

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

МАШИНОСТРОЕНИЕ
РЕСПУБЛИКАНСКИЙ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ
СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Выпуск 24

В двух томах

Том 2

5/

Минск 2009

621.7

УДК 621.002 (082)

ББК 34.4

М 38

Сборник основан в 1976 году

Редакционная коллегия:

Б. М. Хрусталеv (председатель), Ф.И. Пантелеенко (зам. председателя),
Ф. А. Романюк (зам. председателя), П. П. Анципович,
И. М. Бабук, И. Л. Баршай, А. И. Бачанцев (отв. секретарь),
Г. Я. Беляев, Ю. В. Василевич, В. А. Данилов, О. Г. Девойно,
Э. М. Дечко, С. А. Иващенко, М. М. Кане, В. М. Колешко,
А. И. Кочергин, М. И. Михайлов, Ж. А. Мрочек, В. И. Похабов,
А. Ф. Присевок, В. А. Сидоренко, А. Т. Скойбеда,
В. Л. Соломахо, Н. В. Спиридонов, В. И. Туромша,
А. В. Чигарев, В. К. Шелег, А. М. Якимович

Под общей редакцией Б. М. Хрусталева

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Н. Н. Попок,
доктор технических наук, профессор В. С. Ивашко

В сборнике представлены результаты исследований различных процессов механической обработки деталей и технологии их изготовления. Изложены новые принципы проектирования инструментов для обработки материалов, металлорежущих станков и другого технологического оборудования. Приведены результаты работ по электрофизическим и электрохимическим способам обработки. Представлены некоторые направления развития механики структур и материалов. Рассмотрены проблемы динамики и прочности машин. Изложены актуальные вопросы экономики и организации машиностроительного производства, инженерной педагогики и психологии.

ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ МАШИН	7
<i>Баханович А.Г.</i> КОНСТРУКТОРСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЗУБЧАТО-РЕМЕННЫХ ПЕРЕДАЧ.....	7
<i>Воротынский С.Н.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ВИДАХ ИЗНОСА И ПРИЧИНАХ ИЗНОСА ПРИ ТРЕНИИ В ДЕТАЛЯХ МАШИН.....	11
<i>Авсиевич А.М., Булгак Т.И., Николаев В.А., Реут Л.Е., Адаменко Д.В.</i> ОСОБЕННОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ ПАР РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ В МАШИННОМ АГРЕГАТЕ.....	13
<i>Николаев В.А., Моисеев А.О.</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИВОДА МАШИННОГО АГРЕГАТА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ	17
<i>Лихтарович Е.С., Присевок А.Ф.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДВС....	19
<i>Дулевич А. Ф., Киселев С. В.</i> ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УСТАНОВКИ ДЛЯ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ.....	21
<i>Симанович В. А. , Пищов М. Н. , Бельский С. Е.</i> МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РЕСУРСА РАБОТЫ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	25
<i>Дулевич А.Ф., Осоко С.А.</i> РОЛЬ КУРСОВОГО ПРОЕКТА В РАЗВИТИИ КОММУНИКАТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ	29
<i>Гарах В.А., Астахов Э.И.</i> АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ПОДШИПНИКОВ УРАВНОВЕШЕННОГО РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА СТЕНДА	31
<i>Астахов Э.И., Гарах В.А., Макаров А.Д.</i> ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ ПОРШНЯ ГИДРОПРИВОДА НОЖНИЧНОГО ПОДЪЕМНИКА	34
<i>Бондаренко А.Г., Шпилевский В.И., Ефимцев В.С.</i> ШИННО-ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ МУФТА	37
<i>Бондаренко А.Г., Шпилевский В.И.</i> ЖЕСТКОСТЬ ЗУБЬЕВ РЕМНЕЙ	39
<i>Миронов Д.Н.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕГРАДАЦИИ ЭФФЕКТИВНЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И КОНСТРУКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ТЕРМОСИЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ	41
ПРОЦЕССЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ	54
<i>Дечко Э.М., Воронович А.В., Шмачков В.В.</i> УСЛОВИЯ СТРУЖКОТВОДА ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ	54
<i>Сидоренко В.А., Бачанцев А.И.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РОТАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ ПРИ ЕГО МОДЕЛИРОВАНИИ	57
<i>Лебедев В.Я., Сидоренко В.А., Бачанцев А.И.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РОТАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ.....	60
<i>Дечко Э.М., Гутфрайнд О.А., Денисович М.И.</i> ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ.....	63

<i>Шагун В. И., Чарторийский А. В.</i> ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ МЕТЧИКОВ НА ОТКЛОНЕНИЯ ШАГА РЕЗЬБЫ В СТАЛИ.....	68
<i>Шагун В.И.</i> ВОСПИТАНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНЖЕНЕРОВ-ТЕХНОЛОГОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ИНЖЕНЕРОВ-ИНСТРУМЕНТАЛЬЩИКОВ	74
<i>Довнар С.С.</i> НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ В ЗОНЕ НАРОСТООБРАЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛА	77
<i>Мищенко С.Н., Туромша В.И.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА И СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ СЛОЖНЫХ КОНТУРОВ С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ РЕЗАНИЯ	81
<i>Фельдштейн Е.Э.</i> ПАРАМЕТРЫ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ СТАЛИ R35 ТОКАРНЫМИ ПЛАСТИНАМИ С ПОКРЫТИЯМИ	87
<i>Фельдштейн Е.Э.</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОТЯЖЕК ДЛЯ ОБРАБОТКИ УЗКИХ ФАСОННЫХ ПАЗОВ	89
<i>Фельдштейн Е.Э.</i> СВЕРЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ В ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ Ti6Al4V-ELI СВЕРЛАМИ С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ	92
<i>Мрочек Ж.А., Шадуя В.Л., Кожуро Л.М., Кожуро С.Л.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ АЛМАЗНЫМ КРУГОМ С ОРИЕНТИРОВАННЫМИ РЕЖУЩИМИ ЗЕРНАМИ	95
<i>Ивашин Э.Я., Ивашин В.Э.</i> ОСОБЕННОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ЭКСЦЕНТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ.....	98
<i>Раповец В.В., Бурносов Н.В.</i> РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ДВУХЛЕЗВИЙНЫХ РЕЗЦОВ ДЛЯ ФРЕЗЕРНО-БРУСУЮЩИХ СТАНКОВ	100
<i>Шматов А. А., Девойно О.Г.</i> КОМБИНИРОВАННОЕ УПРОЧНЕНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ.....	103
<i>Дечко Э.М., Колесников Л.А., Брилевский В.В.</i> ДЕПЛАНАЦИЯ ШНЕКОВЫХ СВЕРЛ	108
<i>Бачанцев А.И., Туромша В.И.</i> СТРУЖКООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ТОЧЕНИИ С УВЕЛИЧЕННЫМИ ПОДАЧАМИ	111
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ И СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ	114
<i>Колешко В. М. , Хмурович Н. В., Воробей Е. А., Польшкова Е. В.</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ БИОСЕНСОРНАЯ СИСТЕМА С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ КРОВИ. ЧАСТЬ 1	114
<i>Колешко В. М. , Хмурович Н. В., Воробей Е. А., Польшкова Е. В.</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ БИОСЕНСОРНАЯ СИСТЕМА С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ КРОВИ. ЧАСТЬ 2.	119
<i>Чигарев В.А., Чигарева Ю.А.</i> РАЗВИТИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ И МЕТОДОВ ИХ ПРОГРАММИРОВАНИЯ.....	123
<i>Колешко В.М., Шиманович Е.А.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЯЗЫКА ТЕКСТА В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ	126

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ	129
<i>Бабук И.М., Гребенников И.Р.</i> ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА	129
<i>Гребенников И.Р.</i> ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ БИЗНЕС-ПЛАНА ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА...	131
<i>Бутковская В.П., Лавренова О.А.</i> ВЕБ-САЙТ И ОСОБЕННОСТИ ЕГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА	134
<i>Миланович Д.Ю., Лавренова О.А.</i> АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ИНТЕРНЕТ-ТРЕЙДИНГА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА БРОКЕРА	138
<i>Шумак Е.С., Лавренова О.А.</i> ОСОБЕННОСТИ ТОРГОВЫХ ПЛОЩАДОК И УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ РАБОТЫ	142
<i>Плясунков А.В., Криволапова В.В.</i> СУЩНОСТЬ ПОНЯТИЯ “КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ”	146
<i>Торская И.В.</i> ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОЙ СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ УСИЛЕНИЕ КОНКУРЕНТНОЙ ПОЗИЦИИ	149
<i>Повжик М.И., Торская И.В.</i> РОЛЬ БРЕНДИНГА В РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ	153
<i>Попова Н.Д.</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАТРИЦЫ МАРКЕТИНГОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	158
<i>Бурейко Е.В., Торская И.В.</i> КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	160
<i>Торская И.В., Хованская Н.М.</i> ОЦЕНКА ЭКСПОРТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	165
<i>Плясунков А.В., Комина Н.В.</i> БЮДЖЕТИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ФИНАНСОВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ	169
<i>Плясунков А.В.</i> ОСОБЕННОСТИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ	172
<i>Королько А.А., Петрукович И.Г., Филатенко О.В.</i> МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОБНОВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	176
<i>Гринцевич О.П., Королько А.А.</i> ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	179
<i>Гринцевич О.П., Королько А.А.</i> МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ НАУЧНОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ	181
<i>Костюкевич Е.Н.</i> ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ НА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ	184
<i>Лавренова О.А., Бачанцева Е.А.</i> НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ НА РЫНКЕ РЕКЛАМЫ	187
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРДОВАНИЕ, СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ	192

<i>Дьяков И.И., Белицкий А.В., Белицкая А.И.</i> СТАНОК ДЛЯ ДВУХСТОРОННЕГО ОРЕБРЕНИЯ ПЛОСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛООБМЕННИКОВ С НЕПРЕРЫВНОЙ ПОДАЧЕЙ	192
<i>Данилов В.А., Киселев Р.А.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМЫХ СХЕМ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ	194
<i>Данилов В.А., Чепурной А.А.</i> СИНТЕЗ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СТАНКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КРУГОВЫХ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	198
<i>Чечетко А.А., Туромша В.И.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМОВ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ	202
<i>Балицкий В.А.</i> ЗЕМЛЕРОЙНО-МЕЛИОРАТИВНАЯ МАШИНА С ИНЕРЦИОННО-ИМПУЛЬСИВНЫМ ПРИВОДОМ	207
<i>Николаенко В.Л., Николаев В.А.</i> РАСЧЕТ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ	210
<i>Туромша В.И., Чечетко А.А.</i> КОНСТРУИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ ТИПА «ДЕЛЬТА»	214
НАНОМАТЕРИАЛЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОНОСИТЕЛИ	220
<i>Колешко В. М. , Гулай А. В. , Гулай В. А.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕГАТРОННЫХ СЕНСОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ТУННЕЛЬНЫХ МДМ-НАНОСТРУКТУР	220
<i>Колешко В. М., Гулай А. В., Гулай В. А., Польшкова Е. В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНВАРИАНТНЫХ МИКРО-НАНОТЕХНОЛОГИЙ СЕНСОРИКИ	223
<i>Чигарев А.В., Мальцев А.Г., Мальцев И.А.</i> ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОТРУБОК ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ	228
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И САПР.....	235
<i>Колесников Л.А.</i> ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ РАСЧЕТОВ В PRO/MECHANICA	235
ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ	239
<i>Кочергин А.И.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ МЕТОДОМ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ...	239
<i>Кочергин А.И.</i> ДИДАКТИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЕ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	240
<i>Романюк С.И., Романюк Г.Э.</i> ТЕСТОВЫЕ СРЕДЫ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ФАКУЛЬТЕТЕ БНТУ	242
<i>Капусціч Т.М.</i> ФАРМІРАВАННЕ МАЎЛЕНЧЫХ НАВЫКАЎ У ПРАЦЭСЕ НАВУЧАННЯ	245
<i>Анципорович П.П., Дворянчикова А.Б.</i> ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБУЧЕНИИ РАЗДЕЛУ «СТРУКТУРА МЕХАНИЗМОВ» КУРСА ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН	248
<i>Анципорович П.П., Акулич В.К., Дубовская Е.М.</i> ОСОБЕННОСТИ ИЗЛОЖЕНИЯ РАЗДЕЛА «СИНТЕЗ ЗУБЧАТЫХ ЗАЦЕПЛЕНИЙ» В КУРСЕ ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ, МАШИН И МАНИПУЛЯТОРОВ	250
РЕФЕРАТЫ.....	253

**КОНСТРУКТОРСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ
НАДЕЖНОСТИ ЗУБЧАТО-РЕМЕННЫХ ПЕРЕДАЧ**

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Технические характеристики зубчато-ременных передач зависят от показателей работоспособности приводных зубчатых ремней. Одним из основных мероприятий повышения несущей способности и эксплуатационного ресурса приводных зубчатых ремней является их армирование. Различают микро- и макроармирование.

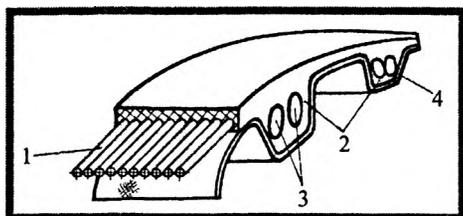


Рисунок 1 – Зубчатый ремень с армирующими вкладышами:
1 – несущий слой; 2 – зуб ремня;
3 – вкладыши; 4 – обкладка

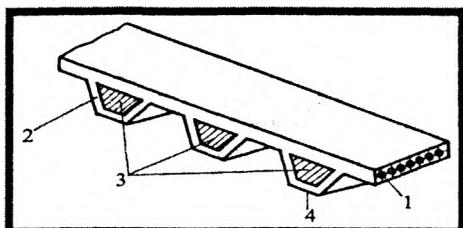


Рисунок 2 – Зубчатый ремень с профильными вкладышами:
1 – несущий слой; 2 – зуб ремня;
3 – вкладыши; 4 – обкладка

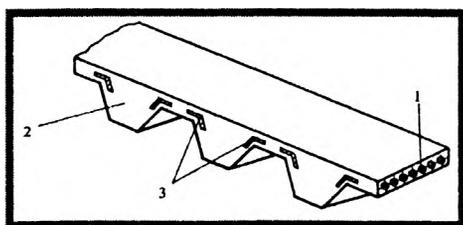


Рисунок 3 – Зубчатый ремень с вкладышами в местах наибольшей локализации напряжений:
1 – несущий слой; 2 – зуб

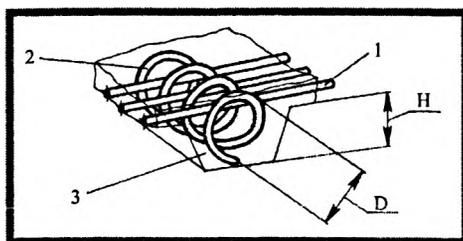


Рисунок 4 – Зубчатый ремень со спиральными цилиндрическими пружинами:
1 – несущий слой;
2 – пружина; 3 – зуб ремня

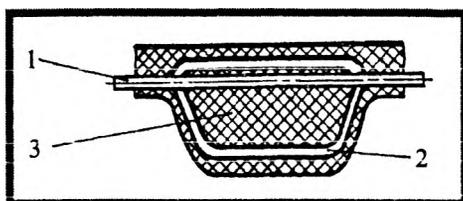


Рисунок 5 – Зубчатый ремень с поперечными профильными пружинами:
1 – несущий слой; 2 – пружина; 3 – зуб ремня

Микроармирование представляет собой замену части резинового или полиуретанового зуба

ремня полимерным композитом, содержащим отрезки стеклянных, вязкозных или металлических волокон, обработанных адгезионными составами.

Одним из способов макроармирования является оснащение рабочей поверхности зубьев ремня двойным слоем износостойкой обкладочной ткани [1], что позволяет увеличить передаваемое окружное усилие в 1,35 раза при долговечности 10^7 циклов или в 1,25 раза – при долговечности 10^8 циклов.

Разработаны конструкции зубчатых ремней с армирующими втулками, которые могут располагаться вдоль зубьев ремня [2] (рисунок 1), иметь форму, соответствующую профилю зубьев ремня [3] (рисунок 2), или размещаться в зонах концентрации напряжений [4] (рисунок 3).

Данные конструкции зубчатых ремней отличаются повышенными массой и изгибной жесткостью. Кроме того, при передаче мощности значительно возрастают сдвигающие напряжения в эластомере, расположенном между несущим слоем и арматурой. Частичное устранение этих недостатков достигнуто в конструкциях ремней с арматурой в виде спиральных пружин (рисунок 4) или проволоки, изогнутой по профилю зуба (рисунок 5) [5, 6].

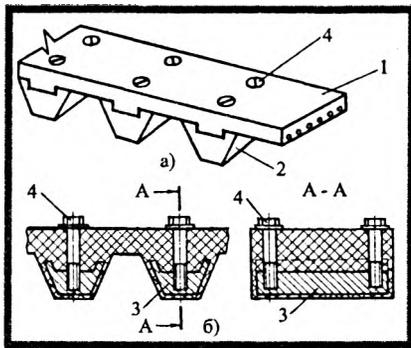


Рисунок 6 – Зубчатые ремни с механическим креплением несущих элементов:
а) с механическим креплением зубьев;
б) с механическим креплением арматуры;
1 – каркас ремня; 2 – зубья;
3 – армирующие элементы;
4 – крепежные детали

Разработаны конструкции зубчатых ремней с механическим креплением армирующих элементов к несущему слою [7] (рисунок 6,а) и с привинчиваемыми зубьями, выполненными из износостойкого материала [8] (рисунок 6,б). Несмотря на высокую долговечность, ремонтпригодность и др., данные ремни характеризуются невысокой технологичностью и значительной трудоёмкостью обслуживания.

Разработаны конструкции зубчатых ремней с несущим слоем в виде металлической ленты [9, 10] (рисунок 7). Данные ремни обладают высокой продольной жесткостью, а зубья имеют наивысшую по сравнению с рассмотренными выше конструкциями усталостную прочность [11]. Основным недостатком таких ремней является их повышенная изгибная жесткость, для снижения которой необходима сплошная перфорация ленты или повышенное натяжение ремня, что приводит к снижению его долговечности. Возможно также повышение виброактивности привода и снижение его КПД.

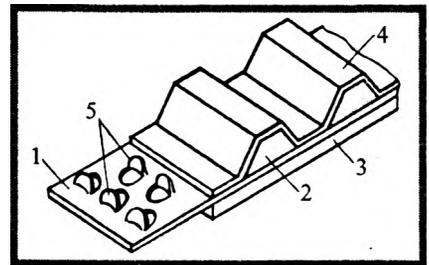


Рисунок 7 – Зубчатый ремень с несущим слоем в виде металлической ленты:
1 – лента; 2 – зуб;
3 – наполнитель;
4 – обкладочная ткань;
5 – лепестки

В НИИЛ ременных передач и систем приводов (БНТУ) разработаны конструкции приводных зубчатых ремней с втулочно-петлевым армированием зубьев (ВПА) и технология их изготовления [12]. Базовая конструкция представлена на рисунке 8.

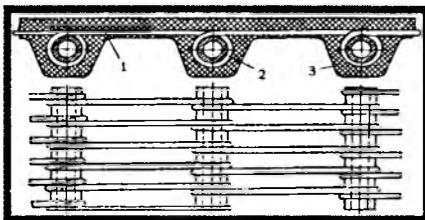


Рисунок 8 – Зубчатый ремень с втулочно-петлевым армированием зубьев:
1 – несущий слой; 2 – втулка;
3 – зуб ремня

Все петли несущего слоя 1 охватывают втулки 2, размещенные вдоль зубьев ремня 3, и имеют одно направление навивки [13], чем обеспечивается высокая технологичность сборки заготовок ремня. В данной конструкции зубчатого ремня окружное усилие передается от зубьев несущему слою без возникновения в массиве эластомера сдвигающих напряжений. При этом прочность зубьев определяется не механическими свойствами эластомера или прочностью его адгезии к несущему слою, а физико-механическими показателями последнего. Изготовлены опытно-промышленные зубчатые ремни с ВПА с шагом зубьев 50,8 мм (рисунок 9).

Ремни с ВПА с шагом зубьев 50,8 мм (рисунок 9).

На рисунках 10, 11 представлены результаты конечно-элементного компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния неармированных зубьев приводного зубчатого ремня полукруглого профиля, проведенного в среде ANSYS [14].

Ремень растягивают слева направо силой 8,0 кН. Несущий слой ремня считается нерастяжимым. Для определенности положения ремня вдоль несущего слоя запрещены вертикальные перемещения. Шкив считается неподвижным и абсолютно жестким. Коэффициент трения в контакте $f_{тр} = 0,5$. Материал ремня смоделирован по принципу Муни-Ривлина [15]. Модуль упругости полимера $E = 5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,5$.

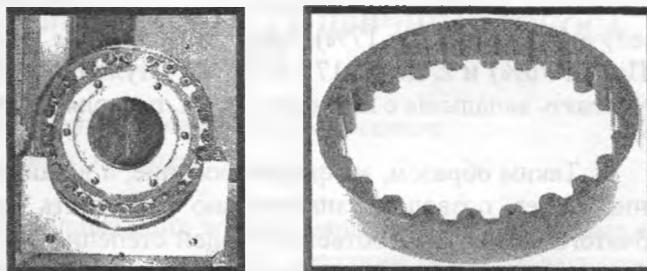


Рисунок 9 – Технологическая пресс-форма и внешний вид зубчатого ремня с ВПА

Результаты моделирования показывают, что максимальные значения растягивающего напряжения σ_1 и интенсивности деформации (деформации по Мизесу) ϵ_s , приводящие к образованию и развитию усталостной трещины, наблюдаются на радиусе перехода боковой поверхности зуба к поверхности межзубной впадины. При этом $\sigma_1 = 12,9$ МПа, $\epsilon_s = 2,042$ (по истинной шкале).

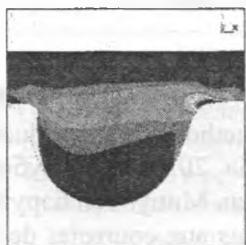


Рисунок 10 – Распределение напряжений

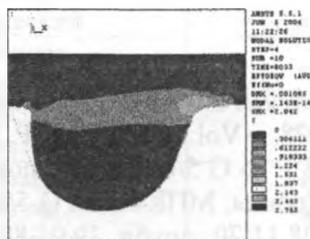


Рисунок 11 – Деформации по Мизесу

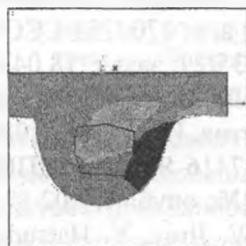


Рисунок 12 – Распределение напряжений

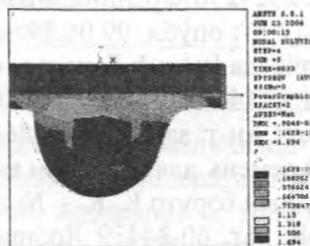


Рисунок 13 – Деформации по Мизесу

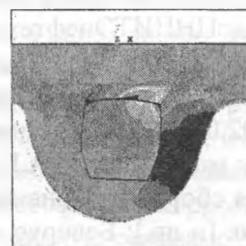


Рисунок 14 – Распределение напряжений

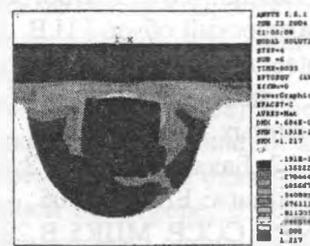


Рисунок 15 – Деформации по Мизесу

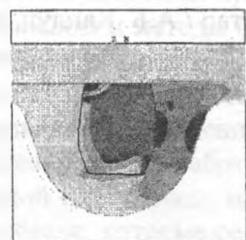


Рисунок 16 – Распределение напряжений

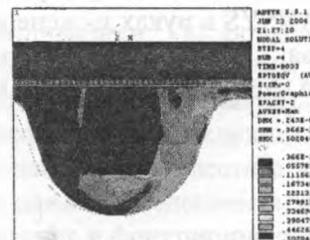


Рисунок 17 – Деформации по Мизесу

На рисунках 12-17 представлены результаты конечно-элементного компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния макроармированных зубьев приводного зубчатого ремня полукруглого профиля трех конструктивных исполнений: 1) макроармирование зуба одним пустотелым вкладышем $\varnothing 10$ мм, не имеющего механической связи с несущим слоем (рисунки 12, 13); 2) макроармирование зуба одним пустотелым вкладышем $\varnothing 12$ мм, также не имею-

шего механической связи с несущим слоем (рисунки 14, 15); 3) втулочно-петлевое армирование зуба одним пустотелым вкладышем $\varnothing 12$ мм (рисунки 16, 17).

Результаты исследований показывают, что макроармирование вкладышем $\varnothing 10$ мм позволяет снизить в опасном сечении σ_1 до 7,1 МПа (на 45% по сравнению с неармированной конструкцией) и ϵ_r до 1,694 (на 17%). Макроармирование вкладышем $\varnothing 12$ мм позволяет снизить σ_1 до 3,8 МПа (на 70%) и ϵ_r до 1,217 (на 40%). Втулочно-петлевое армирование, реализующее механическую связь вкладыша с несущим слоем, позволяет снизить σ_1 до 1,7 МПа (на 87%) и ϵ_r до 0,502 (на 75%).

