовой ответственности и статей затрат, что позволяет формировать бюджеты подразделений.

Автоматизация ОАО "Промтрактор", как подчеркивают специалисты компании, дает возможность непрерывно оптимизировать материальные и финансовые потоки: сокращать складские запасы, увеличивать оборачиваемость денежных средств, совершенствовать номенклатуру закупаемых материалов и комплектующих и т. п. Благодаря автоматизации совершенствуются и сами деловые процессы компании (регламентируются, сокращаются и перераспределяются функции подразделений). Руководитель всегда может проверить выполнение регламентированных действий.

В соответствии с принятой в ОАО "Промтрактор" ИТ-концепцией, до конца 2007 г. планируется внедрить еще около 8 модулей "Системы управления "ПАРУС"". В ходе внедрения используется также модуль Дизайнер пользовательских интерфейсов, который позволяет быстро создавать любые интерфейсы, расширять и адаптировать их под конкретные задачи. Автоматизация осуществляется силами Центра информационных технологий ОАО "Промтрактор". ИТ-проект реализуется при поддержке генерального директора компании Семена Млодика. Руководителем проекта является заместитель генерального директора по финансовой работе Максим Лавров.

Информация о компаниях:

ОАО "Промтрактор" — один из крупнейших мировых производителей тракторной техники. Предприятие имеет практически 30-летний опыт проектирования и производства тракторной техники и запасных частей к ней. Компания производит технику для предприятий нефтегазовой, энергетической, золотодобывающей, лесопромышленной, угольной и горнодобывающей отраслей, сферы коммунального хозяйства, дорожного строительства и др. Тракторную технику обслуживают 36 региональных филиалов в России и СНГ. Среди клиентов предприятия — ОАО "Газпром", АК "АЛРОСА", ОАО "НК "Лукойл", "ТНК-ВР", ОАО РЖД, РАО ЕЭС России, "СУЭК", Роснефть, ОАО "Карельский окатыш", ОАО "Сургутнефтегаз". Продукция компании эксплуатируется в 23 странах мира.

"Корпорация ПАРУС" создана в 1990 г. За 15 лет компания стала крупнейшим российским поставщиком систем управления для крупных предприятий, государственных учреждений, муниципальных образований, малого и среднего бизнеса. За 2005 г. оборот компании составил 39 млн долл. Корпорация имеет свои региональные отделения в 40 крупнейших городах России и странах СНГ. Дилерская сеть насчитывает около 240 компаний. Число постоянных клиентов превышает 30 тыс. Центр корпоративных решений "ПАРУС" занимается внедрением и сопровождением ИТ-решений для автоматизации управления крупными предприятиями. Компания имеет большой опыт реализации проектов по построению систем управления предприятиями нефтегазовой и энергетической отраслей, машиностроения, предприятиями оптовой и оптово-розничной торговли. В числе клиентов — ОАО "Кольская АЭС", ОАО "Татэнерго", ОАО "Пензаэнерго", ОАО "МОЭК", ОАО "Новочеркасская ГРЭС", ОАО "Сургутнефтегаз", ОАО "Сибур-Русские шины", ОАО "Евроцемент", ОАО "ОКБ Сухого" и др.

Вниманию специалистов!

В издательстве **"Машиностроение"** вышла книга **"Шлифование высокопористыми кругами"**. Автор — известный специалист в области абразивной обработки, проф., д-р техн. наук **В. К. Старков.**

Книга рассказывает о достижениях в создании и применении высокопористых кругов на основе кубического нитрида бора, алмаза, микрокристаллического корунда и традиционных абразивных материалов, а также содержит рекомендации по назначению характеристик кругов с учетом их структур, режимов маятникового и глубинного шлифования деталей различного типа из сталей и сплавов и предотвращению шлифовочных прижогов и трещин.

Результаты исследований и примеры практической реализации шлифования зубчатых колес, фасонного инструмента, замков лопаток, обработки со скоростями до 100 м/с, в том числе без охлаждения и др.

Дано сопоставление по характеристикам и работоспособности шлифовальных кругов отечественного производства и ведущих зарубежных фирм, рецептурные составы, технология изготовления и их влияние на эксплуатационные свойства высокопористого абразивного инструмента.

Книга написана по результатам совместных исследований с ведущими европейскими университетами и фирмами по производству инструмента. Содержит много примеров эффективного внедрения высокопористых шлифовальных кругов на промышленных предприятиях.

Книга будет полезна:

производственникам, чтобы повысить производительность и качество процессов шлифования, в том числе на проблемных операциях с повышенным риском появления прижогов и трещин; при освоении новых высокопроизводительных технологий шлифования взамен методов лезвийной обработки;

научным и инженерно-техническим работникам, преподавателям, аспирантам и студентам, чтобы получить современные представления о процессах шлифования, строении абразивного инструмента, в том числе высокопористого, и технологии его изготовления и применения.

Объем книги 688 стр., стоимость 550 руб. (с НДС).

Книгу можно заказать
По почте: 107076, Москва, Стромынский пер., дом 4
По факсу: (495) 269-48-97
По e-mail: realiz@mashin.ru

Телефоны отдела реализации и подписки: (495) 269-66-00, 269-52-98.

Вниманию читателей!

Редакция журнала "Вестник машиностроения" начинает с 2008 г. публикацию серии статей, посвященных современному состоянию теории и практики резания материалов. Особое внимание предполагается уделить следующим направлениям:

особенности и опыт управления обработкой резанием на многооперационных станках и автоматизированных станочных комплексах;

теория, методы и средства диагностики процессов резания;

достижения в области повышения работоспособности инструментальных материалов и режущего инструмента;

современные тенденции совершенствования абразивного инструмента и процессов абразивной обработки.

Редакция готова рассмотреть предложения и по другим актуальным направлениям теории и практики резания материалов.