Таким образом, макроармирование, а в наибольшей степени – втулочно-петлевое армирование зубьев, позволяют значительно уменьшить напряжения и деформации в опасном сечении зубчатого ремня, и в соответствующей степени повысить несущую способность и долговечность зубчато-ременной передачи. Высокий уровень несущей способности и долговечности армированных зубчатых ремней в сочетании с другими достоинствами зубчато-ременных передач (низкий уровень вибраций и шумоизлучения, низкая материалоемкость и масса ремня, отсутствие обслуживания и ремонта, высокая антикоррозионная стойкость и др.) позволяет им заменять цепные передачи в энергоемких приводах технологического оборудования. Компьютерное моделирование, результаты которого соответствуют теоретическим предпосылкам и промышленным испытаниям, позволило обеспечить качественно новый уровень проектирования зубчато-ременных передач с повышенными техническими характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cicognani, M. Zur Anvengung von Zahnriemen fur den Antrieb / M. Cicognani // *Motortech-nische Zeitschrift*. – 1978. – Vol. 39, № 12. – P. 551-556.
2. Cog-belt and method for its production: пат. 3772929 США, МПК3 F 16 G 5/00 / J. Redmond. – заявл. 14.10.71; опубл. 20.11.73.
3. Зубчатый ремень: пат. 63-24179 Япония, МПК4 F 16 G 5/06, B 29 D 29/10 / заявитель Мицубоси бэруто К. К. – № 54-154676; заявл. 28.11.79; опубл. 19.05.88. – 5 с.
4. Perfectionnements aux courroies de transmis-sion de puissance: пат. 2624238 Франция, МПК3 F 16 G 5/10 / J. Simon; заявитель Hutchinson Co. - № 8717039; заявл. 08.12.87; опубл. 09.06.89. – 3 с.
5. Зубчатый ремень: а. с. 1709783 СССР, МПК5 F 16 G 5/00 / А.Т. Скойбеда [и др.]; Белорус. политех. ин-т. – № 4059035/27; заявл. 18.04.86; ДСП.
6. Зубчатый ремень: а. с. 1449745 СССР, МПК4 F 16 G 5/00 / А.Т. Скойбеда, А.Н. Зуб, А.Н. Ната-левич; Белорус. политех. ин-т; заявл. 06.11.86; опубл. 07.01.89 // *Открытия. Изобрет.* – 1989. – № 1. – С. 42.
7. Приводной ремень для передачи высоких нагрузок: пат. 62-7416 Япония, МПК4 F 16 G 5/06 / заявитель Мицубоси бэруто К. К. – № 57-186631; заявл. 23.10.82№; опубл. 17.02.87. – 4 с.
8. Power transmission belt: пат. 60-84439 Япония, МПК4 F 16 G 1/28 / W. Jirov, Y. Hatsudoki; – за-явл. 15.10.83, опубл. 14.09.85. – 8 с.
9. Прогрессивные конструкции зубчатых ремней и технология их производства: тематический обзор / Н.В. Лапшина [и др.]. – Москва: ЦНИИТЭнефтехим, 1987. – 55 с.
10. Courroï dentee: междунар. заявка РСТ 87/01779, МПК4 F 16 G 1/28 / V.V. Guskov [et al.]; Belorus. polytech. in-t. – заявл. 19.09.85; опубл. 26.03.87.
11. Козачевский, Г.Г. Повышение долго-вечности зубчато-ременных передач: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02 / Г.Г. Козачевский. – Минск, 1985. – 181 л.
12. Баханович, А.Г. Зубчато-ременные передачи: монография / А.Г. Баханович, А.Т. Скойбеда. – Минск: БНТУ, 2005. – 364 с.
13. Устройство для сборки бесконечных рези-новых лент: а. с. 1669756 СССР, МПК5 B 29 D 29/08 / А.И. Бобровник [и др.]; Белорус. политех. ин-т. – № 4400460/05; заявл. 30.03.88; Опубл. 15.08.91 // *Открытия. Изобрет.* – 1993. – № 30. – С. 54.
14. Каплун, А.Б. ANSYS в руках инженера: практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Мо-розов, М.А. Олферьева. – Москва: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
15. Eringen, A. Nonlinear theory of continuous media / A. Eringen. – New York: McGraw Hill Book Co., 1962. – 448 p.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ВИДАХ ИЗНОСА И ПРИЧИНАХ ИЗНОСА ПРИ ТРЕНИИ В ДЕТАЛЯХ МАШИН

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

По признаку основных явлений, обуславливающих эффект изнашивания, различные его виды можно объединить в следующие три главные группы: механический, молекулярно-механический и коррозионно-механический.

Разрушение поверхностей трения, обнаруживаемое визуально или под микроскопом, происходит в виде отдельных элементарных процессов, сочетание которых зависит от материалов и условий трения. Элементарные виды разрушения поверхностей трения следующие: микрорезание; царапание; отслаивание; выкрашивание; глубинное вырывание; перенос материала.

Таблица 1-Виды износа

N п/п	Виды изнашивания		
	механический	молекулярно-механический	коррозионно-механический
1	абразивное изнашивание	Водородное изнашивание	коррозионное
2	изнашивание вследствие пластической деформации	окислительное изнашивание	кавитационное
3	изнашивание в результате выкрашивания вновь образуемых структур	изнашивание вследствие диспергирования	коррозионно-механическое изнашивание в соединениях
4	изнашивание при схватывании и заедании поверхностей	избирательный перенос	эрозионное изнашивание
5	трещинообразование на поверхностях трения		изнашивание при феттинг-коррозии

Рассмотрим условия возникновения и способы борьбы с различными видами износа.

Водородное изнашивание возникает в результате кооперативного (синергетического) взаимодействия поверхностных явлений: экзотермии, адсорбции и трибодеструкции, которые приводят к выделению водорода. Совместно с неравновесными процессами, идущими при деформации поверхностного слоя металла, создаются тепловые градиенты, электрические и магнитные поля и поля напряжений. Это приводит к диффузии водорода в металл, концентрации его в подповерхностном слое и ускоренному износу или разрушению этого слоя.

Источники наводороживания: 1) из влаги дутья (водяного пара) в результате разложения под действием углерода; 2) при термической обработке (при диссоциации аммиака); 3) при электроосаждении хрома, кадмия, цинка, и никеля; 4) во время удаления окалина; 5) при фосфатировании; 6) атмосферная коррозия металла, в промышленной атмосфере, содержащей сернистый ангидрид и кислую сернокислую соль; 7) взаимодействие металла с органическими и неорганическими металлами (пластмассы).

Способы и методы борьбы с водородным изнашиванием: 1) исключение примесей сурьмы, соединений мышьяка, серы и других способствующих выделению водорода; 2) снижение режимов работы то есть, снижение температуры, скорости скольжения и давления; 3) для пластмасс необходимо исключить нахождение в них: сероводорода, фосфорводорода, соединений мышьяка, селена, сурьмы, теллура, при работе пары сталь-пластмасса, необходимо ввести в пластмассу электроотрицательной пластмассы, например ПТФЭ; 4) можно снизить введением в материалы медьсодержащих добавок, которые реализуют режим ИП; 5) введение в фрикционную пластмассу закись меди или другие добавки; 6) полирование поверхностного слоя детали.

Абразивным изнашиванием называют разрушение поверхности детали в результате ее взаимодействия с твердыми частицами при наличии относительной скорости. В роли таких частиц выступают: 1) неподвижно закрепленные твердые зерна, входящие в контакт по касательной либо под небольшим углом атаки к поверхности детали; 2) незакрепленные частицы, входящие в кон-

такт с поверхностью детали; 3) свободные частицы, находящиеся в зазоре между сопряженными деталями; 4) свободные абразивные частицы, вовлекаемые в поток жидкостью или газом.

Способы и методы борьбы с абразивным изнашиванием: 1) Внедрение систем фильтрации, очистки масла, сож; 2) Проведение диспергирования частиц – пропускать гидросмесь через диспергатор гидродинамического действия или ультразвуковой диспергатор; 3) Введение в масло высокодисперсные добавки-органозоли железа.

Окислительное изнашивание происходит в том случае, когда на соприкасающихся поверхностях образуются пленки окислов, которые в процессе трения разрушаются и вновь образуются; продукты износа состоят из окислов. От других видов коррозионно-механического изнашивания оно отличается отсутствием агрессивной среды, протекает при нормальных и повышенных температурах трения без смазочного материала или при недостаточном его количестве.

Способы и методы борьбы с окислительным изнашиванием: 1) использование смазочного материала с отсутствием влаги и O_2 ; 2) понижение температуры узла во время эксплуатации.

Изнашивание вследствие пластической деформации заключается в изменении размеров или формы детали в результате пластической деформации ее микрообъемов. Пластическое деформирование обычно сопровождается износом металлов и наблюдается в зоне, непосредственно прилегающей к поверхности трения. Пластическая деформация вызывается либо чрезмерными допускаемыми напряжениями, либо случайными значительными перегрузками.

Причины изнашивания: 1) смятие из-за наличия ударов; 2) действие высоких контактных напряжений; 3) ударное приложение нагрузки; 4) нагрев поверхностного слоя; 5) перенаклеп совместно с контактной усталостью; 6) дефекты монтажа или из-за недостаточной жесткости узлов.

Способы и методы борьбы с изнашиванием вследствие пластической деформации: 1) точный расчет нагрузок; 2) уменьшение динамических нагрузок; 3) включение в систему защиты в виде перегрузочных муфт.

Изнашивание вследствие диспергирования, происходит в результате измельчения отдельных участков контакта. Интенсивность этого вида изнашивания невысока, а шероховатость поверхности деталей малая. На площадках фактического контакта материал подвергается многократной упругой и пластической деформации, что приводит к разупрочнению, разрыхлению в отдельных местах структуры материала с последующим отделением небольших блоков.

Способы и методы борьбы с изнашиванием вследствие диспергирования: 1) За счет снижения точечных контактов; 2) Уточнение действующих нагрузок; 3) Упрочнение поверхности.

Изнашивание в результате выкрашивания вновь образуемых структур.

При тяжелых условиях работы на поверхностях трения происходят физико-химические изменения. Они являются результатом пластического деформирования, повышения температуры слоев металла, прилегающих к зоне контакта, последующего быстрого охлаждения и химического действия окружающей среды. Это физико-химические изменения, заключающиеся в образовании новых структур, в свою очередь изменяют вид взаимодействия и характер разрушения поверхностей (или так называемому появлению белого слоя). Одновременно с образованием белого слоя возникает система внутренних напряжений, которая совместно с рабочими напряжениями приводит к растрескиванию слоя и выкрашиванию его отдельных частиц.

Способы и методы борьбы с изнашиванием в результате выкрашивания вновь образуемых структур: 1) Применение охлаждающих жидкостей; 2) Защита от больших перепадов температуры; 3) Точное изготовление деталей машин, с жесткими допусками на цилиндричность и прямолинейность поверхности; 4) Исключение точечных нагрузок; 5) Использование химико-диффузионных процессов при трении для упрочнения поверхностей трения.

Коррозионно-механическое изнашивание - это механическое изнашивание, осложненное явлениями коррозии. Поверхность металла, вступая во взаимодействие с кислородом воздуха, образует оксидную пленку, которая в силу ее неметаллической природы не способна к схватыванию и в начальный момент изолирует поверхности сопряженных деталей от тесного соприкосновения. При трении оксидные пленки постепенно истираются или, отрываясь, удаляются с поверхности контакта. Затем такая пленка образуется вновь, снова разрушается при трении и таким образом изнашивание представляет собой удаление непрерывно возобновляющихся оксидных пленок.

Способы и методы борьбы с коррозионно-механическим изнашиванием: 1) Нейтрализация выпавших на поверхность кислот с помощью щелочных добавок в смазочное масло; 2) Исключения образования оксидных пленок на поверхности детали.

Схватывание и заедание поверхностей при трении. Схватывание-явление прочного соединения металлов в результате взаимного трения или совместного деформирования при температуре

ниже температуры рекристаллизации. При этом образуются прочные металлические связи в зонах непосредственного контакта поверхностей. В местах схватывания исчезает граница между соприкасающимися телами, происходит сращивание одно- и разноименных металлов.

Способы и методы борьбы со схватыванием и заеданием поверхностей при трении: 1)Наличие и исключение разрушения смазочной пленки; 2)Ограничение температуры в зоне контакта.

Фреттинг - коррозия - это процесс разрушения плотно контактирующих поверхностей пар металл-металл или металл-неметалл в результате малых колебательных относительных перемещений. Для возбуждения фреттинг-коррозии достаточны перемещения поверхностей с амплитудой 0,025 мкм. Разрушение заключается в образовании на соприкасающихся поверхностях мелких язвин и продуктов коррозии в виде налета, пятен и порошка.

Способы и методы борьбы с фреттинг - коррозией: 1)Покрытие деталей защитой от окисления; 2)Снижение перемещений ниже амплитуды 0,025 мкм; 3)Применение демпфирующих устройств; 4)Создание постоянного натяга в соединениях; 5)Наличие смазочных паров в среде соприкосновения деталей машин.

Кавитационное изнашивание происходит в потоке жидкости, движущейся с переменной скоростью в закрытом канале, в участках сильно пониженного давления, например, при обтекании препятствий, когда возникают при некоторых условиях местные разрывы сплошности с образованием каверн. Попадая с потоком в область более высокого давления, каверны захлопываются и, если это происходит у поверхности детали, жидкость с большой скоростью ударяется в стенку. Многократные повторные удары жидкости по одному и тому же участку металла (каверны возникают и захлопываются периодически, иногда с большой частотой) приводят через некоторое время к его местному разрушению, образованию углублений.

Способы и методы борьбы с кавитационным изнашиванием: 1)Проектируя гидромеханическую систему так, чтобы во всех точках потока давление не опускалось ниже давления парообразования; 2)Исключить влияния звуковых и ультразвуковых колебаний.

В последнее время в теории износа получили развитие представления о процессе водородного износа, диспергировании, выкрашивании новых образованных структур. Это связано с развитием методов исследований, с появлением новых материалов, режимов работы и возможности изучать структуры и процессы протекающие вплоть до атомного уровня. Дальнейшее развитие науки докажет многие теоретические аспекты и гипотезы протекания процесса износа, но существенных изменений в классификации или расширении теории износа ожидать трудно.

ЛИТЕРАТУРА

1.Гаркунов Д.Н. –Виды трения и износа. Эксплуатационные повреждения деталей машин.Смоленск204с.ил.2.<http://www.mexanik.ru/399/vved.htm>.3.<http://www.interum.ru/solutions/smaz/smazki/1>.4.<http://engine.aviaport.ru/issues/03/page24.htm>.15.http://www.nntu.scinnov.ru/RUS/fakyl/VECH/metod/posobie/s3_13.htm

УДК 621.01

Авсиевич А.М., Булгак Т.И., Николаев В.А., Реут Л.Е., Адаменко Д.В.

ОСОБЕННОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ ПАР РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ В МАШИННОМ АГРЕГАТЕ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Введение. В трибологии принято, что интенсивность изнашивания рабочих поверхностей пар трения определяется величиной контактного давления p , относительной скоростью скольжения в сопряжении V и характеризуется зависимостью I/I

$$I = k \cdot p^m \cdot V^n, \quad (1)$$

где k , m и n – эмпирические числовые коэффициенты.

При этом базовой моделью для проведения расчетов на износ является вращательная пара «вал – втулка» или поступательная пара с контактом взаимодействующих поверхностей по плоскости. Для повышения точности расчетов и адекватности результатов испытаний особое внимание уделяется состоянию взаимодействующих поверхностей (шероховатость, вид смазки и т.д.), а также механике их контактного взаимодействия /2/.

Ряд исследователей говорят о зависимости процесса изнашивания от более широкого спектра факторов. В трибофатике учитывается влияние на напряженное состояние изнашиваемого поверхностного слоя усталостных процессов и напряженного состояния детали в целом /3/. В работах /4/ представлены модели для расчета величины износа сопряжений с учетом их кинематики, влияния граничного и эластогидродинамического смазочного слоя, теплофизического состояния трибоконтакта, адсорбционных и диффузионных явлений, модификации трущихся поверхностей. Авторы /5,6/ доказали неравномерность распределения износа по поверхности реальных пар трения и предлагают положить в основу определения эпюр износа конструктивные особенности трибосопряжений и динамику машинного агрегата, объединяющего в себе двигатель, передаточный и исполнительный механизмы. Это позволяет учесть особенности силового взаимодействия, относительных перемещений, а также конструктивные особенности отдельных звеньев и пар трения. Наличие данных особенностей учитывается в практике других школ трибологии при разработке современных методик и устройств для экспериментального исследования износостойкости.

Применение указанного подхода позволяет с повышенной точностью определить значения физических величин, входящих в формулу (1) и непосредственно определяющих интенсивность изнашивания. Более того, результаты современных исследований /1/ говорят о том, что формула (1) справедлива только при постоянном распределении сил в контакте, что в реальных условиях практически не наблюдается. Вместо контактного давления p необходимо определять напряжение на рассматриваемом участке поверхностного слоя σ и учитывать изменение напряженного состояния во времени. Относительная скорость скольжения V определяет время существования единичной фрикционной связи и скорость деформации материала. Она влияет на тепловыделение и реологические свойства в контакте и, в конечном счете, на напряженное состояние. Колебания ее значений на разных участках трущихся поверхностей особенно существенны для рычажных механизмов. Поэтому без учета кинематики пары трения и динамики нагружения отдельных ее участков невозможно усовершенствовать прогнозирование износа реальных машин и механизмов.

Постановка задачи исследований. К факторам износа, изменение которых можно описать точными математическими зависимостями, относятся динамика внешних сил, относительные перемещения и скорости, погрешности размеров и формы контактирующих поверхностей. Их распределение по поверхности трения помимо напряженного состояния оказывает влияние на процессы в зонах фактического контакта: мощность тепловыделения, упругие и прочностные свойства материалов, вид деформаций, фрикционные свойства сопряжения, возможность протекания химических процессов и фазовых превращений в поверхностных слоях. Исходя из этого, задачей проводимых исследований является анализ влияния на процесс изнашивания кинематики относительных перемещений и динамики нагружения звеньев машин, обусловленных функционированием пары трения в машинном агрегате. Выявление соответствующих закономерностей позволит повысить точность расчета факторов износа и интенсивности изнашивания. Практическая значимость ожидаемых результатов заключается в усовершенствовании методики испытаний, разработке эффективных упрочняющих технологий и рекомендаций по оптимизации конструкции пар трения.

Анализ динамической нагруженности вращательной пары трения. Функционирование вращательной пары в рычажном механизме обуславливает существенные особенности кинематики относительного перемещения звеньев

по сравнению с абстрактным сопряжением «вал – втулка». Реакция между звеньями определяется при стандартном динамическом анализе как равнодействующая внешних сил, сил тяжести G_i и инерционных нагрузок F_{ii} , M_{ii} (рис 1).

В общем случае внешние силы и инерционные нагрузки переменны по величине и направлению, звено 2 постоянно изменяет свое направление – все эти факторы обуславливают перемен-

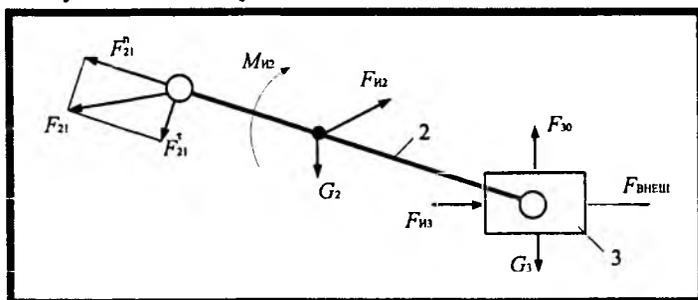


Рис. 1. Схема сил структурной группы кривошипно-ползунного механизма

ность величины и направления результирующей внешних сил, приложенных к звену 2

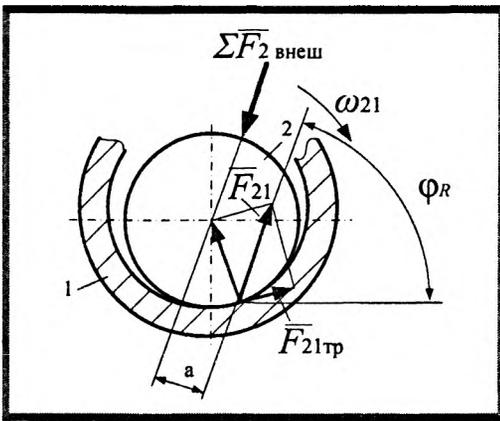


Рис. 2. Схема сил во вращательной паре

ем внешних сил.

Таким образом, во вращательных парах рычажных механизмов кинематика относительно движения звеньев помимо относительной скорости скольжения ω_{21} должна описываться скоростью поворота угла вектора реакции.

В неподвижной системе координат скорость вращения вектора реакции $\omega_R = d\varphi_R / dt$ определяется аналитически дифференцированием уравнений

$$\varphi_R = \arccos \frac{F_{21}^X}{F_{21}} \text{ и } \varphi_R = \arcsin \frac{F_{21}^Y}{F_{21}},$$

где F_{21} , F_{21}^X , F_{21}^Y — соответственно реакция между звеньями 1 и 2 и ее проекции на координатные оси, определяемые аналитическим методом динамического анализа. Расчет производят для заданного закона изменения внешних сил после исследования динамики машинного агрегата и определения закона движения начального звена. В результате получают зависимости как скорости обкатывания ω_R , так и соотношение $\omega_R / \omega_1 = i_R$ — аналог скорости. Расчеты, проведенные с помощью ЭВМ для различных режимов работы кривошипно-ползунного механизма, показали, что вид зависимости скорости обкатывания от угла поворота начального звена $\omega_R(\varphi_1)$ определяется соотношением внешних сил, сил тяжести и инерционных нагрузок.

Например, для быстроходных механизмов без учета действия внешних сил график $\omega_R(\varphi_1)$ в паре кривошип-шатун имеет вид, представленный на рис. 3. Средняя скорость вращения кривошипа принималась равной 100 рад/с. Следует отметить сложный характер зависимости, примерно двукратное соотношение максимума ω_{Rmax} / ω_1 , противоположность направлений относительной скорости скольжения и скорости обкатывания, что сказывается на времени существования единичной фрикционной связи в контакте.

Вопрос о степени влияния на процесс изнашивания скорости поворота реакции во вращательной паре требует дополнительного анализа и проверки экспериментальными исследованиями. Возможность точного математического описания данного фактора создает предпосылки для создания учитывающих его способов и устройств для испытаний на сопротивление изнашиванию.

Напряженное состояние во вращательной паре трения. Как было указано выше, напряжения в поверхностных слоях деталей пар трения являются наиболее существенным фактором, определяющим износостойкость. Они определяются решением контактной задачи сжатия двух

$\Sigma \vec{F}_2$ ВНЕШ. Это приводит к изменению величины реакции F_{21} между шатуном и кривошипом и ее направления, описываемого в неподвижной системе координат углом φ_R (рис. 2). В результате имеет место обкатывание вала 2 по внутренней поверхности втулки 1. Аналогичные явления имеют место во всех вращательных парах любых рычажных механизмов. Как известно [7], при учете трения реакция во вращательной паре смещена относительно оси на величину

$$\vec{v} = r \cdot f$$

где r — радиус пары трения,

f — коэффициент трения между материалами вала и втулки.

Однако, такое смещение является практически постоянным, и изменение угла φ_R определяется действи-

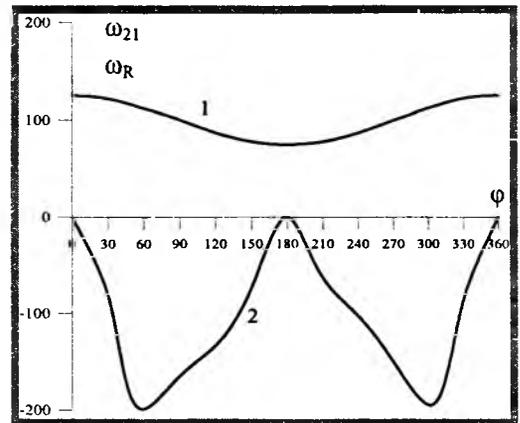


Рис. 3. Зависимость скоростных факторов износа во вращательной паре «кривошип — шатун» от угла поворота кривошипа:

- 1 — относительная угловая скорость ω_{21} ;
- 2 — скорость поворота вектора реакции ω_R

цилиндров с параллельными образующими, один из которых имеет выпуклую, а второй – вогнутую поверхность. При взаимном нажатии цилиндров силой F возникает распределенная нагрузка интенсивностью $q = F/l$, где l - длина цилиндров.

Тогда площадка контакта представляет собой узкий прямоугольник, ширина b которого (рис.4) определяется по формуле [8/

$$b = 2,15 \sqrt{q \frac{1/E_1 + 1/E_2}{1/R_1 - 1/R_2}},$$

где E_1 и E_2 , R_1 и R_2 – соответственно модули Юнга и радиусы цилиндров 1 и 2.

Наибольшее напряжение сжатия возникает в точках оси площадки контакта [8/

$$\sigma_{max} = 0,418 \sqrt{2q \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} \cdot \frac{R_1 - R_2}{R_1 R_2}}.$$

Данная опасная точка расположена на глубине, равной $0,4b$.

Все главные напряжения являются напряжениями сжатия. Наибольшее касательное напряжение, которое может представлять интерес с точки зрения появления пластического течения, всегда возникает в точке в площадках, параллельных направлению главного напряжения σ_2 , т.е. параллельных оси цилиндра. Оно равно полуразности алгебраически большего главного напряжения σ_1 , и алгебраически меньшего σ_3

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = 0,3\sigma_{max}$$

Следует отметить, что переход от упругой к пластической деформации существенно изменяет механизм процесса изнашивания, поэтому определение условий ее возникновения на разных участках поверхностей трения имеет большое практическое значение.

Представленные зависимости выведены для условий статического контакта. В рассматриваемых реальных парах трения можно выделить следующие существенные для определения полей напряжений особенности: смещение точки контакта относительно оси на величину $a = r \cdot f$; наличие динамических нагрузок вплоть до возникновения ударов при скачкообразном изменении внешних сил; высокая скорость смещения зоны контакта, сопровождающееся движением фронта деформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трение, износ и смазка: (Трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.; Под общ. ред. Чичинадзе А.В. - М.: Машиностроение, 2003. – 575 с.
2. Кравчук А.С., Чигарев А.В. Механика контактного взаимодействия тел с круглыми границами. – Мн.: Технопринт, 2000. – 196 с.
3. Основные идеи трибофатики и их изучение в техническом университете: пособие / В.И. Сенько, Л.А. Сосновский. – Гомель: УО «БелГУТ», 2005. – 191 с.
4. Дроздов Ю.Н., Мудряк В.И., Дынту С.И. Обобщенные характеристики для прогнозирования изнашивания трущихся поверхностей // Трение и износ. 1997, Т.18, № 6. – С. 715 - 721.
5. Патент РФ. RU 2107902 С1 1998.03.27. Способ повышения долговечности деталей подвижных соединений механизмов машин. Филонов И.П., Черкас А.А. 1998.03.27. Бюл. № 9.
6. Повышение долговечности трущихся элементов вращательных кинематических пар механизмов машин на основе моделирования их износа / И.П. Филонов, П.П. Анципорович, В.К. Акулич., Т.И. Булгак // Современные методы проектирования машин: Респ. межведомств. сб науч. тр. Вып. 2. / под общ. Ред. П.А. Витязя. В 7 томах. Т. 4.– Мн.: УП «Технопринт», 2004. – С. 127 – 132.
7. Теория механизмов и машин / Под ред. К.В.Фролова. – М.: Высш. шк.,1987. – 496 с.
8. Писаренко Г.С. и др. Сопротивление материалов. – Киев: Вища школа, 1979. – 693 с.

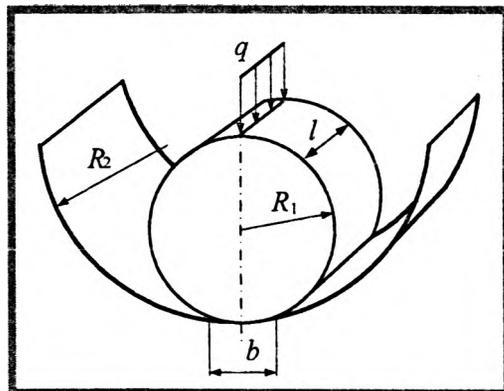


Рис. 4. Расчетная схема для определения напряжений

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИВОДА МАШИННОГО АГРЕГАТА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Оценкой эффективности ограничения динамических нагрузок является коэффициент динамичности муфты K_δ в самом тяжелом режиме нагружения привода – жестком стопорении.

Задавая в качестве исходных данных различные угловые скорости вращения ведомого вала ω_i перед моментом резкого его стопорения, получаем кривые изменения крутящего момента по времени (рис.1).

Каждая кривая дает величину максимального крутящего момента в зависимости от скорости его нарастания V_{Tn} , которая получается как

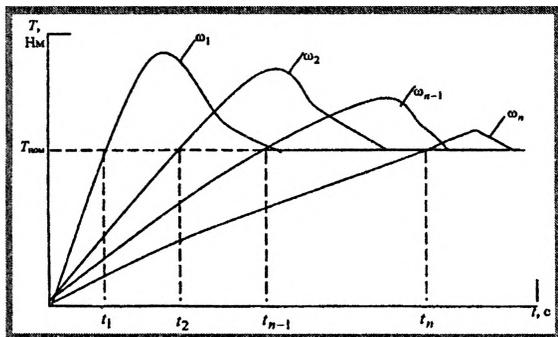


Рис. 1 Зависимость крутящего момента от угловой скорости

результат деления номинального момента $T_{v5\mu}$ на время t_{vi} , в течение которого происходило нарастание крутящего момента от 0 до $T_{v5\mu}$.

$$V_{Tn} = \frac{T_{v5\mu}}{t_{vi}} \quad (1)$$

Как видно из графика (рис.1), V_{Tn} есть тангенс угла наклона каждой кривой в начале координат.

Имея максимальные значения крутящих моментов T_{max} при различных скоростях их нарастания V_{Tn} , получаем общую зависимость

$T_{max} = f(V_{Tn})$ (рис.2). Из ее анализа следует, что начиная с некоторой, определенной скорости нарастания крутящего момента, максимальный момент срабатывания значительно превышает момент настройки муфты, т.е. существенно увеличивается коэффициент динамичности муфты, причем эта зависимость носит явно степенной характер.

Это требует ее учета при проектировании привода с предохранительной муфтой. Количественно степень увеличения момента срабатывания может быть определена коэффициентом динамической чувствительности:

$$K_{\delta x} = \frac{T_{V50}}{T_{v5\mu}} \quad (2)$$

где T_{V50} – максимальный момент срабатывания при скорости нарастания крутящего момента $50 \frac{\text{кН}\mu}{\text{с}}$.

Скорость нарастания крутящего момента $V_T = 50 \frac{\text{кН}\mu}{\text{с}}$ принята как наиболее характерная для практических случаев применения фрикционных предохранительных муфт.

Коэффициент динамической чувствительности $K_{\delta x}$ характеризует муфту определенной конструкции относительно влияния скорости нарастания крутящего момента на величину максимального момента срабатывания и должен быть учтен при проектировании привода.

При этом надо иметь в виду, что установка пре-

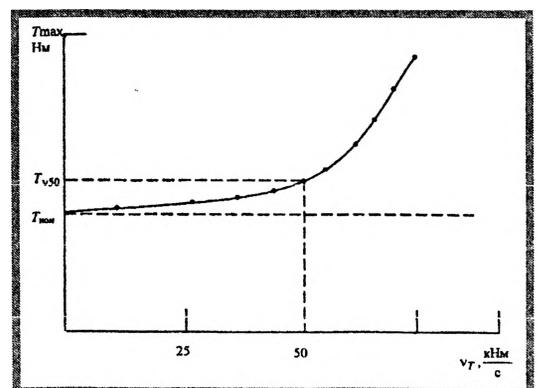


Рис. 2. Зависимость предельного момента срабатывания от скорости нагружения привода

дохранительной муфты на тихоходном валу привода, где большой крутящий момент, приводит к увеличению габаритов и металлоемкости муфты, отсюда рациональным будет установка муфты на более быстроходном валу. Однако, в этом случае, должна быть учтена фактическая скорость нарастания крутящего момента в месте установки предохранительной муфты.

Практически эта скорость определяется приведенной податливостью машинного агрегата от предохранительной муфты до максимально вероятного места заклинивания механизма, которая может быть определена экспериментально или аналитически.

Зная величину указанной приведенной податливости $e_{ок}$ можно определить время нарастания крутящего момента от нуля до $T_{в\dot{\epsilon}и}$, на которую настроена муфта:

$$t_v = \frac{\varphi}{\omega}, \quad (3)$$

где $\varphi = e_{ок} \cdot T_{в\dot{\epsilon}и}$ – угловая координата ведомой полумуфты;

ω – угловая скорость момента заклинивания.

Таким образом, время нарастания крутящего момента:

$$t_{vi} = \frac{e_{ок} \cdot T_{в\dot{\epsilon}и}}{\omega_i}. \quad (4)$$

Имея время, за которое крутящий момент достигает своего номинального значения, определяем скорость его нарастания:

$$V_{Ti} = \frac{T_{в\dot{\epsilon}и}}{t_{vi}}. \quad (5)$$

Подставляя t_{vi} из формулы (4) имеем:

$$V_{Ti} = \frac{\omega_i}{e_{ок}}. \quad (6)$$

Таким образом, скорость нарастания крутящего момента в любой точке привода пропорциональна угловой скорости и обратно пропорциональная приведенной податливости $e_{ок}$ от данной точки до места заклинивания привода.

Отсюда вытекают рекомендации по проектированию привода с целью применения муфты на максимально возможных скоростях, при минимальной металлоемкости. Определив наиболее подходящее с этих позиций место установки муфты, можно рассчитать скорость нарастания крутящего момента V_{Ti} , а по ней максимальный момент срабатывания муфты:

$$T_{max} = K_{\delta} \cdot T_{в\dot{\epsilon}и}, \quad (7)$$

где K_{δ} – коэффициент динамичности при рассматриваемой скорости нарастания крутящего момента V_{Ti} .

$$K_{\delta} = K_{\delta x} \left(\frac{V_{Ti}}{V_{T50}} \right)^n. \quad (8)$$

Показатель степени n определяется по зависимости

$$T_{max} = f(V_T).$$

Зная значения максимального момента срабатывания предохранительной муфты в рассматриваемой точке, можно решить вопрос о постановке муфты в данном месте или переносе его в менее динамичную зону привода.

Таким образом, чувствительность муфты к скорости нагружения можно определить ее коэффициентом динамической чувствительности, который должен быть учтен при проектировании привода.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДВС

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Аннотация

Разработана и смоделирована система питания ДВС. Использование данной системы повысит моторесурс двигателя, при этом повысится эффективный К.П.Д. на 11,3% и снизится расход топлива на 0,021 кг/л.с.ч., увеличится количество свежего заряда на 0,04 кгмоль/кг топлива

Загрязнение окружающей среды в результате работы автомобиля обусловлено тремя основными источниками: системой выпуска отработанных газов, системой смазки и вентиляции картера, системой питания. На долю выхлопных газов приходится наибольшая часть (70-80 %) вредных веществ, выделяемых автомобильным двигателем. Камера сгорания двигателя - это своеобразный химический реактор, синтезирующий вредные вещества, которые затем поступают в атмосферу. Даже нейтральный азот из атмосферы, попадая в камеру сгорания двигателя, превращается в ядовитые оксиды азота. В отработанных газах содержится более 200 различных химических соединений, из них около 150 - производные углеводородов, вследствие неполного или неравномерного сгорания топлива в двигателе.

Для обеспечения высоких мощностных, экономических и экологических показателей ДВС, необходимо совершенствовать процесс сгорания топливовоздушной смеси. Важную роль здесь играет смесеобразование, т.е. подготовка топливовоздушной смеси, ее состав, равномерность распределения по цилиндрам, степень испарения, вихревое движения заряда, температура, количество остаточных газов [1].

Перспективность использования водорода в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) определяется его экологической чистотой, неограниченностью сырьевых запасов и хорошими моторными свойствами. Однако, несмотря на указанные преимущества, применение чистого водорода, как альтернативного горючего, ограничено из-за нестандартных габаритов, значительной массы.

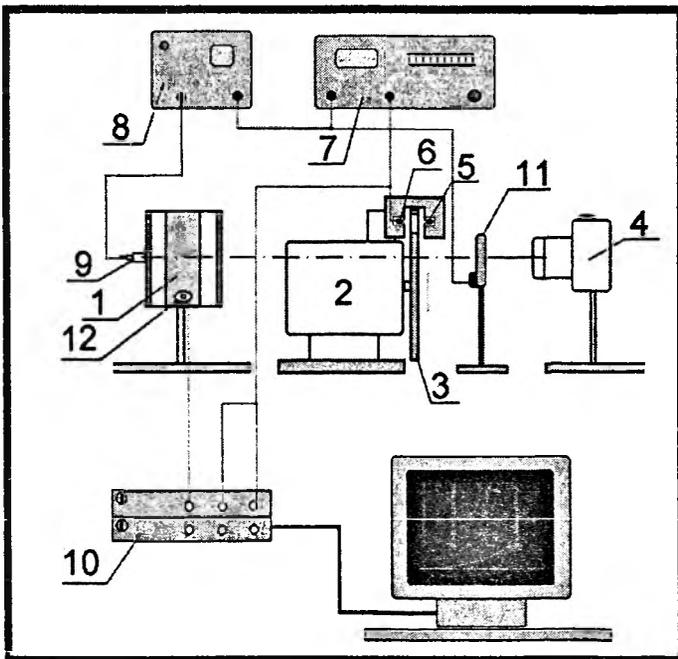


Рис.1 Схема установки модельной камеры сгорания

- 1- камера сгорания; 2 – электродвигатель;
- 3 – диск с одной либо четырьмя щелями;
- 4 – цифровая фотокамера; 5 – светодиод;
- 6 – фотодиод; 7 – источник временных сдвигов;
- 8 – формирователь импульса поджига; 9 – инициатор (свеча);
- 10 – запоминающий цифровой осциллограф;
- 11 – электромеханический затвор;
- 12 – датчик давления

Ситуация упрощается при использовании водорода в небольших количествах совместно с другими горючими для улучшения основных показателей ДВС (уменьшения вредных выбросов, повышения КПД). Исследования направлены на использование водорода в качестве добавки к углеводородным топливам.

Исследования проводились в модельной камере сгорания с внутренним диаметром 80 и высотой 32 мм, один из торцов которой выполнен из кварцевого стекла, (рис.1). Внешний диаметр камеры – 140 мм. Смесь зажигалась от автомобильной свечи в двух вариантах поджига: боковом – свеча устанавливалась в цилиндрической стенке, и центральном – свеча устанавливалась по центру торцевой стенки. Для регистрации динамики изменения давления в процессе горения использовался пьезоэлектрический датчик давления, размещенный в цилиндрической стенке камеры. В ходе экспериментов фиксировались два характерных показателя: максимальное давление P_{max} , развиваемое в камере в процессе горения, и время горения смеси t_r (от момента поджига до достижения давления P_{max}), которые являются, по существу, термодинамическими характеристиками рабочего цикла ДВС.

Визуализация распространения волны горения вдоль диаметра камеры или по ее радиусу (при боковом и центральном поджиге соответственно) осуществлялась методами скоростной фотографии. Положения фронта пламени регистрировались с момента открытия электромеханического затвора цифровой камерой через узкие щели диска, вращавшегося с фиксированной частотой (рис.1).

Задержка времени между поджигом смеси в камере сгорания и моментом первой регистрации процесса горения устанавливалась с помощью генератора временных интервалов, который запускался при поступлении электрического импульса от управляющего светодиода. Импульс с управляющего светодиода использовался также для синхронизации момента поджига с запуском цифрового запоминающего осциллографа, который записывал сигналы с принимающего фотодиода и датчика давления. Число зарегистрированных в процессе горения положений фронта пламени определялось моментом закрытия электромеханического затвора, количеством щелей на диске и частотой его вращения. Расстояния, которые проходил фронт пламени от точки поджига, измерялись при обработке фотографий. Методика расчета текущих значений скорости распространения фронта пламени (скорости горения) в камере представлена в работе [3].

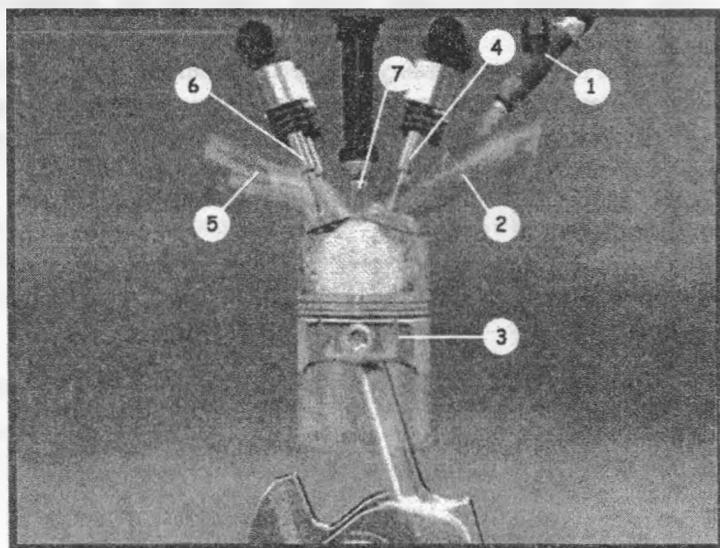
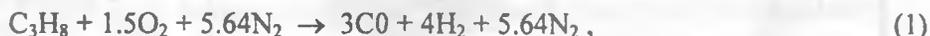


Рис.2 Компьютерная модель работы системы питания ДВС

- 1 – система подачи топлива;
- 2 – впускной коллектор; 3 – поршень;
- 4 – впускной клапан;
- 5 – выпускной коллектор;
- 6 – выпускной клапан; 7 – свеча центрального поджига;

В качестве модельного горючего для углеводородов использовался пропан. Рассматривались стехиометрические и бедные пропановоздушные смеси и смеси пропана с воздухом, содержащие 2 или 4% водорода от объема воздуха (моделирование состава топлива при добавлении водорода в воздушный тракт ДВС). Кроме того, в качестве горючего изучались смеси, соответствующие продуктам реакции неполного окисления пропана:



с указанным в уравнении содержанием азота. Начальная температура смесей составляла 290–300 К.

Изучение процесса воспламенения и горения, позволило разработать компьютерную модель системы питания ДВС (рис 2).

При работе двигателя топливо из топливного бака, попадает в систему подачи 1, где во впускном коллекторе 2 оно уже не в распыленном состоянии, а в газообразном, смешивается с воздухом и при подходе поршня 3, к верхней мертвой точке открывается впускной клапан 4, топливно-воздушная смесь попадает в цилиндр. Сгоревшая смесь падает в выпускной коллектор 5

посредством выпускного клапана 6. Предложенная система позволяет производить добавки водорода к топливу, более 5%.

Произведен тепловой расчет четырехтактного двигателя для легкового автомобиля с разработанным механизмом газораспределения ДВС [4] и системой питания ДВС.

Мощность $N_e = 70$ л. с.; число оборотов $n = 4400$ в минуту; число цилиндров $i = 4$; топливо – бензин с октановым числом 80 следующего состава (по весу): $C = 0,850$ и $H = 0,150$; низшая теплотворная способность $H_u = 10500$ ккал/кг, $m_T = 114$.

Результаты данного расчета: уменьшился ход поршня на 5 мм и диаметр поршня на 8 мм, объем цилиндра на 0,111 дм, повысили при этом эффективный К.П.Д. на 11,3% и снизили расход топлива на 0,021 кг/л.с.ч., увеличили количество свежего заряда на 0,04 кгмоль/кг топлива, при уменьшении числа молей в продуктах сгорания N_2 на 0,0063 кгмоль/кг топлива, PE_2 на 0,0523 кгмоль/кг топлива.

Рассматривая перспективность внедрения описанного технического решения, возможно у любого стандартного бензинового ДВС может быть реализован такой режим работы с минимальными затратами и конструктивными изменениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лихтарович Е. С. Модернизация системы комбинированного автомобильного питания (СКАП) // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления. Гомель, 2007. С.19.
2. Мигун А. Н., Чернуха А. П., Жданок С. А. Влияние добавок водорода и синтез-газа на характеристики процесса горения бензиновоздушных смесей в условиях, характерных для двигателей внутреннего сгорания / ИФЖ. Т. 79, № 4. Минск, 2006. С. 23-28.
3. Ассад М., Лещевич В. В., Миронов В. Н., Пенязьков О. Г., Севрук К. Л. Горение модифицированных топлив в модели камеры сгорания ДВД // Тепло- и массоперенос–2005. Минск: ИТМО им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2005. С. 100–105.
4. Лихтарович С. В., Лихтарович Е. С. Механизм газораспределения двигателя внутреннего сгорания. Беларусь, Патент №7955

УДК 674.023

Дулевич А. Ф., Киселев С. В.

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УСТАНОВКИ ДЛЯ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ

*Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь*

Недостаточная долговечность полотна пилы является одной из основных проблем при эксплуатации ленточных пил в деревообрабатывающей промышленности. Основными причинами потери работоспособности ленточных пил является затупление режущих кромок зубьев и аварийный разрыв полотна пилы. Практика показывает, что в некоторых случаях разрыв полотен происходит уже после 3–4 часов работы, что крайне негативно сказывается как на производительности оборудования, так и на безопасности труда. Поэтому существует необходимость разработки методов и рекомендаций по повышению долговечности полотна пилы, что связано с проведением большого объема экспериментальных исследований. Проведение таких исследований непосредственно на ленточнопильном оборудовании требует больших затрат энергии, рабочего времени и распиливаемого сырья.

Стал актуальным вопрос о необходимости создания экспериментальной установки, максимально воспроизводящей условия работы ленточной пилы на станке. Для создания принципиальной схемы установки, с помощью которой можно было бы провести корректное моделирование условий эксплуатации необходимо определить основные напряжения возникающие в полотне пилы и их характер.

Анализ работы ленточных пил показал, что основными напряжениями вызывающие усталостное разрушение полотна ленточной пилы являются [1,2]: напряжение от предварительного натяжения пильного полотна $\sigma_{нат} = 50–100$ Н/мм² и напряжение от изгиба полотна на шкивах, зна-

чение которого может изменяться в пределах $\sigma_{изг} = 180-600$ МПа. В сумме данные напряжения составляют 75–85 % от общих напряжений, возникающих в полотне пилы. Следует отметить, что напряжения растяжения можно принять постоянными, а напряжения изгиба – циклическими, с частотой равной частоте пробега пилы по шкивам и равной $\nu = 6-40$ Гц в зависимости от конструктивных особенностей станка.

Из анализа условий работы ленточной пилы видно, что для моделирования условий ее работы необходимо воспроизведение как минимум двух основных нагрузок: растяжение и изгиб. Причем изгиб характеризуется следующими свойствами: постоянный радиус кривизны, постоянное значение изгибающего момента в сечении полотна пилы на длине участка лежащем на шкиве, изгиб происходит только с одной стороны, т.е. можно говорить о отнулевом цикле нагружения. Растяжение может быть как осевым, так и внецентренным, в случае учета при моделировании наклона ведомого шкива станка.

Существуют различные конструкции установок для усталостных испытаний листовых материалов [3]. Данные установки различаются по способу возбуждения колебаний и могут быть магнитоэлектрические, электродинамические, акустические, механические и пр.

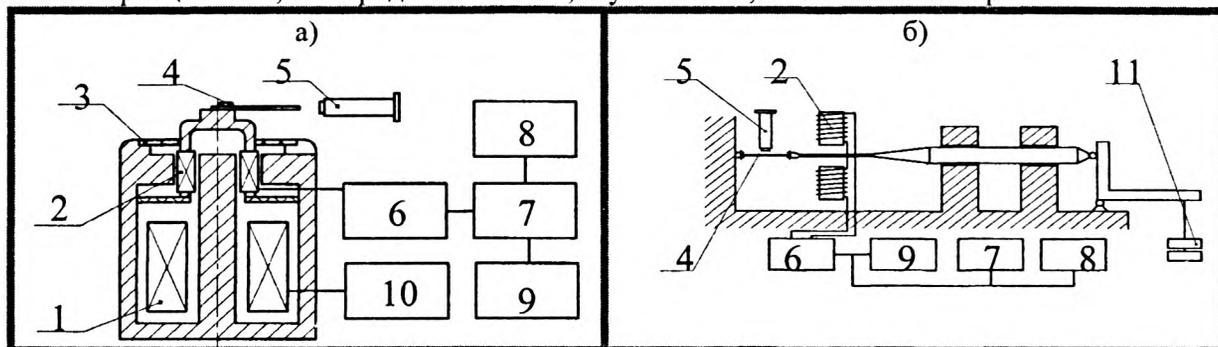


Рис. 1. Блок-схемы электродинамических установок для усталостных испытаний при консольном изгибе образца: а) без растягивающей нагрузки; б) с растягивающей нагрузкой.

1) обмотка постоянного тока; 2) обмотка возбуждения; 3) мембраны; 4) образец; 5) микроскоп; б) усилитель; 7) генератор; 8) счетчик импульсов; 9) частотомер; 10) выпрямитель; 11) грузы.

На рисунке 1 представлены схемы электродинамических установок для усталостных испытаний плоских образцов.

Возбудителем колебаний в данных установках является электродинамический вибратор представляющий собой электромагнит, основным элементом которого является обмотка возбуждения 2, которая питается переменным током и передающая колебания испытываемому объекту 4. Амплитуда колебаний образца измеряется микроскопом 5. Задающий генератор 7 подает сигнал нужной частоты на мощный усилитель 6, от которого питается катушка возбуждения электродинамического вибратора. Частота возбуждения контролируется частотомером 8, а число циклов до разрушения образца определяется счетчиком циклов 9. Основным условием работы данных установок является резонансный режим, т.е. совпадение частоты возбуждения и собственной частоты колебания образца.

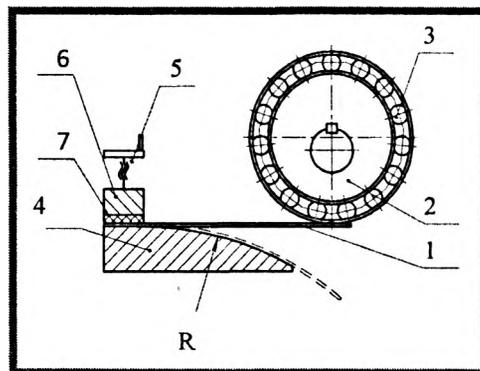


Рис. 2. Схема установки для сравнительных усталостных испытаний образцов из ленточных пил: 1) - образец; 2) – эксцентрик; 3) – шариковый подшипник; 4) – шаблон-копир; 5) – винтовой зажим; 6) – прижимная линейка; 7) – резиновая прокладка.

В зависимости от размеров образца и толщины тяги частота нагружения находится в пределах 50–500 Гц. Резонансная частота измеряется частотомером 7, а по счетчику импульсов 8 определяется число циклов нагружения.

Основным недостатком данных установок не позволяющей использовать их для моделирования условий работы пилы на станке является то, что образец испытывает симметричный цикл изгиба, в то время как пила изгибается на шкивах по отнулевому.

На рисунке 2 представлена схема установки, спроектированная в Архангельском ЛТИ для сравнительного испытания ленточных пил [4].

При испытаниях исследуемые образцы 1 устанавливаются рабочей частью на шаблон-копир 4 и фиксируются прижимной планкой 6 через резиновую прокладку 7. Нагружение (изгиб)

образцов происходит при вращении вала с эксцентриками 2 от электродвигателя, при этом рабочая часть образцов копирует форму поверхности шаблона-копира.

Следует также отметить, что во всех данных установках образец закрепляется консольно, что качественно не соответствует условиям изгиба полотна на шкиве.

Так как ни один из существующих стенов по усталостным испытаниям плоских образцов не позволяет адекватно воспроизвести нагрузки, действующие на полотно ленточной пилы, то существует необходимость проектирования и создания новой экспериментальной установки.

При разработке схемы нагружения проектируемой установки, были учтены недостатки существующих. Была принята схема, при которой образец шарнирно закреплялся на двух опорах (рисунок 4), на него действует растягивающее усилие F_0 и изгибающее усилие F , которое прикладывается посередине длины образца.

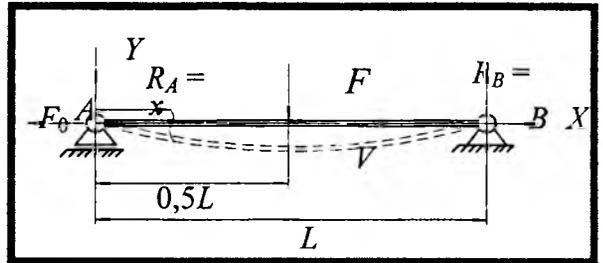


Рис. 3. Схема нагружения на установке

Данная схема предусматривает возможность осевого либо внецентренного растяжения образца. Необходимость использования внецентренного растяжения может возникнуть в случае дополнительного учета наклона ведомого шкива.

Для данной схемы нагружения было составлено и решено дифференциальное уравнение гибкой линии, позволяющее определять величину необходимой изгибающей силы и прогиба в точке приложения силы для заданного уровня изгибных и растягивающих напряжений возникающих в образце.

Для расчетов элементов конструкции и для определения потребляемой мощности, значение боковой изгибающей силы F определялось по формуле, Н:

$$F = \frac{2\sqrt{F_0 E J_z}}{\rho k \tanh\left(\frac{l\sqrt{F_0}}{2\sqrt{E J_z}}\right)} \quad (1)$$

где ρ – моделируемый радиус кривизны, мм; F_0 – сила растягивающая балку, Н; E – модуль упругости материала, МПа; $J_z = bs^3/12$ – момент инерции сечения пилы при продольном изгибе, мм⁴; l – расстояние между опорами, мм; b – ширина полотна, мм; s – толщина полотна, мм;

Общий вид установки для усталостных испытаний образцов ленточных пил представлен на рисунке 4. Установка состоит из станины представляющей собой две жестких плиты – верхней 1 и нижней 2 соединенных между собой стойками 3. На нижней плите закреплён узел возбуждения боковой изгибающей силы. Данный узел представляет собой две стойки, в которых на подшипниках качения установлен вал, на котором закреплены приводной шкив (на рисунке не показан) и силовой кулачок. Кулачок обкатывается подшипником каретки, которая движется возвратно-поступательное движение по направляющим, выполненным в боковых стойках и через подвижный шток и толкатель передает изгибающее усилие на образец.

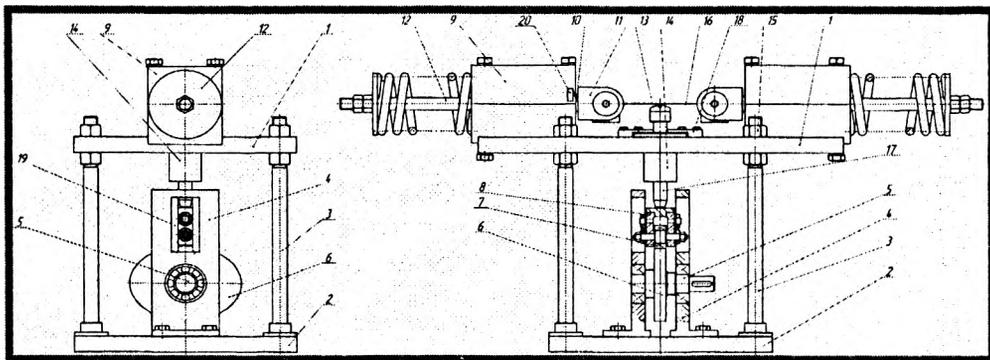


Рис. 4. Схема установки для ускоренных испытаний ленточных пил

На верхней плите расположен узел растяжения образца, представляющий собой две опоры 9, каждая из которых представляет собой две призмы с пазами. В пазы вставляются оси с вращающимися втулками, которые служат опорами качения для перемещающегося по ним стержня, жестко закрепленного с одной стороны с захватным устройством 11, а с другой стороны соединен

со стержневым элементом натяжения 12 передающие растягивающее усилие от цилиндрических пружин сжатия на образец. Пружины предварительно тарируются, т.е. определяется зависимость деформации от сжимающей нагрузки. Захватное устройство выполнено в виде клинового захвата, в который вставляется образец и дополнительно закрепляется штифтом, а само устройство может свободно поворачиваться вокруг оси лежащей в плоскости, находящейся на середине толщины образца, тем самым выполняется условие растяжения образца вдоль геометрической оси.

Установка и регулировка контакта толкателя 13 и образца выполняется с помощью регулировочных гаек на стойках 3.

Установка работает следующим образом. Образец 16 устанавливается в зажимные приспособления 11. Сжатием пружины гайками на стержневых элементах 12 создается необходимая осевая растягивающая нагрузка, величина которой контролируется с помощью величины деформации пружины. Значения растягивающей силы определяется в зависимости от необходимого уровня напряжения и площади поперечного сечения рабочей части образца

Крутящий момент от двигателя через ременную передачу приводит во вращение вал 5 и находящийся на нем силовой кулачок 4. При вращении кулачка каретка совершает возвратно-поступательные движение, передавая изгибное усилие на образец через толкатель 7. Изгиб испытываемого изделия 9 вызывает уменьшение расстояния между зажимными приспособлениями 11, причем, чем больше изгиб (прогиб) тем на большую величину изменяется расстояние между ними. Для компенсации изменения осевой силы предусмотрен компенсатор, выполненный совместно с узлом создания осевой растягивающей силы и представляющий собой цилиндрическую пружину с заданными геометрическими характеристиками.

Жесткость данных пружин выбирается в зависимости от необходимой величины растягивающей силы. Величина пульсаций растягивающей силы не превышает 5% от номинальной величины

При воздействии изгибающей силы образец 9 начинает поворачиваться в шарнирах захватного приспособления 11.

Для предотвращения вращения штока вокруг своей оси на верхней плите установлены направляющие 18.

Для автоматической остановки установки после разрушения образца на одной из опор установлен конечный выключатель 20. При разрушении образца захватное устройство 11 прижимается к опоре 9 за счет растягивающей силы пружины. Пластина, закрепленная на захватном устройстве давит на конечный выключатель и размыкает цепь питания электродвигателя.

Частота нагружения образца плавно регулируется за счет изменения частоты вращения вала кулачка и может варьироваться в диапазоне 2-75 Гц.

Число циклов нагружения пересчитывается исходя из времени работы установки и частоты вращения вала 5.

Стенд позволяет осуществлять основные виды нагружения обеспечивающие максимальное приближение к эксплуатационным режимам ленточных пил: нагружение статической осевой силой натяжения, изгибающим моментом при чистом изгибе.

Образец для данной установки представляет собой отрезок испытываемой ленточной пилы, либо стандартный образец для усталостных испытаний – тип IV по ГОСТ 25.502-79. Основные размеры образцов представлены на рисунке 4.

Длина образца выбиралась таким образом, что бы обеспечить минимальные габариты экспериментальной установки, рациональные значения прогиба образца и величины боковой изгибающей силы, а значит и минимальной потребляемой мощности, а также из соображений наличия на рабочем участке как минимум три впадины зубьев.

Для данной установки приняты образцы длиной 160₋₁₀ мм. В зоне захватов зубья срезаются по линии впадин.

Данная установка позволяет испытывать пилы шириной 10–45 мм, толщиной 0,3–2 мм.

Для предварительного захвата в образцах выполняются отверстия для штифтов захватов по середине либо со смещением в случае необходимости эксцентричного растяжения.

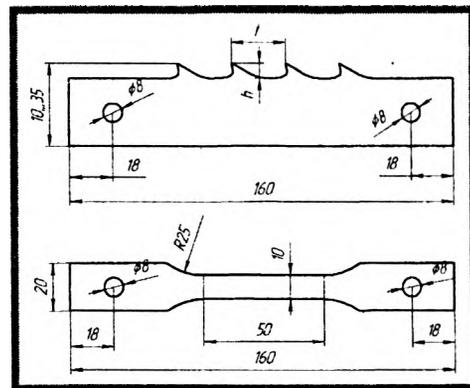


Рис. 5. Образцы: а) натуральный образец ленточной пилы; б) стандартный образец тип IV.

Спроектированная установка дает возможность воспроизводить основные нагрузки, действующие на полотно ленточной пилы – статическое растяжение и циклический изгиб, что позволяет проводить экспериментальные исследования по изучению долговечности пилы в лабораторных условиях.

Конструкция установки позволяет провести ее модернизацию и дополнительно нагружать образец силами резания с учетом цикла работы пилы на станке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Феоктистов, А. Е. Подготовка ленточных пил к работе / А.Е. Феоктистов. – М.: Лесн. пром-сть, 1971. – 72 с.
2. Дулевич, А. Ф. Исследование причин возникновения усталостных трещин в полотнах ленточных пил / А. Ф. Дулевич, С. В. Киселев // Труды БГТУ. Сер. II. Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2006. – Вып. XIV. – С. 3.
3. Усталостные испытания при высоких частотах нагружения / В. А. Кузьменко [и др.]; под общ. ред. В. А. Кузьменко. – Киев: Навук. думка, 1979. – 336 с.
4. Настенко, А. А. Экспериментальное исследование усталости ленточных пил из различных сталей / А. А. Настенко // Совершенствование техники и технологии лесозаготовок и транспорта леса: сб. науч. тр. Архангельского государственного технологического университета посвященного 70-летию АГТУ. – Архангельск, 1999. – С. 82–89.

УДК 634.377

Симанович В. А. , Пищов М. Н. , Бельский С. Е.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РЕСУРСА РАБОТЫ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*УО «Белорусский государственный технологический университет»
Минск, Беларусь*

Применяемые в настоящее время технологические процессы характеризуются использованием разнообразных систем машин и оборудования. Их различие объясняется не только различием технологий, но и разнообразием условий эксплуатации, что требует применения оборудования различных типов и разного конструктивного исполнения.

В лесозаготовительной промышленности предпочтение как правило отдается колесным машинам, обладающими по сравнению с гусеничными лучшей управляемостью и маневренностью, более высокими скоростными показателями, эргономическими качествами и надежностью, относительно низкой металлоемкостью, меньшими затратами на обслуживание и эксплуатацию. В настоящее время к трелевочным тракторам предъявляют высокие требования по повышению: энергонасыщенности, маневренности и проходимости, которая должна обеспечивать работу трактора на лесных грунтах. Все это ведет к усложнению конструкции трактора и понижению надежности его деталей и узлов.

Проведенные нами наблюдения на лесопромышленных предприятиях показали, что повышенные динамические нагрузки на трансмиссию обеспечивают постоянные трогания с места при трелевке пачки деревьев. Установлено, что у тракторов созданных на базе МТЗ-82-1 и МТЗ-82-2 наиболее часто приходится заменять конические зубчатые пары и переднего моста, а также шестерни третьей и четвертой передачи. Данные детали, изготавливаемые из стали 25 ХТТ и проходящие цементацию выходят из строя вследствие интенсивного изнашивания.

Известно большое количество публикаций, посвященных современным методам расчета и прогнозирования надежности систем и отдельных элементов транспортных машин. Авторы каждой из приведенных работ выдвигают на первый план свое видение проблемы через призму тех изменений, с которыми они чаще всего встречались и решали задачи их технического усовершенствования с целью повышения надежности.

В настоящее время сложилась устойчивая тенденция прогнозирования надежности транспортных средств по двум направлениям. Первое направление изучает вопросы, связанные с развитием и применением методов математической и статистической теории надежности. Второе направление охватывает методы физической теории надежности, которая предполагает рассмотрение физической сущности возникновения отказов. В этом направлении физический износ является главной причиной отказов и рассматривает различные модели разрушения, основанные на изучении механических физико-механических процессов и их совокупностей, приводящих к старению материалов и изнашиванию. Задача повышения долговечности узлов и агрегатов колесных лесных машин является и экономической задачей, что в большинстве случаев вытекает из технических предложений конструктивной направленности.

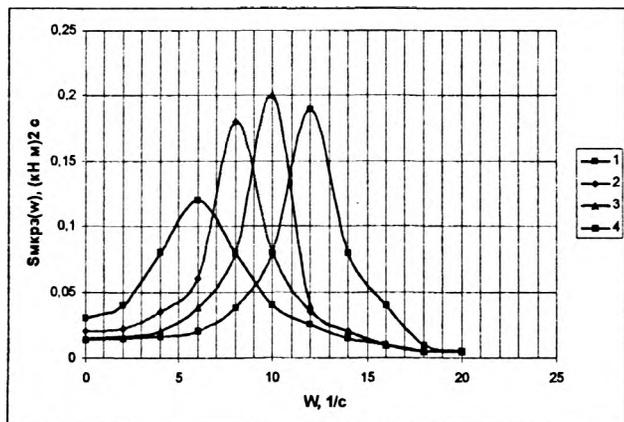


Рис. 1. Спектральные плотности крутящих моментов на задних полуосях трелевочного трактора ТТР-401 при движении на различных передачах с пачкой $V=1,4 \text{ м}^3$. 1, 2, 3, 4 – соответственно первая, вторая, третья, четвертая передачи

диняющими достоинство основных [1].

Методы расчета основных деталей и узлов специальных колесных лесных машин, заимствованы из опыта автотракторостроения и позволяют с учетом специфики работы оценить динамическую нагруженность, которая и позволяет выйти на прогнозные показатели ресурса работы. В практике расчетных исследований по прогнозированию ресурса обычно преобладают следующие методы:

- прогнозирование по результатам завершенных эксплуатационных испытаний;
- прогнозирование по результатам незавершенных эксплуатационных испытаний;
- прогнозирование по результатам ускоренных испытаний на натуральных моделях;
- прогнозирование по результатам испытаний имитационными методами на расчетных моделях;
- прогнозирование ресурса экономико-вероятностными методами.

Каждый из указанных методов прогнозирования надежности в той или иной мере зарекомендовал себя с лучшей стороны для каких-то определенных условий. Для таких деталей как шестерни, валы и другие элементы трансмиссии колесных лесных агрегатных машин ТТР-401, МЛПТ-354, МЛ-127 наиболее перспективным методом является расчет на усталостную долговечность, основанный на гипотезах суммирования повреждений, который предполагает стендовые испытания с использованием специального оборудования. Источникам внешних воздействий для колесных агрегатных машин является трелевочный волок, по которому они транспортируют заготовленную древесину.

При машинной разработке лесосек состояние их не улучшилось, а наоборот условия движения стали более затруднительными. При движении лесной машины с пачкой деревьев по лесосеке приходится преодолевать неровности различного характера, которые вызывают колебательные процессы в узлах и агрегатах трансмиссии, ходовой части и несущих системах технологического оборудования. Установлено, что величина этих нагрузок определяется динамическими параметрами трелевочной системы и характеристиками воздействия трелевочного волока на нее. Исследования авторов [2] по оценке характера внешних воздействий показали, что ряд типичных препятствий в виде пней и валежин имеют значительные геометрические размеры, достигающие в отдельных случаях высоты до 0,5 метров при небольшой протяженности по линии движения. Препятствия порогового типа являются источником экстремальных нагрузок, возникающих в агрегатах трелевочной машины. Автор работы [3] характеризует геометрические формы препятствий, встречающихся на трелевочных волоках на семь различных видов. Наиболее характерным методом аналитического описания микропрофиля является представление его в виде стационар-

ной случайной функции и задание его корреляционной функцией и спектральной плотностью. Это обстоятельство позволяет учитывать объективную картину микропрофиля и скорость передвижения транспортного средства. Микропрофиль трелевочных волоков в общем случае является нестационарной случайной функцией, что связано с общими уклонами, подъемами и волнообразностью.

Нестационарность микропрофиля существенно сказывается на среднем квадратичном значении его ординат и практически не отражается на его корреляционной функции, что позволяет при изучении воздействия производить его выравнивание, т.е. приводить к стационарности. Основной статистической характеристикой случайного процесса является корреляционная функция, по которой могут быть определены дисперсия и спектральная плотность. Для установившегося процесса характерны следующие признаки: стационарным считается процесс $X(t)$ у которого математическое ожидание $m_x(t)$ и дисперсия $D_x(t)$ являются постоянными, а нормированная корреляционная функция зависит только от разности аргументов t_1 и t_2

$$M[X(t)] = m_x(t) = const \quad (1)$$

$$D_x(t) = const \quad (2)$$

$$R_x(t_1 - t_2) = R_x(\tau) \quad (3)$$

где $M[X(t)]$ – символ математического ожидания; $X(t)$ – случайный процесс воздействия; $\tau = t_1 - t_2$ – аргумент корреляционной функции, т.е. расстояние между сечениями случайного процесса в моменты времени t_1 и t_2 . Корреляционная функция случайного процесса обычно аппроксимируется соответствующими аналитическими выражениями.

Процесс подбора аналитического выражения для описания корреляционной функции микропрофиля $R(\tau)$ и спектральной плотности $S(w)$, заданных таблицей или графиком, состоит из выбора аппроксимирующей функции и коэффициентов с соблюдением выполнения условий вытекающих из свойств корреляционных функций стационарных эргодических процессов. Аппроксимирующие аналитические выражения, полученные на имеют незначительное отличие от зависимостей полученных исследователями.

Для практической оценки динамической нагруженности необходимо знание дисперсии и спектральной плотности процесса. Обычно спектральную плотность процесса получают с помощью прямого функционального преобразования Фурье

$$S(w) = \int_{-\infty}^{+\infty} \rho(\tau) \cdot e^{-i w \tau} d\tau \quad (4)$$

Известно большое количество конечных выражений по определению спектральной плотности. Иногда они очень громоздки, но их использование для практических расчетов не вызывает затруднений так как общее число членов полинома обычно не превышает четырех. На основании проведенных замеров микропрофиля трелевочных волоков в ОАО «Плещеницлес» нами были получены спектральные плотности воздействия $Sq(w)$, которыми удобно пользоваться для практических расчетов динамических систем в частотной области. В конечном итоге была получена следующая зависимость

$$Sq(w) = 2 \cdot R(0) \sum_{i=1}^n \left[\frac{2 \cdot \alpha_i \cdot A_i \cdot (\alpha_i^2 + \beta_i^2)}{\alpha_i^2 (\alpha_i^2 + 2 \cdot w^2) + (\beta_i^2 + 2 \cdot \alpha_i^2) + w^2 (w^2 + 2 \cdot \beta_i^2)} \right] \quad (5)$$

где $R(0)$ – корреляционная функция процесса при $\tau=0$.

Полученные по указанной формуле спектральные плотности для различных скоростей движения подтверждают предположение о том, что спектральная плотность воздействия является функцией убывающей. С увеличением скорости движения колесных лесных машин значения $Sq(w)$ смещаются в сторону большого значения частоты, а их абсолютные величины увеличиваются. Особенности составляющих микропрофиля трелевочных волоков ограничивают использование скоростных возможностей колесной лесной техники [4].

Опыт эксплуатации машин ТТР-401, МЛ-127 показал, что рабочие скорости на трелевке зависят от подготовки волоков и при благоприятных условиях работы составляют 5–12 км/ч. Такой широкий диапазон объясняется тем, что при больших расстояниях трелевки скорость возрастает

тает, а при расстоянии 80–120 м колесные машины не могут использовать свои скоростные возможности.

Следующим этапам исследований являлась разработка расчетной модели колесной трелевочно–транспортной системы, позволяющей учитывать внутренние возмущающие воздействия от источника заданной ограниченной мощности, каким является двигатель внутреннего сгорания. На первом этапе исследований раздельно рассматривались две динамические системы и их поведение в эксплуатационных режимах: колесный трактор как активная система колеса, которой реализуют крутящий момент в касательную силу тяги и взаимосвязь пачки деревьев с базовым трактором через связующий элемент технологического оборудования. Это позволило установить частотные диапазоны двух систем и классифицировать колебательные явления по их величине. Последующим этапом являлось соединение представленных подсистем в единую с целью взаимовлияния их друг на друга. Этот этап исследований позволил выявить влияние параметров пачки и конструкции подвеса на величины уровня динамической нагруженности.

Оценка динамической нагруженности лесного колесного тягача проводилась по величинам спектральной плотности крутящих моментов на полуосях. На рис. 1 приведены спектральные плотности крутящих моментов на задних полуосях трелевочного трактора ТТР–401 на 2, 3, 4 и 5 передачах с пачкой хлыстов объемом 1,4 м³ при движении по трелевочному волоку.

Характер проявления кривых приблизительно одинаков. С возрастанием скорости максимумы частот с увеличением номера передачи сдвигаются в сторону более высоких частот. Так для второй передачи диапазон максимальных значений $S_{Mкр3}(w)$ находится в частотном диапазоне 4, 5 – 7 с⁻¹, для 5 передачи частотный диапазон находится в пределах 11 – 14 с⁻¹.

В последующем для решения задачи по определению долговечности деталей трансмиссии использовалась методика, изложенная в работе [5].

На этапе расчетных исследований определялись характеристики нагрузочного режима: среднее квадратичное отклонение момента $\sigma_{мк}$, число циклов W_0 , число максимумов W_m на км пути, коэффициент ширины спектра E и средний момент $M_{ср}$.

Это позволило по параметрам нагрузочного режима и кривой усталости определить средний ресурс по формуле основного уравнения гипотезы суммирования повреждений.

$$\bar{L} = \frac{N_{сум}}{W_{ц}} = \beta \left[W_{ц} \int_{\tau_{мин}}^{\tau_{макс}} \frac{f(\tau)}{N(\tau)} d\tau \right]^{-1} \quad (6)$$

где \bar{L} – ресурс деталей в км пробега; $N_{сум}$ – общее число циклов до разрушения; $f(\tau)$ – функция плотности распределения амплитуд напряжения в детали; β – величина, зависящая от материала

детали и условий ее нагружения; $W_{ц}$ – среднее число циклов на 1 км пробега; $\tau_{мин}$ и $\tau_{макс}$ – соответственно нижняя и верхняя граница напряжений, участвующих в накоплении усталостного повреждения; τ – текущее значение напряжения.

На основании изложенной методики определения ресурса деталей в 2004 – 2007 годах в ОАО «Плещеницлес» и «Логойском лесхозе» были получены обобщающие результаты исследований надежности колесных трелевочных тракторов ТТР–401 и погрузочно–транспортной машины МЛПТ–354.

Эксплуатационная оценка работы колесных лесных машин как сложных динамических систем может быть проведена на основании учета комплексных составляющих, полученных с учетом внешних и внутренних факторов переходных и установившихся режимов эксплуатации, позволяющих правильно разграничить их влияние на природу возникновения динамических процессов, описываемых законами статистической динамики. Предложенная методика по эксплуатационной оценке работы может быть распространена на транспортные средства и оборудование, работающие в лесных условиях эксплуатации. Приведенные данные могут служить исходным материалом при проектировании новых лесозаготовительных машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков А. В. Теория лесных машин. – Мн.: БГТУ, 2001. – 630 с. 2. Бочаров Н.Ф., Гусев В.И., Семенов В.М., и др. Транспортное средство на высокоэластичных движетелях. –

М.: Машиностроение, 1974. – 208 с. 3. Галицкий Е.Н. Исследование динамики движения колесного трелевочного трактора на неустановившихся режимах: Дисс. ... канд.техн.наук. – М., 1971. – 21 с. 4. Симанович В.А., Исаченков В.С. Разработка приведенной расчетной модели «колесный тягач–прицепной модуль–пачка деревьев» // Труды БГТУ. Вып. XIII. Серия II Лесная и деревообрабатывающая промышленность, 2005. – С. 138 – 142. 5. Аникин, Н.И. Снижение динамической нагруженности и повышение долговечности трансмиссии лесопромышленных колесных тракторов на основе анализа динамических процессов в характерных условиях эксплуатации: дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1988. – 26 с.

УДК 378.14:377

Дулевич А.Ф., Осоко С.А.

РОЛЬ КУРСОВОГО ПРОЕКТА В РАЗВИТИИ КОММУНИКАТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ

*УО «Белорусский государственный технологический университет»
Минск, Беларусь*

Проведя анализ должностей, которые занимают выпускники нашего ВУЗа, можно сделать вывод, что работа большинства из них связана с управлением коллективами. Более того сложность задач, стоящая перед современным производством, показывает невозможность их решения одним человеком. К сожалению, в учебных планах специальностей отсутствуют дисциплины, которые ставят целью научить человека стать частью коллектива и занимать лидирующие позиции в нем.

В этой связи необходимо в рамках профессиональной подготовки научить студента решать возникающие задачи в составе трудового коллектива, т.е. с формированием в нем коммуникативные способности.

Б. Д. Парыгин употребляет понятие «включенность в деятельность», отмечая, что эта включенность «характеризуется определенной степенью соответствия или несоответствия внутреннего, психического состояния, настроения личности в целом тем требованиям, которые предъявляют ей конкретные условия протекания той или иной деятельности». Исследования показывают, что далеко не всегда официально установленные цели коллектива совпадают с тем направлением, которое, по мнению ряда его членов, должно быть главным.

Эффективность выполнения работником должностных обязанностей обусловлена также и особенностями его самооценки собственного ролевого поведения в системе управления. Встречаются ситуации, когда субъективное понимание и оценка личностью отдельных элементов своей должностной роли не полностью соответствуют требованиям, предъявляемым со стороны коллег, товарищей по работе.

Анализ особенностей понимания личностью своей должностной роли и самооценок ее ролевого поведения в сочетании с определенными корректирующими мероприятиями может быть использован с целью оптимизации управления.

Для успешного выполнения организационных ролей необходимо не только знание и понимание официальных предписаний, но также моральная готовность работника принять данную роль, и, наконец, его последующая активность. Тогда официальные ролевые предписания подкрепляются соответствующими требованиями человека к самому себе.

При этом следует особенно подчеркнуть значение ответственности как свойства личности, определяющего ее отношение к своим функциональным обязанностям в производственном коллективе. «Ответственность служит здесь средством внутреннего контроля (самоконтроля) и внутренней регуляции (саморегуляции) деятельности личности, которая выполняет должное по своему усмотрению, сознательно и добровольно». Ответственность личности всегда носит социальный характер, поскольку представляет собой ориентацию на исполнение определенных социальных требований, норм и образцов поведения в соответствии с ее местом в системе общественных отношений.

На кафедре «Детали машин и ПТУ» на протяжении нескольких лет ведется работа по формированию коммуникационных способностей студентов. Из всех видов занятий запланированных по курсу «Детали машин» лучший эффект в достижении этой цели, на наш взгляд, достигается при выполнении курсового проекта коллективом из нескольких студентов.

Руководитель курсового проекта формирует творческие коллективы, которым выдается тема проекта. Создание коллектива является одним из решающих факторов успешного выполнения про-

екта, т.к. необходимо учитывать не только уровень подготовки студентов, но и их личностные качества (симпатии и антипатии). Опыт показал слабую эффективность работы группы, если все ее члены имеют одинаковый уровень знаний (высокий, средний или низкий). Вот почему в идеальном случае коллектив состоит из 3 человек разного уровня подготовки.

Процесс выполнения проекта состоит из нескольких этапов, за выполнение которого отвечает руководитель этапа, выбираемый из состава коллектива работающего над проектом. При этом каждый член коллектива должен быть руководителем не менее чем одного этапа. Цель этого этапа подготовить студента к возможности освоения в той или иной профессионально-функциональной роли, дать навыки адаптированности личности к социально-производственным условиям труда. Адаптация основывается не только на пассивно-приспособительных, но и на активно-преобразующих связях личности с окружающей средой, представляя собой неразрывное единство тех и других форм связи. Как показали исследования Е. А. Климova, в ходе адаптации складывается соответствующий индивидуальный стиль деятельности личности, что позволяет ей выполнять с определенным успехом свою профессионально-функциональную роль.

Особенности трудовой деятельности и сложившегося индивидуального стиля работника, влияя на свойства его личности, могут иногда приводить к так называемой "профессиональной деформации". Речь идет о тех случаях, когда профессиональные стереотипы действий, отношений становятся настолько характерными для человека, что он никак не может и в других социальных ролях выйти за рамки сложившихся стереотипов, перестроить свое поведение сообразно изменившимся условиям. Как показывают экспериментальные данные М. Л. Гомелаури, порой те или иные сложившиеся профессиональные установки становятся барьером для принятия новой роли даже в воображаемой ситуации.

Руководитель этапа распределяет обязанности и устанавливает объем работ по согласованию с членами коллектива. При выполнении этой работы студенты зачастую используют базовую парадигму, которая подходит к решению любой задачи: «разделяй и властвуй». К сожалению, буквальное следование этому макиавеллевскому принципу по-прежнему предполагает долгий путь к решению задачи. Самым важным является то, каким образом осуществляется это разделение.

Нашей целью при декомпозиции обязанностей и объема работ является деление на модули, которые в свою очередь представляют собой небольшие задачи, взаимодействующие друг с другом по хорошо определенным и простым правилам. Если мы достигнем этой цели, то разработка отдельных модулей может осуществляться различными людьми независимо друг от друга, без необходимости общения друг с другом, при этом все эти объединенные, вместе модули будут функционировать правильно. Помимо этого в процессе модификации полученного решения появится возможность корректировать отдельные модули без необходимости исправления других.

При декомпозиции задачи мы разбиваем ее на ряд подзадач так, что, во-первых, каждая подзадача имеет один и тот же уровень рассмотрения; во-вторых, каждая задача может быть решена независимо и, в-третьих, полученные решения могут быть объединены вместе, позволяя решить исходную проблему.

Предложенный план распределения обязанностей утверждается руководителем курсового проекта. По результатам выполнения этапа каждому студенту выставляется оценка, которая учитывает личный вклад каждого в решение, полученное на этапе.

Важной характеристикой деятельности личности, выполняющей те или иные социальные роли в системе управленческих отношений, является уровень ее притязаний. Обычно уровень притязаний определяется как степень трудности цели, к достижению которой стремится данная личность.

Каждый человек, будучи субъектом каких-либо видов деятельности, всегда ставит перед собой определенные в контексте соответствующей деятельности цели. При достижении своих целей человек, как правило, испытывает чувство удовлетворения. Вот почему тот или иной уровень притязаний личности во многом обусловлен ее стремлением переживать удачу и избегать неудачи. В целом, известное несоответствие между уровнем притязаний и возможностями его непосредственного достижения "является существенным моментом в развитии личности: несоответствие мобилизует нашу деятельность, заставляет нас напрягаться, нас активизирует".

Процесс выполнения курсового проекта заканчивается его защитой комиссии из нескольких преподавателей в присутствии студенческой группы. Защита состоит из докладов руководителей этапов и ответов на вопросы, которые могут задавать как члены комиссии, так и присутствующие студенты. Таким образом, у студентов формируются навыки и умения четко формулировать и излагать мысли.

Итоговая оценка выставляется с учетом личного вклада каждого члена бригады на всех этапах выполнения проекта.

Опыт проведения курсового проектирования по предлагаемой методике показал, что формирование тем курсового проекта отличается от классического. В данном случае упор делается на нахождение оптимального решения при заданных ограничениях, что приводит к активизации мыслительной деятельности студента. Не секрет, что при выполнении традиционного проекта студент работает по заданному алгоритму. Результатом этого является слабая мыслительная деятельность студента, т.к. он выполняет работу по инструкции, а это не способствует активизации самостоятельной деятельности студентов. Смещение акцентов в задании приводит к тому, что у студентов формируются не только знания, но и умения по их применению.

Данный подход к организации курсового проектирования выявил несколько причин осложняющих работу над проектом. Во-первых, возникают сложности с формированием творческих коллективов из-за отсутствия априорной информации о студентах, от других преподавателей ранее изучаемых дисциплин. В результате, приходится в очень короткие сроки составлять свое мнение о студентах, что не позволяет всегда корректно оценить их личностные качества.

Во-вторых, у студентов отсутствует преемственность знаний, что затрудняет использование знаний, полученных при изучении других дисциплин.

В-третьих, сложность выставления итоговой объективной оценки из-за различного объема и качества выполнения работы по проекту каждым членом коллектива. Поэтому руководитель проекта должен обладать высокими профессиональными навыками.

В-четвертых, сложность в управлении самостоятельной работой студентов и контролем ее выполнения. От руководителя требуются навыки разбудить в студенте желание постигать новое, т.е. развивать свои творческие способности.

К преимуществам данного подхода относится комплексность решаемых задач. Во-первых, студент кроме получения знаний и практических навыков по конструированию заданного механизма учится выбирать и отстаивать свои решения.

Во-вторых, он получает опыт работы в коллективе, руководства коллективом и отвечать за принятые решения.

УДК 621.01

Гарах В.А., Астахов Э.И.

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ПОДШИПНИКОВ УРАВНОВЕШЕННОГО РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА СТЕНДА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Объектом исследования является рычажный исполнительный механизм стенда [1] для испытания гусениц одной из моделей тракторов МТЗ. Исполнительный механизм стенда предназначен для преобразования вращательного движения кривошипа 1 в возвратно-качательное движение коромысел 3, 3', 3'' с испытуемыми гусеницами через шатун 2 и штангу-раму 6 (рисунок 1) относительно корпуса 4.

Ранее в работе [2] авторами разработана методика динамического анализа движения неурав-

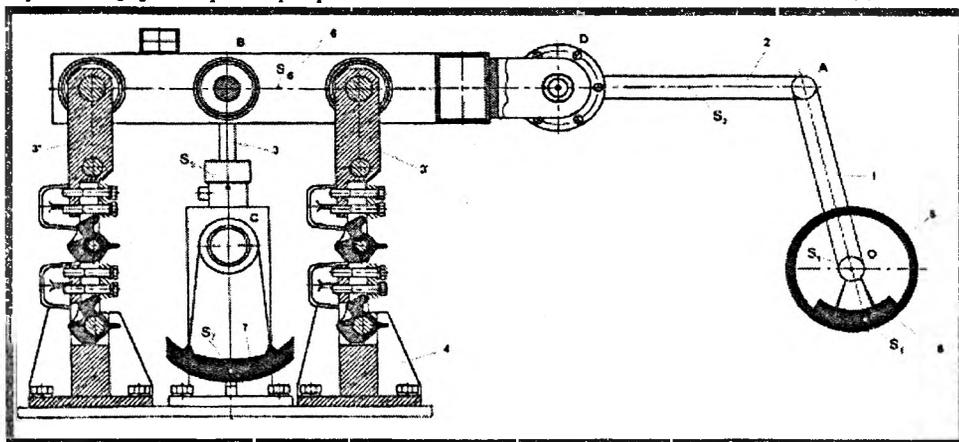


Рисунок 1. Уравновешенный рычажный механизм стенда

новешенного механизма стэнда под действием момента сопротивления M_3 на коромысле 3 и движущего момента $M_5 \approx \text{const}$ (при установившемся движении) на кривошипе 1 с учетом действительных масс m_i и осевых моментов инерции J_{Si} звеньев неуравновешенного механизма. Показано, что в неуравновешенном механизме довольно резко меняется угловая скорость ω_i и угловое ускорение ε_i ведущего кривошипа 1, и предложено для улучшения равномерности вращения кривошипа 1 установить добавочный маховик. В работе [3] авторами разработана методика численного моделирования расчета динамических реакций в подшипниках механизма стэнда от действия момента сопротивления M_3 , сил веса G_i , инерционных сил F_{ui} и моментов M_{ui} звеньев

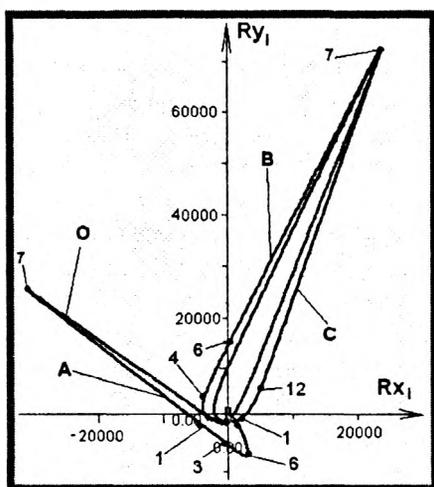


Рисунок 2. Полярные диаграммы нагруженности подшипников неуравновешенного механизма

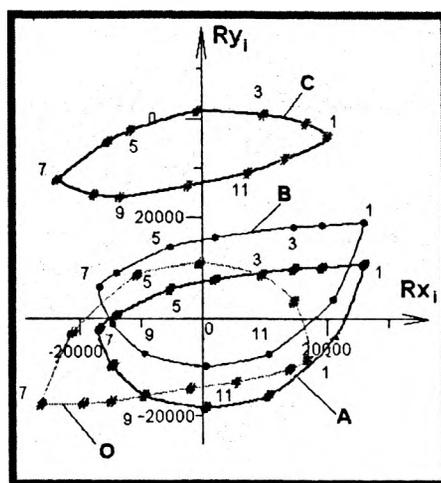


Рисунок 3. Полярные диаграммы нагруженности неуравновешенного механизма с маховиком

Задачей работы является разработка схемы уравновешенного механизма стэнда и анализ нагруженности его подшипников. Полученные полярные диаграммы нагруженности подшипников исходного неуравновешенного механизма (рисунок 2) показывают значительные максимальные реакции R_O, R_A, R_B, R_C в крайнем положении 7, достигающие 71725 Н и резкая вытянутость этих диаграмм по оси 7-го положения. Это приводит при работе к неравномерной нагруженности подшипников и развальцовке их в указанном направлении.

Для улучшения равномерности вращения кривошипа 1 предусматривается закрепление на его валу маховика 5 (рисунок 1). По заданному коэффициенту неравномерности $\delta = 0.02$ методом Мерцалова Н.И. рассчитан необходимый момент инерции маховика $J_M = 108.3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ (при $\omega_{1,\varphi} = 31.4 \frac{\pi \delta}{\rho}$) по методике работ [2] и [4], а затем по методике работы [3] рассчитаны реакции в подшипниках механизма с маховиком.

Полярные диаграммы нагруженности подшипников для этого варианта показаны на рисунке 3. Как видно, в данном случае кривые диаграмм стали более пологими и близкими к овальным, максимальные реакции уменьшились до 45385 Н , что приводит к более равномерному износу подшипников и повышению их долговечности.

Для дальнейшего уменьшения нагруженности подшипников предлагается провести статическое уравновешивание механизма стэнда, закрепив один противовес 8 массой m_n на продолжении кривошипа 1, а другой противовес 7 массой m_{n3} на основном коромысле 3 (рисунок 1). Массы противовесов m_n рассчитаны по методике литературы [4], заменяя статически массы звеньев m_i замещающими массами m_i' и m_i'' в подшипниках i -го звена по следующим формулам:

$$m_1 = m'_{1,O} + m''_{1,A}, \text{ где } m'_{1,O} = m_1 \cdot \frac{l_{AS_1}}{l_{OA}};$$

$$m_2 = m'_{2,A} + m''_{2,D}, \text{ где } m'_{2,A} = m_2 \cdot \frac{l_{S_2}}{l_{AD}};$$

$$m_3 = m'_{3,B} + m''_{3,C}, \text{ где } m'_{3,B} = m_3 \cdot \frac{l_{BS_3}}{l_{BC}};$$

$$m_{n1} = \frac{(m''_{1,A} + m'_{2,A}) \cdot l_{OA}}{l_{O,S_8}}, \quad m_{n3} = (m_6 + m''_D + 3 \cdot m'_{3,B}) \cdot \frac{l_{CB}}{l_{CS_7}}.$$

При параметрах исходного неуравновешенного механизма:

- размеры: $l_{OA} = 0.0742\mu$; $l_{AB} = 0.739\mu$; $l_{BC} = 0.3165\mu$; $l_{OS_1} = 0\mu$; $l_{AS_2} = 0.3695\mu$;
 $l_{BS_3} = 0.1583\mu$; $l_{CS_7} = 0.3165\mu$; $l_{CS_8} = 0.1\mu$;

- массы: $m_1 = 8.9\text{кг}$; $m_2 = 21.9\text{кг}$; $m_3 = 12.5\text{кг}$; $m_6 = 70.9\text{кг}$;

получены массы противовесов: $m_{n1} = 8.13\text{кг}$; $m_{n3} = 119.35\text{кг}$.

С учетом этих противовесов и ранее рассчитанного маховика по методике работ [2], [3] произведен расчет на компьютере действительных ω_1 и ε_1 кривошипа и реакций R_O, R_A, R_B, R_C в подшипниках. Полярные диаграммы изменения этих реакций показаны на рисунке 4.

Как видно, в этом случае кривые диаграмм стали более плавными и ориентированы к центрам подшипников, максимальная реакция уменьшилась до 33158 Н . Диаграммы подшипников О и А стали близки к окружностям, что обеспечит более равномерную нагрузку этих подшипников по всем направлениям. Диаграммы подшипников В и С более вытянуты по горизонтальной оси X, поэтому для улучшения равномерности нагруженности этих подшипников следует провести добавочную оптимизацию параметров противовеса 7 на коромысле 3 (массы m_{n3} , расстояния l_{CS_7} , угла α_3).

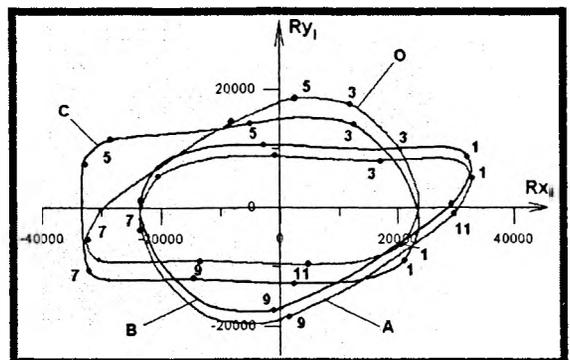


Рисунок 4. Полярные диаграммы нагруженности подшипников уравновешенного механизма (с маховиком)

ЛИТЕРАТУРА

1. Стенд для испытания гусениц. Инструкция по эксплуатации. / Под ред. Ч.И. Ждановича: - БНТУ, 2005.
2. Гарах В.А., Астахов Э.И. Динамический анализ движения рычажного механизма стенда для испытания гусениц // Теоретическая и прикладная механика. – 2007. – Вып.22, с. 241-246.
3. Гарах В.А., Астахов Э.И. Динамический анализ нагруженности подшипников рычажного механизма стенда для испытания гусениц // Машиностроение. Республ. межведомств. сб. научных трудов. – 2007. – Вып.23, с. 307-311.
4. Теория механизмов и машин: Учебник для вузов / К.В. Фролов, А.К. Мусатов и др.: Под ред. К.В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1987 – 496с.

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ ПОРШНЯ ГИДРОПРИВОДА НОЖНИЧНОГО ПОДЪЕМНИКА

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В стесненных складских помещениях, в многоэтажных гаражах и в многоуровневых производственных помещениях широко используются стационарные, передвижные и самоходные ножничные подъемники, в которых подъем и опускание рабочей площадки осуществляется шарнирно-рычажным антипараллелограмным механизмом, приводимым одним или несколькими гидроцилиндрами [1]. Как показал анализ существующих публикаций по грузоподъемной технике, в литературе отсутствует методика расчета динамики подъема таких приводов. Задачей работы является разработка методики динамического анализа движения гидропривода ножничного подъемника.

Предлагаемый шарнирно-рычажный механизм привода площадки представлен на рисунке 1. Он состоит из четырех секций антипараллелограммов 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6, 7 и 8, образующих статически определимые структурные группы (группы Ассура). Вверху шарнирно присоединена поднимаемая площадка 9 с полезным грузом Q , а нижняя секция 1, 2 шарнирно соединена с рамой O .

Левые концы рычагов 2 и 7 снабжены роликами 10, которые скользят в направляющих 13. Для привода площадки 9 на раме шарнирно закреплен гидроцилиндр 12, который штоком 11 подымает в точке B первую нижнюю секцию механизма (рисунок 2). При размерах $l_{AD} = l_{BC} = l_3 = l_4 = l_5 = l_6 = l_7 = l_8 = l$ и

$$l_{AS_1} = l_{CS_2} = l_{BS_3} = l_{CS_4} =$$

$$\dots = l_{NS_7} = l_{MS_8} = \frac{1}{2} l \text{ платформа 9 под-}$$

нимается поступательно вверх под действием движущей силы F_D на поршне 11. Весь механизм привода 1, 2, 3, ..., 12 имеет одну степень свободы.

Для динамического анализа движения механизма по методике курса «Теория механизмов и машин» [2] составлена динамическая модель с поступательным звеном приведения (рисунок 2), в качестве которого принят поршень гидроцилиндра. Силовым параметром динамической модели является обобщенная (или приведенная) сила F_n , которую представим в виде:

$$F_n = F_n^\delta + F_n^p,$$

где F_n^δ - приведенная движущая сила;

F_n^p - приведенная сила сопротивления.

Инерционным параметром модели является обобщенная (приведенная) масса m_n . Обобщенной координатой q является линейное перемещение S_n поршня, т.е. $q = S_n$.

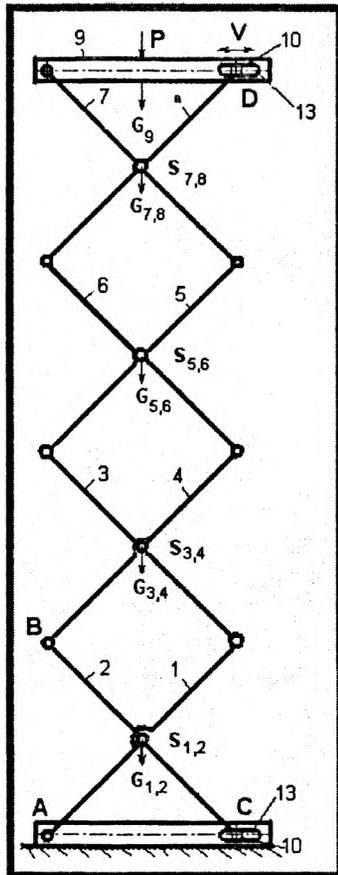


Рисунок 1. Механизм привода подъемной площадки, схема сил

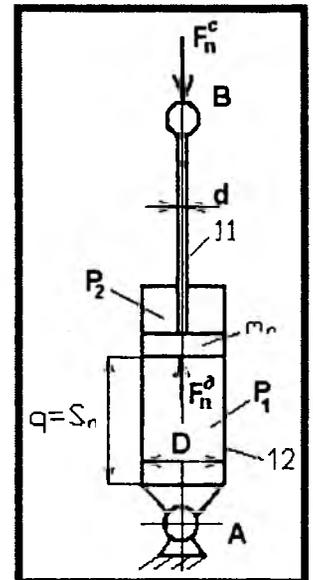


Рисунок 2. Динамическая расчетная модель

Из дифференциального уравнения Лагранжа второго рода для рассматриваемой модели с одной степенью свободы получим дифференциальное уравнение движения массы m_n поршня 11:

$$F_n = F_n^\delta + F_o^p = m_n \cdot \frac{d_2 S_n}{dt^2} + \frac{V_n^2}{2} \cdot \frac{dm_n}{dS} \quad (1)$$

Приведенная масса m_n выражается из равенства кинетических энергий T_i :

$$T_{nH} = \sum T_i = T_{H} + T_{1,2} + T_{3,4} + T_{5,6} + T_{7,8} + T_9,$$

$$\frac{m_n \cdot V_n^2}{2} = \frac{m \cdot V_H^2}{2} + \frac{m_{1,2} \cdot V_{S_{1,2}}^2}{2} + \frac{m_{3,4} \cdot V_{S_{3,4}}^2}{2} +$$

$$+ \frac{m_{5,6} \cdot V_{S_{5,6}}^2}{2} + \frac{m_{7,8} \cdot V_{S_{7,8}}^2}{2} + \frac{m_9 \cdot V_{S_9}^2}{2},$$

где V_{S_i} – скорости центров масс S_i звеньев;

m_i – массы звеньев (моментами инерции J_{S_i} пренебрегаем).

Откуда $m_n = m_H + m_{1,2} \cdot (U_{S_1})^2 + m_{3,4} \cdot (U_{S_4})^2 + m_{5,6} \cdot (U_{S_6})^2 + m_{7,8} \cdot (U_{S_8})^2 + (m_9 + m_Q) \cdot U_{9,H}^2$,

где $U_{i,H} = \frac{dS_i}{dS_H}$ – передаточные функции (аналоги скоростей) центров масс S_i звеньев.

Для четырехсекционного привода шарнирно-рычажного механизма на рисунке 1 получено:

$$U_{S_2} = 0,5; U_{S_4} = 1,5; U_{S_6} = 2,5; U_{S_{7,8}} = 3,5; U_{S_{9,H}} = 4.$$

Тогда $m_n = m_H + \frac{1}{4} \cdot m_{1,2} + 2,25 \cdot m_{3,4} + 6,25 \cdot m_{5,6} + 12,25 \cdot m_{7,8} + 16 \cdot (m_9 + m_Q)$;

При равных массах рычагов $m_{1,2} = m_{3,4} = m_{5,6} = m_{7,8}$

$$m_n = m_H + 21 \cdot m_{1,2} + 16 \cdot (m_9 + m_Q) = const. \quad (2)$$

Поскольку $m = const$, то дифференциальное уравнение (1) принимает более простой вид:

$$F_n = F_n^\delta + F_o^p = m_n \cdot \frac{d_2 S_n}{dt^2} = m_n \cdot a_n, \quad (3)$$

где $a_n = \frac{dV_n}{dt} = \frac{d_2 S_n}{dt^2}$ – линейное ускорение поршня 11.

Приведенная движущая сила на поршне гидроцилиндра:

$$F_n^\delta = P_1 \cdot S_1;$$

где P_1 – избыточное давление в напорной полости гидроцилиндра.

Приведенную силу сопротивления F_n^c представим следующим образом:

$$F_n^c = F_{n,t} + F_t + P_2 \cdot (S_1 - S_\psi);$$

где $F_{n,t}$ – приведенная сила технологического сопротивления;

F_t – приведенная сила трения;

P_2 – давление в сливной полости гидроцилиндра;

$S_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$, $S_\psi = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ – площадь поршня и штока соответственно.

Приведенную силу технологического сопротивления $F_{n,t}^c$ определим из равенства элементарных работ dA_i от силы Q поднимаемого груза и сил веса G_i звеньев (см. рис. 1):

$$dA_{n,i} = F_{n,i}^c \cdot dS_i = \sum dA_i = (Q + G_9) \cdot dS_9 + \sum G_i \cdot dS_i ;$$

$$F_{n,i}^c = (Q + G_9) \cdot U_{S_9} + G_{1,2} \cdot U_{S_2} + G_{3,4} \cdot U_{S_4} + G_{5,6} \cdot U_{S_6} + G_{7,8} \cdot U_{S_8} .$$

При одинаковых силах веса $G_{1,2} = G_{3,4} = G_{5,6} = G_{7,8}$, получим

$$\begin{aligned} F_n^c &= 4 \cdot (Q + G_9) + \frac{1}{2} \cdot G_{1,2} + \frac{3}{2} \cdot G_{3,4} + \frac{5}{2} \cdot G_{5,6} + \frac{7}{2} \cdot G_{7,8} = \\ &= 4 \cdot (Q + G_9) + 8 \cdot G_{1,2} = const \end{aligned} \quad (4)$$

Предполагая движущую силу $F_\delta > F_n^c$ на поршне постоянной, получим из уравнения (2) зависимость ускорения $a_{n,p}$ поршня:

$$a_{n,p} = \frac{d_2 S}{dt^2} = \frac{F_n^\delta - F_n^c}{m_n} = \frac{F_n^\delta - 4 \cdot (Q + G_9) + 8 \cdot G_{1,2}}{m_{II} + 21 \cdot m_{1,2} + 16 \cdot (m_9 + m_Q)} = const. \quad (5)$$

Т.е. движение является равноускоренным с ускорением $a_{n,p} = const$ на участке разгона со временем t_p , когда $F_n^\delta > F_n^c$. Далее подъем осуществляется с постоянной скоростью $V_n = a_{n,p} \cdot t_p$ при $F_n^\delta = F_n^c$ за время t_λ . И далее на участке торможения со временем $t_T = t_p$ скорость V уменьшается от V_n до 0 при отрицательном ускорении $a_{n,T} = -\frac{F_n^\delta - F_n^c}{m_n}$. Полное время подъема $t_n = t_p + t_\lambda + t_T$.

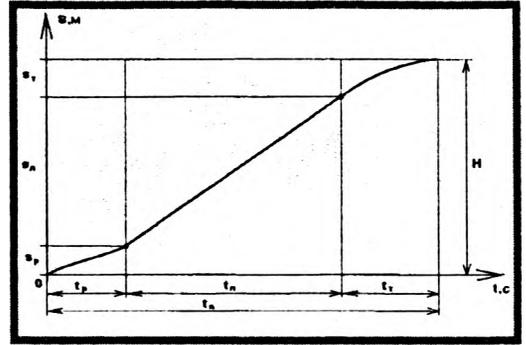


Рисунок 3. График перемещения штока поршня

При заданной высоте подъема площадки H и общем времени подъема t_n при условии $t_p = t_T = k_p \cdot t_n$ запишем выражение перемещения:

$$H = S_n = S_p + S_\lambda + S_T \quad (6)$$

Так как при разгоне и торможении при законе постоянного ускорения $S_p = S_T = \frac{a_{n,p} \cdot t_p^2}{2}$, а на линейном участке при $V_p = a \cdot t_p = const$, $S_\lambda = V_p \cdot t_\lambda$, то с учетом этого будем иметь:

$$H = 2 \cdot \frac{a_{n,p} \cdot t_p^2}{2} + a_{n,p} \cdot t_\lambda \cdot t_p = a_{n,p} \cdot k_p \cdot t_n (k_p \cdot t_n + (1 - 2 \cdot k_p) \cdot t_n) \quad (7)$$

Принимая коэффициент при разгоне $k_p < 0.5$, определим из (7) величину необходимого ускорения $a_{n,p} = const$, обеспечивающего заданные H и t_n :

$$a_{n,p} = \frac{H}{t_p^2 + t_p \cdot t_\lambda} = \frac{H}{k_p^2 \cdot t_n^2 + k_p \cdot t_n^2 \cdot (1 - 2 \cdot k_p)} = \frac{H}{k_p \cdot t_n^2 \cdot (1 - k_p)} \quad (8)$$

Далее из выражения (5) определяем движущую силу поршня гидроцилиндра:

$$F_n^\delta = F_n^c + a_{n,p} \cdot m_p$$

Для разрабатываемого подъемника при $H = 4\mu$, $t_n = 30c$, $k_p = 0.2$ и $Q = 10000H$ получено $a_{n,p} = 0.0278\mu/\rho^2$, $F_n^\delta = 24075H$. По силе F_n^δ и ходу $h = 1\mu$ штока поршня впоследствии определяются параметры гидропривода по методике литературы [3]

Динамическая составляющая $F_{dyn} = m_n \cdot a_{n,p} = 565H$ в данном варианте по сравнению со статической составляющей $F_{n,T}^c = 23510H$ сравнительно невелика, что позволит в дальнейшем уменьшить время подъема площадки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барсов И.П. Строительные машины и оборудование. - М., Стройиздат., 1986. - 511с. 2. Теория механизмов и машин: Учебник для вузов / К.В. Фролов, А.К. Мусатов и др.: Под ред. К.В. Фролова. - М.: Высшая школа, 1987. - 496с. 3. Левитский Н.И. Теория механизмов и машин. - М.: Наука. гл. ред. физ.-мат. лит.. 1990. - 592с.

УДК 621.825.7.088.8

Бондаренко А.Г., Шпилевский В.И., Ефимцев В.С.

ШИННО-ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ МУФТА

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Шинно-пневматическая муфта предназначена для передачи крутящего момента.

Позволяет регулировать величину передаваемого крутящего момента, допускает местное и дистанционное плавное включение и выключение во время работы, компенсирует значительные смещения валов, обладает высокими упругими и демпфирующими свойствами.

Рекомендуется для применения в буровых и судовых установках, экскаваторах, конвейерах, землеройных машинах, кузнечнопрессовом оборудовании, шахтных подъемниках: и т.д.

Основным элементом шинно-пневматической муфты (рисунок 1) является резинокордный баллон, непосредственно воспринимающий действие передаваемого окружного усилия. Баллон содержит эластичную резиновую камеру (1), предназначенную для обеспечения герметичности. Он армирован каркасом, состоящим из внутреннего (2) и наружного (3) слоев нитей, завулканизированных в резиновый массив, образованный наружным (4) и внутренним (5) протекторными кольцами. Каждая из нитей наружного слоя со стороны, прилегающей к внутреннему протекторному кольцу, выполнена по всей длине с замкнутыми петлями (6), охватывающими рифленые втулки (7) с разрезами (8), завулканизированные в тело внутреннего протекторного кольца. Во втулки вставлены штифты (9), на которых шарнирно закреплены фрикционные колодки (10) шинно-пневматической муфты.

При подаче давления внутрь герметичной камеры каркас деформируется, благодаря чему фрикционные колодки прижимаются к барабану (на рисунке не показан). При передаче баллоном крутящего момента окружное усилие передается через наружное протекторное кольцо каркасу, где воспринимается в основном продольными нитями. Нити за счет наличия петель передают окружное усилие втулкам и далее через вставленные в них штифты - фрикционным колодкам. При этом за счет наличия жесткой механической связи между каркасом и штифтами окружное усилие от каркаса передается непосредственно штифтам. Резина внутреннего протекторного кольца, раз-

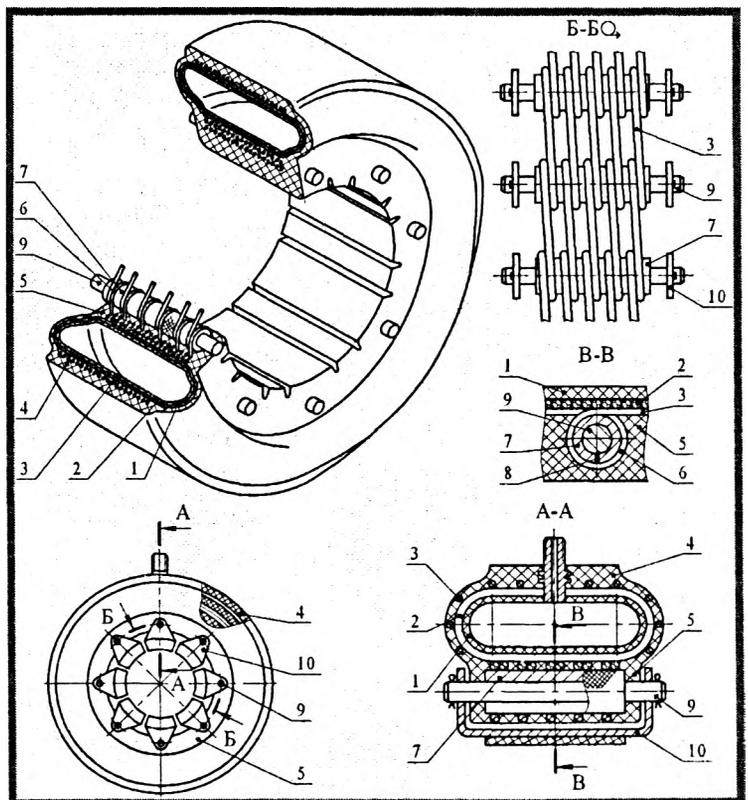


Рисунок 1 - Конструкция шинно-пневматической муфты

груженная от усилий, в течение длительного времени сохраняет свою целостность и не разрушается, благодаря чему баллон длительное время сохраняет работоспособность.

В настоящей конструкции баллона шинно-пневматической муфты отдельные участки спирального элемента (петли) образованы самим каркасом, что исключает передачу окружного усилия через весьма непрочные резиновые слои и обеспечивает высокую несущую способность и долговечность муфты.

Наличие втулки с отверстием, для штифта снижает значение напряжений (концентрацию напряжений). При этом облегчается сборка-разборка баллона для замены колодок, поскольку извлечение штифта из втулки намного проще, чем из резинового массива. Последнее связано с меньшим коэффициентом трения в паре сталь-сталь по сравнению с парой сталь-резина. При частых разборках отверстие втулки в отличие от резинового не изнашивается, надежность крепления штифтов в баллоне не ухудшается. Более того, при передаче баллоном окружного усилия петли нитей сжимают втулки, обеспечивая надежную фиксацию в них штифтов.

При неработающей муфте, втулки за счет своей упругости слегка разжимаются, это позволяет при необходимости легко извлекать штифты.

Все перечисленное обеспечивает повышенные показатели надежности и долговечности шинно-пневматической муфты по сравнению с существующими.

Для муфты, если допускается пробуксовка при пуске, можно принимать:

$$T_{\text{пуск}} \cdot i < [T_M] < T_{\text{нагр}} / i_1,$$

где $T_{\text{пуск}}$ - пусковой момент двигателя; i - передаточное отношение привода от двигателя к муфте;

$[T_M]$ - допускаемый момент муфты; $T_{\text{нагр}}$ - крутящий момент на рабочем органе; i_1 - передаточное отношение привода от муфты к рабочему органу.

Допускаемый момент муфты [1] $[T_M] = (1,5 \dots 2) \cdot T_{\text{нагр}} / i_1$, но не более $T_{\text{max}} \cdot i$. Момент

T_{max} - максимальный момент, который может развить двигатель при перегрузке.

Расчетный момент, передаваемый муфтой:

$$T_M = 0,5p \cdot A_1 \cdot z \cdot d,$$

где p - давление на фрикционных накладках муфты; A_1 - площадь сопряжения накладки; z - количество накладок в муфте; d - диаметр сопряжения накладки с барабаном или валом.

Момент $T_M < [T_M]$, давление $p < [p]$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Детали машин и основы конструирования: Учебник / А.Т. Скойбеда, А.В. Кузьмин, Н.Н. Макейчик; под общ. ред. А.Т. Скойбеда. - 2-е изд., перераб. - Мн.: Выш. шк., 2006. - 560с.: ил.

ЖЕСТКОСТЬ ЗУБЬЕВ РЕМНЕЙ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Основной динамической характеристикой зубчатых ремней (ЗР) является жесткость зубьев, определяющая динамику взаимодействия зубьев ремня и шкива и дающая картину распределения нагрузки между зубьями ремня на дугах обхвата шкивов.

Известны исследования жесткости зубьев ЗР при статическом, медленном нагружении [1 - 3]. Однако в скоростных передачах зуб ремня испытывает знакопеременные динамические нагрузки, чередующиеся с фазами выстоя во время пробега ремня от одного шкива к другому. Величину динамической жесткости зубьев предлагается определять как отношение максимального усилия, действующего на зуб, к величине деформации зуба, измеренной сразу после нагружения [4]. Такая методика не позволяет выявить закономерность изменения жесткости зубьев ремня от параметров динамического нагружения и обладает определенной субъективностью при оценке величины деформации зуба.

В связи с этим, жесткость зубьев ремня определялась методом вынужденных колебаний с заданными динамическими параметрами. Параметры цикла нагружения зубьев ремня моделировались экспериментально в соответствии с реальными условиями их жесткости.

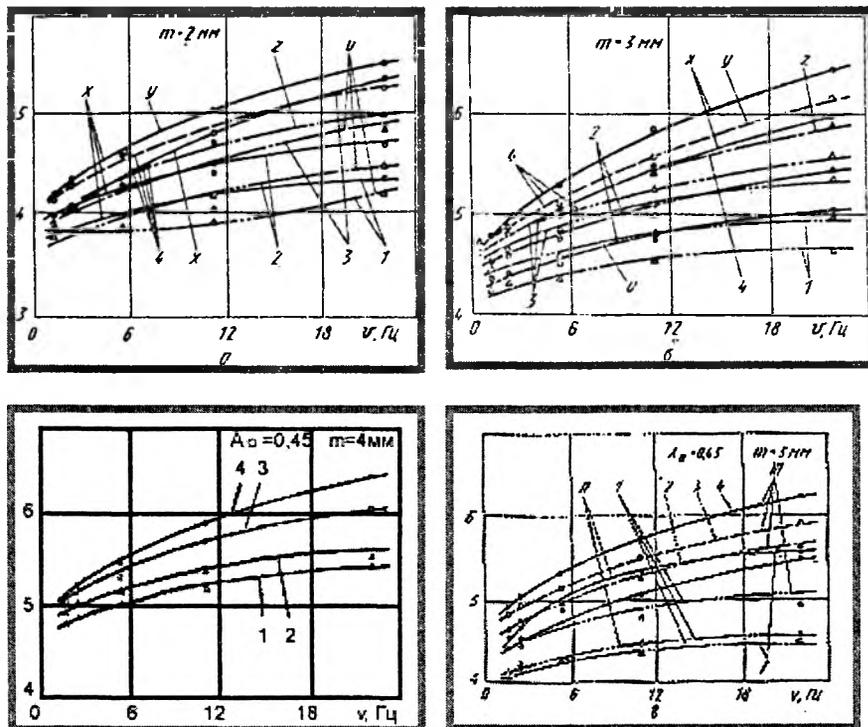


Рис. 1. а – г. Зависимость $E_{дз}$ от частоты нагружения ν для ремней различных модулей m при: 1 - $Q_m = 1,0$ Н/мм; 2 - $Q_m = 2,0$ Н/мм; 3 - $Q_m = 3,0$ Н/мм; 4 - $4,0$ Н/мм; X - $A_q = 0,15$; Y - $A_q = 0,45$; Z - $A_q = 0,45$; U - $A_q = 0,6$; I - $HS = 58,6$ ед; II - $HS = 64,2$ ед; III - $HS = 85,2$ ед.

Режим нагружения зубьев выбран гармоническим, что соответствует характеру работы ремня и позволяет представлять любой режим нагружения вообще, как сумму гармонических составляющих.

Текущее значение деформации зуба ремня

$$f = f_m + f_a \cdot \sin \alpha t, \text{ мм,}$$

а удельное усилие на зуб ремня

$$Q_{\text{ос}} = Q_m + Q_a \cdot \sin \omega t = Q_m(1 + r_Q \cdot \sin \omega t),$$

где f_m, f_a - соответственно среднее и амплитудное значение деформации зуба ремня, мм; Q_m, Q_a - среднее и амплитудное значение удельного усилия на зуб ремня, Н/мм; A_Q - коэффициент амплитуды усилия; ω - круговая частота, с^{-1} .

Полная динамическая жесткость зуба ремня

$$E_{\text{дн}} = Q_a / f_a.$$

При циклическом нагружении зуба ЗР, представляющего вязкоупругое тело, имеются гистерезисные потери в его материале. Поэтому связь между усилием и деформацией зуба можно представить в комплексной форме [5]

$$Q_a = |E'_{\text{дн}} + iE''_{\text{дн}}| \cdot f_a,$$

или

$$E_{\text{дн}} = \sqrt{|E'_{\text{дн}}|^2 + |E''_{\text{дн}}|^2},$$

где $E'_{\text{дн}} = E_{\text{дн}} \cdot \cos \varphi$ и $E''_{\text{дн}} = E'_{\text{дн}} \cdot \sin \varphi$ - вещественная и мнимая части динамической жесткости; φ - угол сдвига фаз между усилием и деформацией зуба ремня (угол гистерезисных потерь).

Величина $E'_{\text{дн}}$ определяет динамическую упругость зуба ремня, а $E''_{\text{дн}}$ - механические потери на внутреннее трение в теле зуба ремня. Величина потерь определяется величиной модуля внутреннего трения $K = 2\pi E''_{\text{дн}}$ или величиной относительного гистерезиса $\Gamma = \frac{2\pi E''_{\text{дн}}}{E_{\text{дн}}}$.

Исследования динамической жесткости зубьев проводились на специальном стенде. Исследуемый зуб ремня вводился в зацепление с индентором, имеющим форму зуба шкива, закрепленным на датчике усилия в виде консольной тензобалки. Деформация зуба измерялась с помощью тензодатчика перемещений.

Объектом исследований являлись зубья зубчатых ремней с модулем 2, 3 и 4 мм – наиболее распространенных в приводах. Ремни изготавливались методом сборки. Ширина ремней 4; 8; 12,5; 16 и 20 мм, твердость резины зубьев ремней – 58,6; 64,2; 74,3; 85,2 HS.

Исследовалось влияние на величину динамической продольной жесткости следующих переменных факторов: частоты ν , среднего усилия $Q_{\text{уд}}$ и коэффициента A_Q .

В результате обработки полученных осциллограмм построены графические зависимости динамической жесткости зубьев $E_{\text{дз}}$ от частоты нагружения ν при различных уровнях факторов (рис. 1, а – г). Анализ этих зависимостей показывает, что величина динамической жесткости зубьев $E_{\text{дз}}$ зависит от частоты нагружения зуба ν и нелинейно увеличивается с ее возрастанием. Так при частоте $\nu = 22$ Гц величина $E_{\text{дз}}$ больше, чем при $E_{\text{дз}} \rightarrow 0$ в 1,2 – 1,4 раза. Ее увеличение тем больше, чем больше Q_m . Увеличение Q_m с 1,0 Н/мм до 4,04 Н/мм приводит к возрастанию $E_{\text{дз}}$ на 25%. Противоположный характер носит влияние A_Q на $E_{\text{дз}}$ - при изменении A_Q от 0,15 до 0,6 величина $E_{\text{дз}}$ уменьшается на 17%, причем это уменьшение увеличивается с ростом Q_m . Указанные явления можно объяснить нелинейной зависимостью жесткости зуба от действующего на него усилия. Величина угла гистерезисных потерь мало изменяется при варьировании таких параметров, как твердость зуба ремня, еще меньше ее зависимость от величин Q_m и A_Q . Однако с увеличением частоты ν угол φ быстро растет до $\nu = 6$ Гц, после чего его увеличение не столь велико. Следовательно, механические потери в материале зуба ремня нелинейно увеличиваются с увеличением частоты нагружения зуба.

Для выявления взаимосвязи значений динамической $E_{\text{дз}}$ и статической $E_{\text{сз}}$ жесткостей зубьев производили определение последней по методикам [1, 2]. В результате исследований установлено, что величину $E_{\text{сз}}$ для ремней различной твердости можно приближенно выразить через

величину модуля сдвига G материала зуба. Выражение для определения E_{C3} для ремней модулем $m = 3$ мм при этом будет иметь вид

$$E_{C3} = 4G^{0,035} + Q_{C3} 0,125, \text{ МПа}$$

Величины динамической E_{D3} и статической E_{C3} жесткостей зубьев связаны соотношением

$$E_{D3} = E_{C3} \cdot K_{D3},$$

где K_{D3} - динамический коэффициент.

Предложенная в настоящей работе методика определения динамической жесткости зубьев позволяет найти величину этой жесткости в условиях, близких к эксплуатационным. Показано, что величина динамической жесткости зубьев превышает статическую в 1,2 – 1,4 раза и увеличивается по мере возрастания частоты нагружения зубьев. Располагая значениями динамической жесткости зубьев, можно производить уточненный расчет распределения нагрузки между зубьями ремня и шкива и более точно судить о надежности и долговечности зубчатременной передачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуревич Ю.Е., Жуков К.П. Упругие характеристики зубчатых ремней. – В кн.: Передачи и опоры. – М.: Московский станкостроительный институт, 1974. – с. 101 – 112. 2. Гуревич Ю.Е. Деформация зубьев зубчатых ремней. – В кн.: Передачи и опоры. – М.: Московский станкостроительный институт, 1974. – с. 142 – 152. 3. Бичаускас Л.К. Исследование ременных передач. – Деп. в ЛитНИИТИ 03.09. 1985, № 1476-Ли. 208с. 4. Кузьмин А.В., Наталевич А.Н. Влияние релаксации на упругость зубьев ремня // Машиностроение. – Минск: Высшая школа, 1979. – Вып.3. с.100 – 103. 5. Лепетов В.А., Юрцев Л.Н. Расчеты и конструирование резиновых изделий. – Л.: Химия. 1987. – 408с.

УДК 621.94.084

Миронов Д.Н.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕГРАДАЦИИ ЭФФЕКТИВНЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И КОНСТРУКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ТЕРМОСИЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь*

Иерархия процессов накопления повреждений при циклических нагрузках

Для более детального описания процессов деградации (старения) структур механической системы под действием циклических термосиловых воздействий целесообразно применить метод декомпозиции его на стадии (фазы), каждая из которых характеризуется уровнем (масштабом) явлений.

Общепринятые системы уравнений [1, 2, 3] описывают деформирование оболочек и лопаток роторов в упругой области, однако уже на этой стадии в деталях происходят процессы деградации упругих, теплопроводных свойств, выражающихся в том, что изначально запроектированные конкретные упругие, теплопроводные свойства материала детали начинают изменяться так, что увеличивается разброс значений коэффициентов упругости, теплопроводности от их проектных (начальных) значений в сторону уменьшения.

Математически это описывается следующей моделью. Пусть исходный материал представляет собой композицию (сплав) n компонентов. Обозначим материальный коэффициент λ (упругости, теплопроводности) i -го компонента λ_i при $i = 1, 2, \dots, n$. Введем функцию плотности распределения $f(\lambda)$ величины λ , тогда в начальном состоянии

$$f(\lambda) = \sum_{i=1}^n C_i \delta(\lambda - \lambda_i),$$

$$\delta(\lambda - \lambda_i) = \begin{cases} \infty & \lambda \neq \lambda_i \\ 0 & \lambda = \lambda_i \end{cases}, \quad (1)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(\lambda) d\lambda = \sum_{i=1}^n C_i = 1.$$

На рисунке 1 представлено начальное распределение компонентов материала. Среднее значение λ вычисляется по формуле

$$\langle \lambda \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \lambda f(\lambda) d\lambda = \sum_{i=1}^n C_i \lambda_i \quad (2)$$

из которой следует, что C_i здесь имеют смысл объемных концентраций компонентов λ_i .

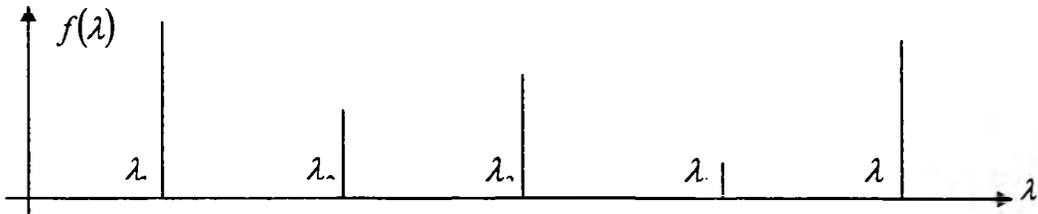


Рисунок 1 – Распределение компонентов материала

Формула (2) представляет собой формулу теории смесей для вычисления эффективных материальных коэффициентов композита.

Согласно (1) $f(\lambda)$ представляет собой сумму δ -функций, что соответствует материалу, в котором нет разброса коэффициента λ упругих теплопроводных свойств от значений λ_i каждого компонента. В случае, когда разброс свойств имеет место плотность вероятностей $f(\lambda)$ представляет собой более сложную функцию полимодального вида (рисунок 2).

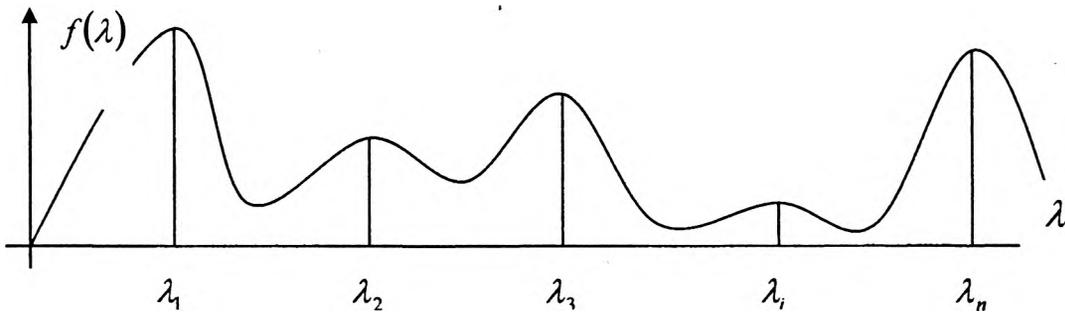


Рисунок 2 – Плотность распределения вероятностей коэффициента λ

Наиболее простой вид такого типа имеет треугольная плотность распределения рисунок 3.

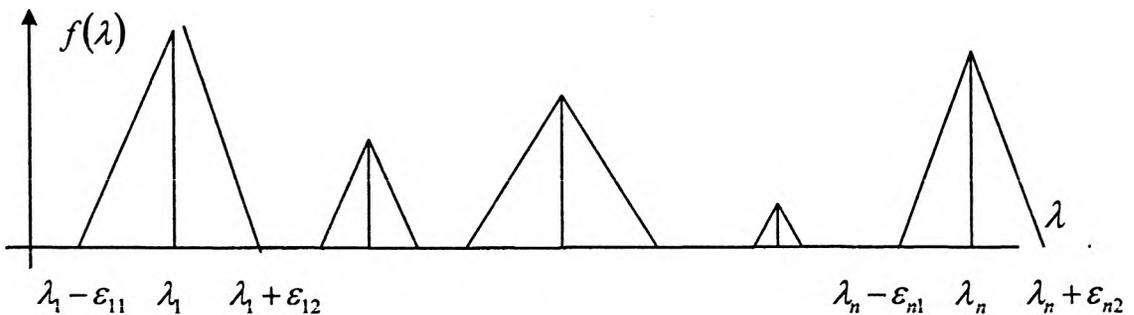


Рисунок 3 – Треугольная плотность распределения

Треугольная плотность распределения λ может быть записана в аналитическом виде

$$f(\lambda) = \begin{cases} \frac{2C_1}{\varepsilon_{i,1} + \varepsilon_{i,2}} + \frac{(-1)^{j-1} 2C_2}{(\varepsilon_{i,1} + \varepsilon_{i,2})\varepsilon_{i,j}} (\lambda - \lambda_i), \\ \text{для } \lambda \in [\lambda_i - (1 + (-1)^{j-1})\varepsilon_{i,j}/2, \lambda_i + (1 + (-1)^j)\varepsilon_{i,j}/2], \\ 0 \text{ для всех остальных } \lambda \\ i=1..n, j=1,2 \end{cases} \quad (3)$$

где $\varepsilon_{i,j}$ характеризуют разброс значений компонента материала от значения λ_i .

Вычисление эффективных модулей с разбросом свойств компонентов

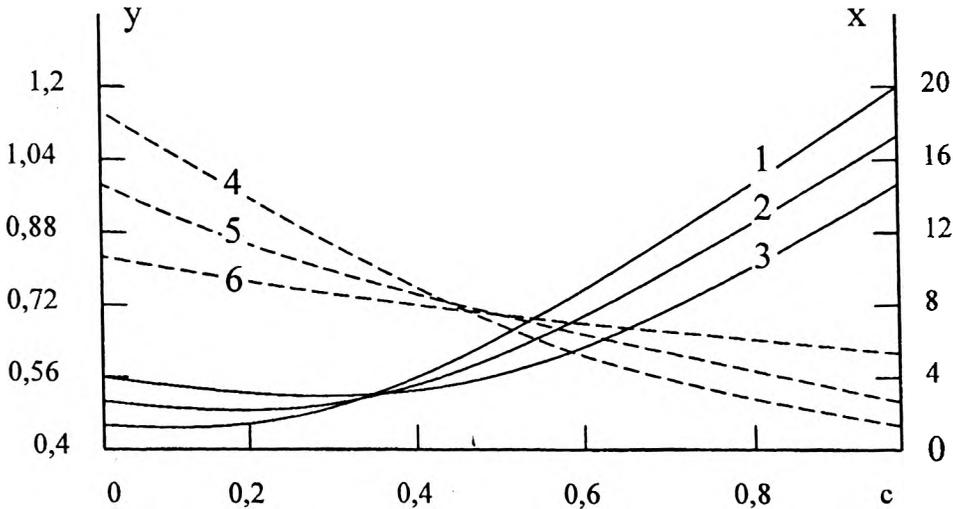


Рисунок 4 - Зависимости $x = K_0 K_1^{-1}$, $y = \mu_0 \mu_1^{-1}$ от $c = c_2$ концентрации компоненты с упругими модулями K_2, μ_2 (сплошная и штриховая линии - x, y соответственно) при значениях параметров $\chi = 17$; $m_1 = 0, 5$; $m_2 = 10$; $1, 4 - \delta_{11}^{(k,\mu)} = \delta_{22}^{(k,\mu)} = 0, 5$; $\delta_{12}^{(k,\mu)} = \delta_{21}^{(k,\mu)} = 0,001$; $2, 5 - \delta_{11}^{(k,\mu)} = \delta_{22}^{(k,\mu)} = \delta_{12}^{(k,\mu)} = \delta_{21}^{(k,\mu)} = 0$; $3, 6 - \delta_{12}^{(k,\mu)} = \delta_{21}^{(k,\mu)} = 0, 5$; $\delta_{11}^{(k,\mu)} = \delta_{22}^{(k,\mu)} = 0,001$.

Рассмотрим вычисление эффективных упругих модулей материала, у которого в силу каких-либо причин имеется отклонение упругих модулей от основных значений компонента. Разброс может быть следствием несовершенства технологии, наличия переходных слоев между компонентами. Положим, что плотность распределения эффективных объемного K и сдвигового μ модулей имеют вид

$$f(\lambda) = \begin{cases} \frac{2c_i}{\varepsilon_{i,1} + \varepsilon_{i,2}} + \frac{(-1)^{j-1} 2c_j}{(\varepsilon_{i,1} + \varepsilon_{i,2})\varepsilon_{i,j}} (\lambda - \lambda_i) \\ \text{для } \lambda \in [\lambda_i - (1 + (-1)^{j-1})\varepsilon_{i,j}/2, \lambda_i + (1 + (-1)^j)\varepsilon_{i,j}/2], \\ 0 \text{ для остальных } \lambda \end{cases}$$

где $\lambda = K, \mu$; $\lambda_1 = K_1, \mu_1$; $\lambda_2 = K_2, \mu_2$, соответственно $i, j = 1, 2$; c_1, c_2 - концентрации компонентов, т. е. $c_1 + c_2 = 1$. Вычисляя математическое ожидание получаем систему уравнений. Первое уравнение системы имеет вид:

$$L = C_1 [(A_{01}\varepsilon_{11}^{-1} - 1)\ln(1 - \varepsilon_{11}A_{01}^{-1}) + (A_{01}\varepsilon_{12} + 1)\ln(1 + \varepsilon_{12}A_{01}^{-1})] + \\ + C_2 [(A_{02}\varepsilon_{21}^{-1} - 1)\ln(1 - \varepsilon_{21}A_{02}^{-1}) + (A_{02}\varepsilon_{22} + 1)\ln(1 + \varepsilon_{22}A_{02}^{-1})] \\ C_i = 2c_i(\varepsilon_{i,1} + \varepsilon_{i,2})^{-1}; A_{0i} = K_i - K_0 + L^{-1}; \varepsilon_{i,j} = \varepsilon_{ij}^{(k)}; i, j = 1, 2.$$

Заменив L на $L^{(i)}$, A_{0i} на $B_{0i} = \mu_i - \mu_0 + L^{-1}$, $\varepsilon^{(k)}$ на $\varepsilon^{(\mu)}$, получим второе уравнение. При $\varepsilon_{ij} \rightarrow 0$ система уравнений переходит в уравнения метода самосогласования [4, 5], что соответствует переходу плотностей распределения в плотности распределения вида

$$f(\lambda) = c_1 \delta(\lambda - \lambda_1) + c_2 \delta(\lambda - \lambda_2), \quad c_1 + c_2 = 1.$$

Переходя к безразмерным величинам $x = K_0 K_1^{-1}$, $y = \mu_0 \mu_1^{-1}$, $\delta_{ij} = \varepsilon_{ij} \lambda_i^{-1}$, получаем систему уравнений, первое из которых имеет вид

$$\begin{aligned} L' &= h_1 [(a_{01} \delta_{11}^{-1} - 1) \ln(1 - \delta_{11} a_{01}^{-1}) + (a_{01} \delta_{12} + 1) \ln(1 + \delta_{12} a_{01}^{-1})] + \\ &+ h_2 [(a_{02} \delta_{21}^{-1} - 1) \ln(1 - \delta_{21} a_{02}^{-1}) + (a_{02} \delta_{22} + 1) \ln(1 + \delta_{22} a_{02}^{-1})] \\ h_1 &= 2c_1 (\varepsilon_{11} + \varepsilon_{12})^{-1}, \quad h_2 = 2c_2 (\chi(\delta_{21} + \delta_{22}))^{-1}, \quad \delta = \delta^{(k)}, \\ a_{01} &= 1 + 4m_1 y / 3, \quad a_{02} = 1 + 4m_1 \chi y, \quad \chi = K_2 K_1^{-1}, \quad m_1 = \mu_1 K_1^{-1}, \\ L' &= (x + 4ym_1 / 3)^{-1}. \end{aligned}$$

Второе уравнение получается при замене L на $L^{(i)}$, a_{01} на b_{01} , a_{02} на b_{02} , где $L^{(i)} = (2x + 4m_1 y)(5y(x + 4m_1 y / 3))^{-1}$, $b_{01} = 1 - y + 5y(x + 4m_1 y / 3) / (2x + 4m_1 y)$, $b_{02} = 1 + (b_{01} - 1) / m_2$, $\delta^{(k)}$ на $\delta^{(\mu)}$, а χ во втором слагаемом на $m_2 = \mu_1 / \mu_2$.

Из рисунка 4 следует, что для двухкомпонентных материалов существует концентрация c^* , при которой разброс упругих свойств компонентов не влияет на эффективные свойства: для $x = K_0 K_1^{-1}$ эта концентрация $c^* = 0,3 - 0,4$; для $y = \mu_0 \mu_1^{-1}$ - это $c^* = 0,5$. Максимальный разброс наблюдается при $c = 0$ и $1,0$; что вполне соответствует физическому смыслу.

Перейдем в (3) к безразмерным величинам $\delta_{11} = \frac{\varepsilon_{11}}{\lambda_1}$, $\delta_{12} = \frac{\varepsilon_{12}}{\lambda_1}$, $\Lambda = \frac{\lambda}{\lambda_1}$, $\Lambda = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$, тогда $f(\Lambda) d\Lambda = f(\lambda) d\lambda$, $f(\Lambda) = f(\lambda) \lambda_1$,

$$f(\Lambda) = \begin{cases} \frac{2c_1}{\delta_{11} + \delta_{12}} + \frac{2(-1)^{i-1} c_2}{(\delta_{11} + \delta_{12}) \delta_{ij}} (\Lambda - \Lambda_i) & \delta\lambda \square \\ \Lambda \in \left\{ \Lambda_i + (-1)^{i-1} \frac{\delta_{ij}}{2}, \Lambda_i + (1 + (-1)^i) \delta_{ij} / 2 \right\} & \delta\lambda \square \\ 0 & \delta\lambda \square \quad \xi\rho\varsigma\text{в}\lambda\acute{o}\nu\acute{o}\nu \quad \Lambda, \Lambda_i = 1 \end{cases}$$

На рисунке 5 изображена функция $f(\Lambda)$

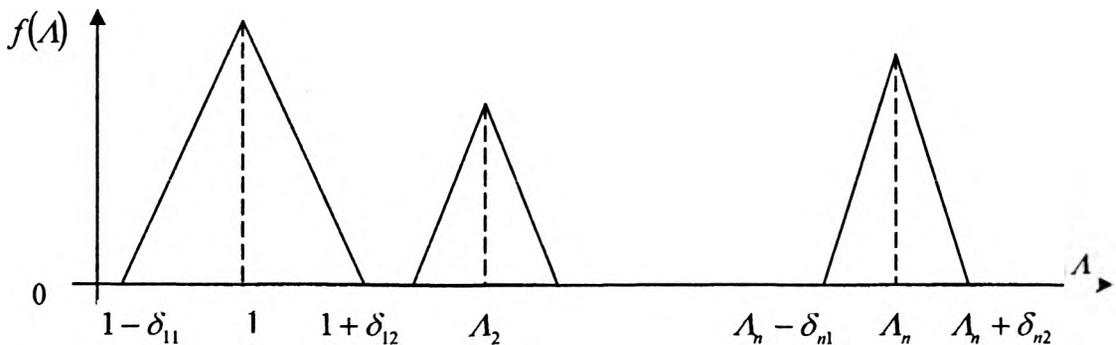


Рисунок 5 - Функция $f(\Lambda)$

Переход к безразмерным переменным позволяет первую стадию деградации описать как изменении разброса δ_{11} от 0 до 1. При $\delta_{11} = 0$ нет деградации физико-механических свойств, при

$\delta_{11} = 1$ заканчивается первая стадия пред микроповреждения, на которой нет нарушения сплошности среды, т. е. нет микропор, микротрещин.

Теплопроводность материалов, обладающих разбросом свойств компонентов

Многокомпонентная модель среды не учитывает эффект разных свойств. Модель со слоистыми включениями позволяет учесть влияние перенастройки структуры в граничной зоне на физико-механические свойства. Однако в указанных работах расчеты проведены на материалах, структура которых представляет собой систему повторяющихся ячеек. Предлагается способ расчета эффективных коэффициентов сред, обобщающий формулы Оделевского на случай непрерывного распределения физико-механических свойств.

Согласно формуле Оделевского, эффективный коэффициент теплопроводности λ_0 n -компонентной среды находится из уравнения

$$\sum_{i=1}^n c_i \gamma_i = \langle \gamma \rangle = 0, \quad \gamma_i = \frac{\lambda_i - \lambda_0}{\lambda_i + 2\lambda_0}, \quad \gamma = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda + 2\lambda_0}, \quad \sum_{i=1}^n c_i = 1.$$

Для изотропной неоднородной среды можем считать, что $\lambda = \lambda(x)$ и $\gamma = \gamma(x)$, причем на множестве возможных реализаций компонентов $\lambda(x)$ - случайная функция. В каждой точке n -компонентной среды случайная величина, принимающая значения λ_i с вероятностью c_i (концентрация i -го компонента).

Формулу Оделевского можно рассматривать как вычисление $\gamma = \gamma(\lambda)$ с плотностью распределения $f(\lambda) = \sum_{i=1}^n c_i \delta(\lambda - \lambda_i)$:

$$\langle \gamma \rangle = \int \gamma(\lambda) f(\lambda) d\lambda$$

Обобщение формулы Оделевского на случай n -компонентной среды, обладающей разбросом теплопроводных свойств компонентов получим вычисляя $\langle \gamma \rangle$ с плотностью распределения $f(\lambda)$, учитывающей разброс λ от λ_i .

Рассмотрим n -компонентную изотропную среду, разброс свойств компонентов которой определяется n -треугольным распределением:

$$f(\lambda) = \begin{cases} S_i \left(1 + \frac{\lambda - \lambda_i}{\varepsilon_{i1}} \right), & \lambda \in [\lambda_i - \varepsilon_{i1}, \lambda_i] \\ S_i \left(1 - \frac{\lambda - \lambda_i}{\varepsilon_{i2}} \right), & \lambda \in [\lambda_i, \lambda_i + \varepsilon_{i2}] \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

$$S_i = \frac{2c_i}{\varepsilon_{i1} + \varepsilon_{i2}}, \quad \sum_{i=1}^n c_i = 1, \quad i = \overline{1, n}.$$

Здесь $f(\lambda)$ плотность распределения коэффициента теплопроводности; λ , λ_i - основное значение коэффициента теплопроводности i -го компонента; ε_{i1} , ε_{i2} - значения разбросов коэффициента теплопроводности от основного значения λ_i i -го компонента. Каждый из компонентов материала представляет собой однородную изотропную среду.

Теперь вычисляя $\langle \gamma \rangle$ и приравнявая ее к нулю получим

$$L = \sum_{i=1}^n S_i \sum_{\beta=1}^2 \frac{A_{0i} + (-1)^\beta \varepsilon_{i\beta}}{\varepsilon_{i\beta}} \ln \frac{A_{0i} + (-1)^\beta \varepsilon_{i\beta}}{A_{0i}}, \quad (4)$$

$$A_{0i} = \lambda_i - \lambda_0 + \frac{1}{L}, \quad L = (3\lambda_0)^{-1}, \quad A_{0i} = 2\lambda_0 + \lambda_i.$$

Расчет зависимости эффективной теплопроводности λ_0 от c_i обладает тем недостатком, что при $\varepsilon_{ij} \rightarrow 0$ правая часть представляет собой неопределенность типа $0/0$, поэтому при малых ε_{ij} решение неустойчиво. При относительном разбросе $\varepsilon_{ij}\lambda_i^{-1} \leq 10^{-3}$ расчет λ_0 удобно вести на основе разложения правой части уравнения в ряд Маклорена. Для двухкомпонентной среды в безразмерном виде получим

$$1 = 3x \left[(1 - c) \left(\frac{1}{B_{01}} + \frac{\delta_{11} - \delta_{12}}{3B_{01}^2} \right) + c \left(\frac{1}{B_{02}} + \frac{\alpha(\delta_{21} - \delta_{22})}{3B_{02}^2} \right) \right],$$

$$\alpha = \lambda_2 \lambda_1^{-1}, \quad x = \lambda_0 \lambda_1^{-1}, \quad B_{0i} = A_{0i} \lambda_1^{-1}, \quad c = c_2. \quad (5)$$

Но на зависимость x от c влияет несимметричность разброса т. е. величина $\delta_{11} - \delta_{12}$. На рисунке 6 изображена зависимость λ_0 от c материала из которого изготовлены детали авиационного двигателя. Кривая 1 получена при $\delta_{12} = 0.1$, $\delta_{21} = 0.05$; 2 – при $\delta_{12} = 0.05$, $\delta_{21} = 0.1$; 3 – при $\delta_{11} = 0.1$, $\delta_{21} = 0.05$; 4 – при $\delta_{11} = 0.05$, $\delta_{21} = 0.1$. Кривая 5 соответствует случаю, когда нет разброса свойств компонентов: $\delta_{ij} = 0$.

Из рисунка 6 видно, что существует концентрация c , при которой наличие разброса не влияет на значение коэффициента теплопроводности.

Формулы (4) и (5), связывающие значения эффективного коэффициента λ_0 , компонентов λ_i , концентрации c_i , разбросов ε_{ij} , могут быть использованы для решения задачи определения разброса ε_{ij} по измеренным и заданным значениям λ_0 , λ_i , c_i . Эта задача по отношению к задаче вычисления эффективных коэффициентов по заданным λ_i , c_i , ε_{ij} является обратной, позволяя получить оценку разброса свойств в реальных материалах. Отметим, что на основе условия самосогласования $\langle \gamma \rangle = 0$ можно получить уравнение для эффективного коэффициента теплопроводности λ_0 неоднородных сред, распределение материальных коэффициентов которых подчиняется любым другим законам распределения. При этом, если в пределе взятое распределение переходит в комбинацию функций $\left(f(\lambda) = \sum_{i=1}^n c_i \delta(\lambda - \lambda_i) \right)$, то уравнения (4), (5) переходят в известные уравнения n -компонентной среды, получаемые методом самосогласования или эквивалентным ему формулам Оделевского.

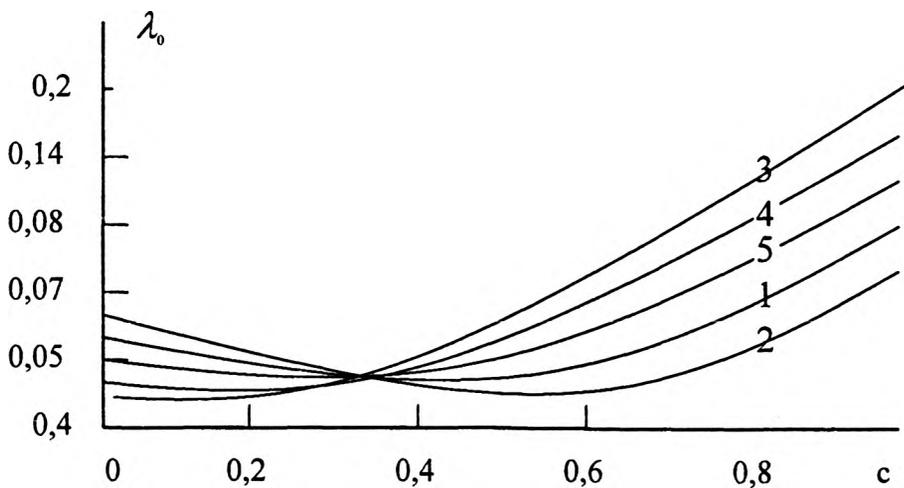


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента теплопроводности от концентрации компонентов материала

Предлагаемый подход позволяет учесть влияние разброса значений компонент в материале на его эффективные свойства не только теплопроводности, но и в электропроводности, упругости, диффузии, диэлектрической проницаемости.

Моделирование деградации физико-механических свойств материала

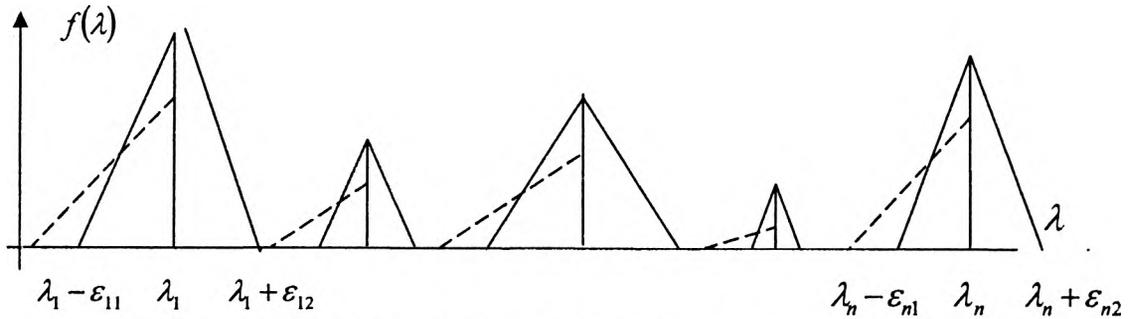


Рисунок 7 – Изменение треугольной плотности распределения при выполнении условия нормировки

Изменение коэффициентов упругости, теплопроводности материала в процессе эксплуатации двигателя можно описать как изменение $\varepsilon_{i,j}$ в зависимости от напряжений, температуры, числа циклов и других факторов, влияющих на деградацию физико-механических свойств, например в виде кинетических уравнений вида

$$\frac{d\varepsilon_{i,j}}{dN} = f_{i,j}(\sigma, N, T), \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n. \quad (6)$$

Обычно, деградация представляет собой разброс свойств в сторону уменьшения. Из условия нормировки следует, что площадь каждого треугольника на рисунке 3 должна оставаться постоянной, то есть при увеличении основания $\varepsilon_{i,1}$ происходит уменьшение высоты треугольников рисунок 7.

Условие нормировки должно выполняться в процессе изменения разброса свойств, поэтому оно должно рассматриваться совместно с уравнениями (6).

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(\lambda) d\lambda = 1 \quad (7)$$

Рассмотренная модель деградации физико-механических свойств материала представляет собой первый уровень в иерархии процесса старения и разрушения материала. На этой стадии нет никакой поврежденности материала, связанной с появлением микропор, микротрещин, что обычно выражается в уменьшении несущего объема (сечения).

Вторая стадия деградации – стадия накопления повреждений типа микропор, микротрещин можно моделировать как процесс роста разброса свойств до момента, когда $\varepsilon_{i,1}$ станет равным нулю. В этом случае появляется компонент, материальные коэффициенты которого равны нулю, то есть появляются микропоры. Реально в любом материале изначально присутствует некоторое количество дефектов типа микропор, микротрещин, количество которых может расти одновременно с разбросом свойств номинальных значений коэффициентов [6, 7, 8]. Однако на первой стадии, как показывают металлографические исследования, процесс деградации без нарушения сплошности является доминирующим.

Вторая стадия – это стадия, когда доминирующим становится процесс возникновения микропор, микротрещин и рост их концентрации.

Из условия нормировки следует, что высота треугольника, описывающего рост концентрации пор растет так, что площадь треугольника остается постоянной, площадь треугольника описывающего рост деградации (разброса) свойств основного материала также остается постоянной при том, что высота его уменьшается, а основание увеличивается. Рассмотрим модель накопления повреждений, происходящую не непрерывно в процессе деградации, а скачком от основного значения модулей до нулевого значения в микропорах, микротрещинах. Положим, что материал с порами описывается двухкомпонентной (неоднородной) функцией вида:

$$\lambda(x) = \lambda_0 \eta(x),$$

где $\eta(x)$ - индикаторная функция.

$$\eta(x) = \begin{cases} 1 & x \in V - V_p \\ 0 & x \in V_p \end{cases},$$

где V - неповрежденный объем, V_p - поврежденный объем.

Эффективное (среднее) значение коэффициента λ вычисляется по формуле

$$\langle \lambda \rangle = \lambda_0 (1 - C),$$

где $C = \frac{V_p}{V}$ - объемная концентрация пор.

В этой модели рост поврежденности описывается кинетическим уравнением типа

$$\frac{dC}{dN} = f(n, \sigma_{ij}, T),$$

где N - число циклов. При таком подходе C имеет смысл функции поврежденности, введенной Работновым и Качановым, описанной в первой главе.

Третья стадия наступает, когда слившиеся микротрещины образуют макротрещину. Этот процесс описывается моделью перколяции, согласно которой хаотическое слияние микропор и микротрещин в некотором характерном объеме приводит к тому, что образовавшаяся трещина прорастает через рассматриваемый объем. Это также может быть записано как зависимость эффективных упругих модулей от концентрации пор. При достижении концентрацией C значения порядка 0,56 – 0,63 трещина прорастает через рассматриваемый объем. Следующим этапом исследования является исследование условий роста трещины в детали конструкции и ее разрушение.

Таким образом, критическим значением параметра поврежденности (накопления пор) является не 1, а величина порядка 0,56 – 0,63.

В третьей стадии, кластеризации микротрещин, зависимость эффективных коэффициентов λ от концентрации пор записывается в виде

$$\lambda = \lambda_0 (P_{cr} - P)^n,$$

где коэффициент n зависит от свойств материала.

Таким образом, в результате третьей стадии в некотором объеме детали внутри или на поверхности возникает трещина длиной порядка характерного диаметра выделенного объема.

Четвертая стадия начинается, когда трещина из начального объема начинает прорастать в остальной объем. Рост трещины происходит в поле микротрещин, микропор, то есть в неоднородной среде. Вследствие того, что неоднородность распределена по объему хаотично, то траектория трещины зависит не только от характера нагрузки, но и от распределения неоднородности. Это связано с тем, что перенос энергии в неоднородной среде происходит вдоль линий тока энергии, траектории которых касательны к вектору Умова-Пойнтинга. Как известно, в механических структурах существуют слабые места, имеющие минимальную жесткость материальную или конструкционную [9, 10]. Согласно вариационному принципу разрушения линия тока энергии направлены в места, где она совершает максимальную работу, а именно в слабые места. Выявление слабых мест, идентификация типов повреждения является задачей дефектоскопии.

Модель роста трещины записывается в виде

$$\frac{dl}{dN} = f(l, N, \sigma, T),$$

где l - длина трещины.

Пятая стадия заканчивается разрушением детали, то есть разделением ее на части трещиной.

Рассмотренная иерархическая пятиступенчатая модель деградации материала является достаточно упрощенной, так как стадии перекрываются, а деление на четко выраженные фазы основывается на том, что стадии можно выделить по принципу доминирующего процесса.

Моделирование процессов деградации материала вследствие локального изменения плотности (разрыхления)

Как известно, внутренняя энергия элементов сплошной среды при уменьшении плотности среды ρ стремится к некоторому постоянному значению, равному теплоте испарения. Хотя тем-

пература в двигателе не достигает температур плавления и испарения, однако процессы деградации материалов вследствие локального изменения плотности могут иметь место.

Изменение объема плотности элемента среды определяется производными перемещений по пространственным координатам. При локализации деформаций в сколь угодно узких зонах производные перемещений по пространственным координатам могут быть большими при малых перемещениях и соответственно изменение объема плотности может быть не малым при малых перемещениях [11, 12].

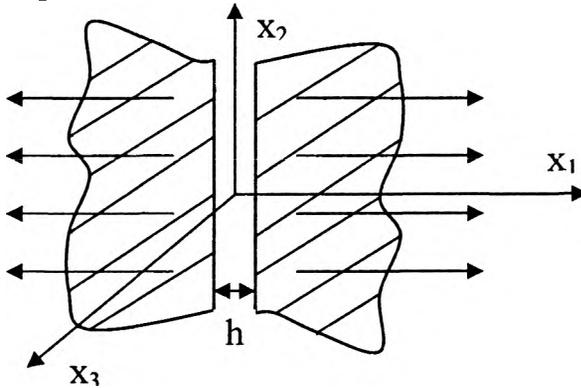


Рисунок 8 – Модель тонкой упругой прослойки

Рассмотрим простейшую модель возникновения повреждений путем локализации деформаций для задачи о растяжении тонкой упругой прослойки между жесткими слоями (полупространствами), представленной на рисунке 8.

С точностью до учета в прослойке краевых эффектов 2 – го порядка малости, положим, что в первом приближении деформированное состояние прослойки является одноосным, тогда можем записать

$$u_2 = u_3 = 0, \quad \frac{\partial u_1}{\partial x_1} = e, \quad (8)$$

где e - деформация, u_1 - перемещения.

В случае (8), когда деформированное состояние упругой прослойки определяется одним параметром, положим, что таким параметром является плотность ρ , которая изменяется во времени, например, согласно уравнению

$$\frac{d\rho}{dt} = -\rho e.$$

Вычислим внутреннюю энергию I элементов прослойки, считая, что I является функцией только плотности ρ : $I = I(\rho)$. Тогда согласно закона сохранения энергии можем записать выражение для напряжения σ_{11} в виде

$$\sigma_{11} = \frac{\partial I}{\partial \rho_1}, \quad \rho_1 = \rho^{-1}. \quad (9)$$

Обозначим через ρ_0 - плотность прослойки в недеформированном состоянии. Как было сказано выше, при уменьшении ρ внутренняя энергия должна оставаться ограниченной, то есть должно выполняться условие

$$\frac{\partial \theta}{\partial \rho_1} \rightarrow 0, \quad \rho \rightarrow 0.$$

Как следует из (9) при $\rho \rightarrow 0$ (испарение), должно выполняться $\sigma_{11} \rightarrow 0$. В то же время при $\rho = \rho_0$ состояние является недеформированным, $I = 0$ и $\sigma_{11} = 0$. В процессе деформирования между этими крайними состояниями напряжения имеют максимум, причем при малом изменении плотности в начале деформирования, когда ρ мало отличается от ρ_0 зависимость σ_{11} от

$\left(\frac{\rho_0}{\rho}\right)$ будет линейной (рисунок 9):

$$\sigma_{11} = \Delta \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right), \quad \Delta \geq 0.$$

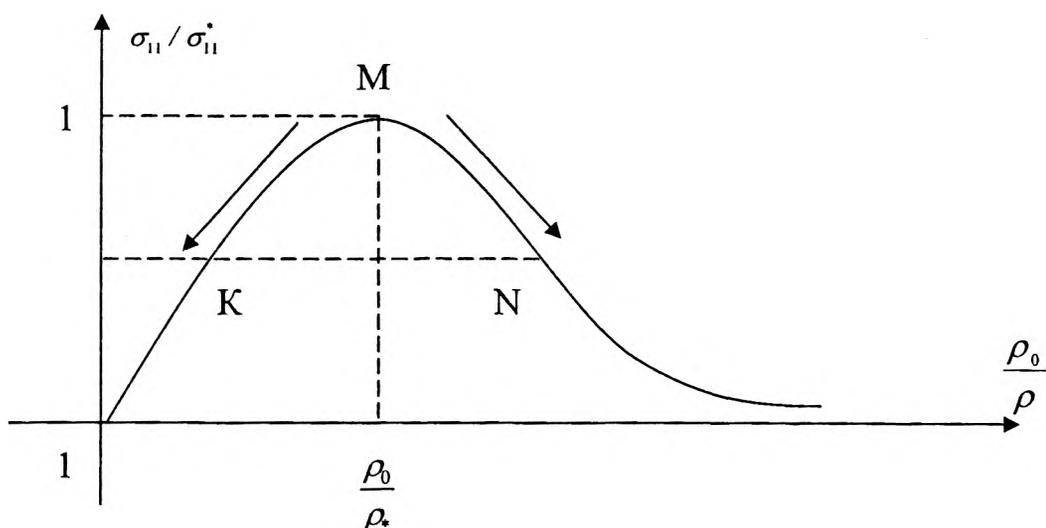


Рисунок 9 – Зависимость $\sigma_{11} / \sigma_{11}^*$ от $\frac{\rho_0}{\rho}$

На рисунке 9 ρ_* - критическое значение плотности, а σ_{11}^* - напряжение при которых происходит образование микротрещины отрыва.

Рассмотрим диаграмму на рисунке 9. При достижении напряжением значения σ_{11}^* вне зависимости от того будет плотность ρ от значения ρ_* возрастать или убывать, напряжения будут уменьшаться либо по левой ветви диаграммы, либо по правой, то есть при $\rho = \rho_*$ может происходить потеря устойчивости процесса деформирования. Это выразится в том, что перемещения по толщине прослойки могут изменяться при каком-либо x резко или скачком.

На рисунке 10 сплошной линией изображено линейное распределение перемещений в виде сплошной линии 1. При потере устойчивости (образовании дефекта), напряжения σ_{11} в прослойке будут всюду уменьшаться, скорость деформации уменьшается по левой ветви МК и увеличивается на правой ветви MN. Это соответствует распределению перемещений по типу, изображенному на рисунке 10 штрихпунктирной линией 2.

Рассмотренная модель описывает возможный механизм хрупкого микро разрушения в зонах контакта элементов конструкции, однако, в принципе рассмотренная модель пригодна для описания процесса образования микродефектов по границам кристаллитов в поликристаллических материалах.

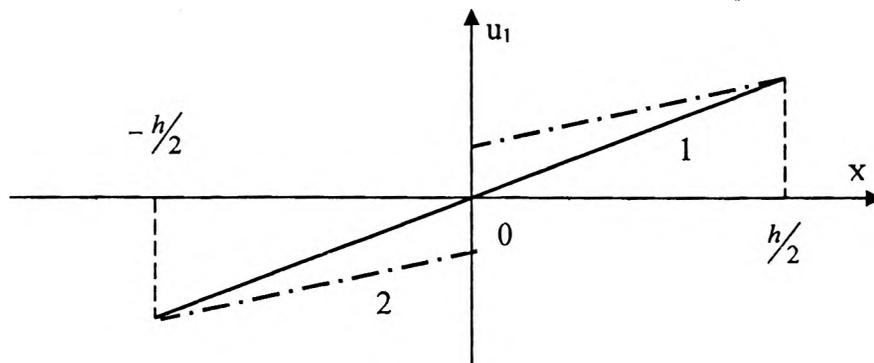


Рисунок 10 - Распределение перемещений u_1 по толщине прослойки.

Модель вязкого микро разрушения с учетом влияния температуры требует использования такой модели, в которой учитывается изменение плотности, ограниченность внутренней энергии, локализация деформаций. Существуют разные модели сплошной среды [13, 14], описывающие процесс накопления повреждений с учетом пластического деформирования. Как и в случае модели для хрупкого локального разрушения необходимо построить модель, для которой существовала

бы зависимость напряжений от плотности, существовала критическая плотность, при которой напряжение достигало максимума и затем уменьшалось.

Обозначим девиаторы тензоров напряжений $I_{i,j}$, деформаций $\gamma_{i,j}$.

$$I_{i,j} = \sigma_{i,j} - \delta_{i,j}\sigma, \quad \sigma = \frac{1}{3}\sigma_{i,j}\delta_{i,j} \quad \gamma_{i,j} = e_{i,j} - \frac{1}{3}\delta_{i,j}e, \quad e = \delta_{i,j}\sigma_{i,j}, \quad \delta_{i,j} = \begin{cases} 0 & i \neq j \\ 1 & i = j \end{cases},$$

$$e_{i,j} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right).$$

Здесь $\delta_{i,j}$ - Крощнера, σ - среднее напряжение, e - объемная деформация, по повторяющимся индексам - суммирование, $e_{i,j}$ - деформация, $\sigma_{i,j}$ - напряжение.

Определяющие уравнения связи между напряжениями и деформациями возьмем в виде

$$I_{i,j} = 2\mu \frac{\rho}{\rho_0} \left(1 - \frac{2}{3}e \right) \gamma_{i,j}, \quad \sigma = \frac{\rho}{\rho_0} \left(1 - \frac{2}{3}e \right) \left[\frac{df}{de} - (T - T_0) \frac{d\Theta}{de} \right], \quad f = f(e), \quad \Theta = \Theta(e), \quad (10)$$

где T - текущая температура, T_0 - температура в недеформированном состоянии, μ - модуль сдвига при малых изменениях плотности.

Изменение температуры и энтропии в зависимости от времени определяем уравнениями

$$\rho \frac{dT}{dt} = T \frac{d}{dt} (S - \Theta), \quad T \frac{dS}{dt} = \frac{1}{\rho} (\sigma_{i,j} \varphi_{i,j} - \text{div} \bar{q}), \quad (11)$$

где c - коэффициент теплоемкости (при постоянных деформациях), S - энтропия, \bar{q} - вектор потока тепла.

Изменение плотности и упругих деформаций в зависимости от времени определяется кинетическими уравнениями вида

$$\frac{d\rho}{dt} = -\rho e, \quad \frac{de}{dt} = \left(1 - \frac{2}{3}e \right) e, \quad \frac{d\gamma_{i,j}}{dt} + \gamma_{i,k} e_{k,j} + \gamma_{j,k} e_{k,i} = \left(1 - \frac{2}{3}e \right) e_{i,j} - \varphi_{i,j}, \quad (12)$$

где $\varphi_{i,j}$ - тензор скоростей неупругих деформаций.

Внутренняя энергия среды, деформирование которой описывается уравнениями (10) – (12) запишется в виде

$$\Theta = f + T_0 \Theta + \frac{2\mu}{\rho_0} \Gamma + cT, \quad \Gamma = \frac{1}{2} \gamma_{i,j} \gamma_{i,j}. \quad (13)$$

Из (10) – (12) следует зависимость между ρ и e и, следовательно, f и Θ являются функциями ρ , причем с учетом (11)

$$\sigma = \frac{df}{d\rho_1} - (T - T_0) \frac{d\Theta}{d\rho_1}, \quad e \frac{df}{d\rho_1} \geq 0, \quad \frac{d\Theta}{d\rho_1} \geq 0. \quad (14)$$

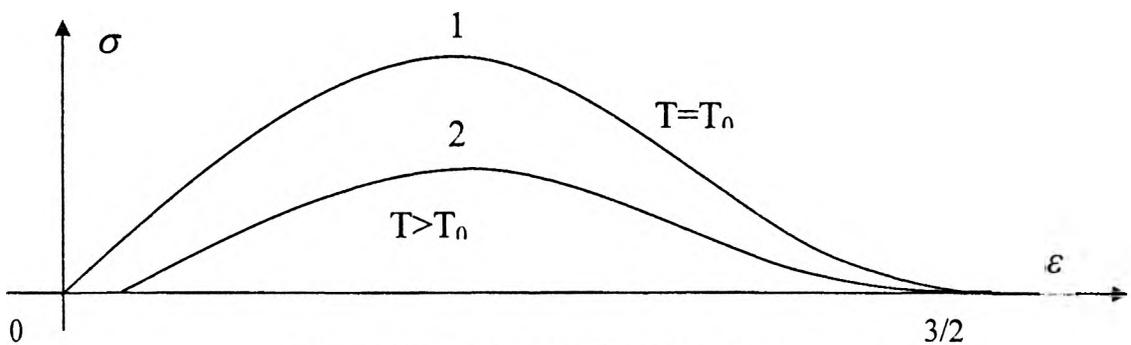


Рисунок 11 – Диаграмма деформирования

Из условия ограниченности внутренней энергии I при уменьшении плотности ρ в условиях изотермического расширения

$$\frac{df}{d\rho_1} \rightarrow 0, \quad \frac{d\Theta}{d\rho_1} \rightarrow 0 \quad \text{при} \quad \rho \rightarrow 0. \quad (15)$$

Тогда из (14), (15) и (10) можно получить, что среднее напряжение σ имеет максимальное значение при некотором значении e (рисунок 11).

На рисунке 11 диаграмма 1 соответствует температуре T_0 в недеформированном состоянии, диаграмма 2 соответствует состоянию с постоянной температурой $T > T_0$.

Рассмотрим модель идеального упругопластического деформирования при условии пластичности Мизеса

$$\frac{1}{2} I_{i,j} I_{i,j} = I^n.$$

Ассоциированный закон течения дает связь между скоростями пластических деформаций и девиатором напряжений в виде

$$\varphi_{i,j} = \lambda I_{i,j}.$$

В выражении (13) для внутренней энергии величина $\frac{2\mu}{\rho_0} \Gamma$ определяет энергию упругого изменения формы элемента. Она связана с величиной интенсивности касательных напряжений I равенством

$$\frac{2\mu}{\rho_0} \Gamma = \lambda I, \quad \lambda = \frac{\rho_0}{2\mu\rho^2 \left(1 - \frac{2}{3}\gamma\right)^2}.$$

Из условия ограниченности внутренней энергии I при $\rho \rightarrow 0$ следует, что величина Γ должна быть ограниченной при $\rho \rightarrow 0$ и, следовательно, $I \rightarrow 0$ при $\rho \rightarrow 0$. При малых деформациях сдвига и удлинениях $\rho = \rho_0$ энергия упругого изменения формы элементов отличаются от интенсивности касательных напряжений лишь постоянным множителем. Отсюда следует, что учет пластичности можно осуществлять в двух эквивалентных формулировках относительно I и Γ :

$$1. \lambda = 0 \text{ при } I < \tau_s^2 \text{ или } I = \tau_s^2, \frac{dI}{dt} < 0;$$

$$\lambda \geq 0 \text{ при } I = \tau_s^2 \text{ или } \frac{dI}{dt} = 0.$$

$$2. \lambda = 0 \text{ при } \Gamma < \Gamma_s \text{ или } \Gamma = \Gamma_s, \frac{d\Gamma}{dt} < 0; \tag{16}$$

$$\lambda \geq 0 \text{ при } \Gamma = \Gamma_s \text{ или } \Gamma_s = \left(\frac{T_s}{2\mu}\right)^2, \frac{d\Gamma}{dt} = 0,$$

где T_s - предел текучести при сдвиге.

В общем случае, когда ρ существенно отличается от ρ_0 используются соотношения (16).

Из анализа уравнений модели следует, что в среде с ограниченной внутренней энергией при уменьшении ρ , касательные напряжения также остаются ограниченными. Локализация деформаций в этом случае проявляется в возникновении зон локализации деформаций, которые в идеальном случае представляют собой линии скольжения. В случае "вязкого" микроразрушения в зернистых материалах (поликристаллах) микросдвиг происходит по границам зерен (кристаллов).

Таким образом, рассмотренные модели хрупкого и "вязкого" разрушения или их комбинации могут реализоваться в деталях двигателя как механизм деградации свойств материала за счет изменения плотности, разрыхления.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.1. Parkins R. N. Stress Corrosion Cracking and Embrittlement // Wiley, New York. – 1956. - p. 140.
2. Зуев В.В Об ударном нагружении мишени из композиционных материалов // Расчеты на прочность. – М.: Машиностроение. - 1989. - № 30. - с. 148 – 155.
3. Бойко В.И., Евстигнеев В.В. Введение в физику взаимодействия сильноточных пучков заряженных частиц с веществом. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
4. Kroner E. // J. Phys. F. G. B. - 1978. - N 8. - P. 2261 – 2267.
5. Hill R. // J. Phys. Solids. - 1967. - Vol. 15. - P. 319 – 329.
6. Самарский А.А., Попов Ю.П. Разностные ме-

тоды решения задач газовой динамики. – М.: Наука, 1980. – 178 с. 7. Orowan E. Reports on Progress in Physics. – 1949. – p. 185. 8. Ивлев Д.Д. Механика пластических сред. – М.: Физмат. Лит, 2001. – Т. 1. – 445 с. 9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред. – М.: Физматгиз, 1963. – 234 с. 10. Cazaud R., Pomey G., Rable R., Janssen Ch. La fatigue des metaux. – Dunod, Paris, 1969. – 143 p. 11. Буренин А.А., Ковтанюк Е.В. Об остаточных напряжениях в окрестности цилиндрического дефекта сплошности вязкоупругопластического материала // Прикладная механика и техн. физика, 2006. – 235 с. 12. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М.: Наука, 1966. – 707 с. 13. Чигарев А.В., Кравчук А.С. Механика контактного взаимодействия тел с круговыми границами. – Мн.: “Техноприт”, 2000. – 198 с. 15. Чигарев А.В. Стохастическая и регулярная динамика неоднородных сред/ Под ред. Шемякина Е.И. – Мн.: УП “Техноприт”, 2000. – 426 с.

ПРОЦЕССЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

УДК. 621. 94. 084

Дечко Э.М., Воронович А.В., Шмачков В.В.

УСЛОВИЯ СТРУЖКООТВОДА ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В обработке металлов резанием последнее десятилетие характеризуется дальнейшей интенсификацией процессов точения, фрезерования и сверления. Увеличение производительности, снижение себестоимости обработки и высокое качество изделий достигается за счет комплекса решений: использование высокоскоростных станков и современных инструментальных материалов с одно-, четырехслойными износостойкими покрытиями; совершенствование и создание новых конструкций инструментов для различных групп обрабатываемых материалов; увеличение режимов резания; совмещение и концентрация операций; сокращение вспомогательных времен и др.

Общая тенденция – это меньшее применение свёрл из быстрорежущих сталей без покрытий, использование режущей части из твердого сплава с покрытиями, различными вариантами ее крепления и заточек для дробления стружки, подвод СОЖ непосредственно в зону резания / сверла фирм Guhring, KENNAMETAL HARTEL, SANDVIK Coromant, ISCAR, SECO, STOCK, Walter, Mitsubishi и др./.

При сверлении глубоких отверстий диаметром до 20 мм одна из проблем – это отвод стружки и необходимость периодического вывода свёрла для ее удаления. В общепринятой терминологии к глубоким относят отверстия глубиной $10d$, где d – диаметр сверла. В справочнике Технолога-машиностроителя, т.2, предусматриваются коэффициенты уменьшения режимов резания до 0,5 и 0,75, соответственно на скорость резания и подачу при глубине отверстия $10d$. Уменьшающие коэффициенты приводятся для глубин $4...10d$ [1]. Кроме того, известны рекомендации по периодическому выводу сверл для удаления стружки, т.е. работа в режиме “step by step”, что приводит к снижению производительности.

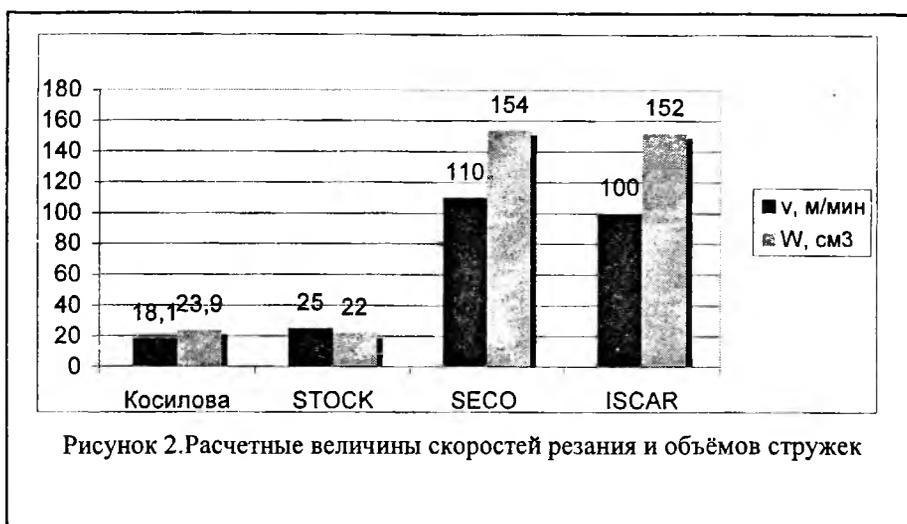
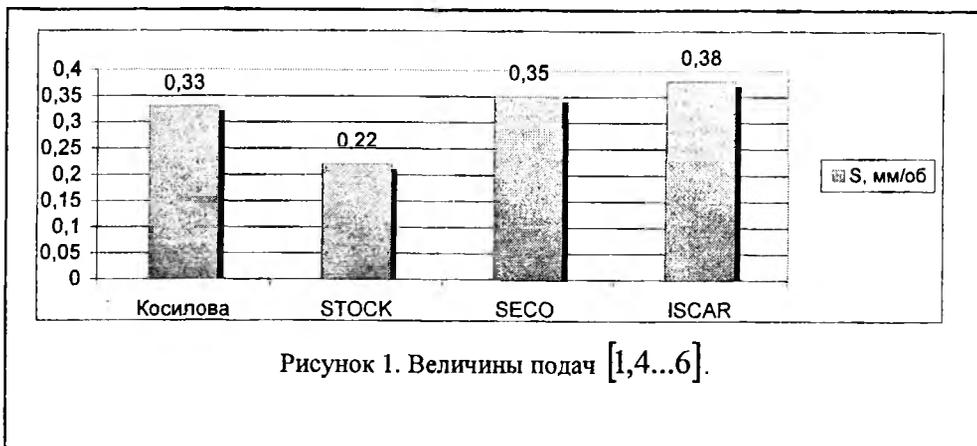
Одно из решений проблем стружкоотвода и стружкодробления нашло, как известно, в разделении рабочей части сверла на транспортирующую с увеличенным углом ω и режущую с оптимальной ее заточкой для соответствующих условий применения. Это, например, сверла НПЛ-1,2 / Тольятти /, СКБ-8 /шнековые, Минск /, сверла БПИ, турбинные, червячные, винтовые, с крутой спиралью /фирмы Dozmer, Stock, Gunther и др./ В этих сверлах углы $\omega = 31, 34, 40, 45, 60, 65^\circ$; $2\varphi = 60, 90, 100, 120, 140^\circ$ [2]. В сверлах для глубокого сверления используются различные формы и параметры поперечных сечений стружечных канавок, оказывающие влияние на размещение стружек, условия их отвода и охлаждения режущей части [3].

Для примера по данным справочников и каталогов рассчитаны некоторые параметры процесса сверления глухого отверстия для $d=16$ мм, глубина $5d$, твёрдосплавными свёрлами с внутренними каналами для подвода СОЖ [4...7]. Обрабатываемый материал – Сталь 45, $\sigma_b=750$ МПа, табл.1,(рис. 1, рис. 2.).

Таблица 1

Углы в плане (2φ), подачи и площади сечения среза для свёрл

	2φ, градусы	Материал режущей части	Подачи, мм/об	Площадь среза, мм ²
Косилова, [1]	118	Быстрорежущая сталь	0,28–0,33	5,227–6,159
STOCK, [2]	130	Быстрорежущая сталь	0,22	3,884
SECO, [3]	140	Твёрдый сплав	0,2–0,38	3,007–6,470
ISCAR, [4]	140	Твёрдый сплав	0,35	5,959

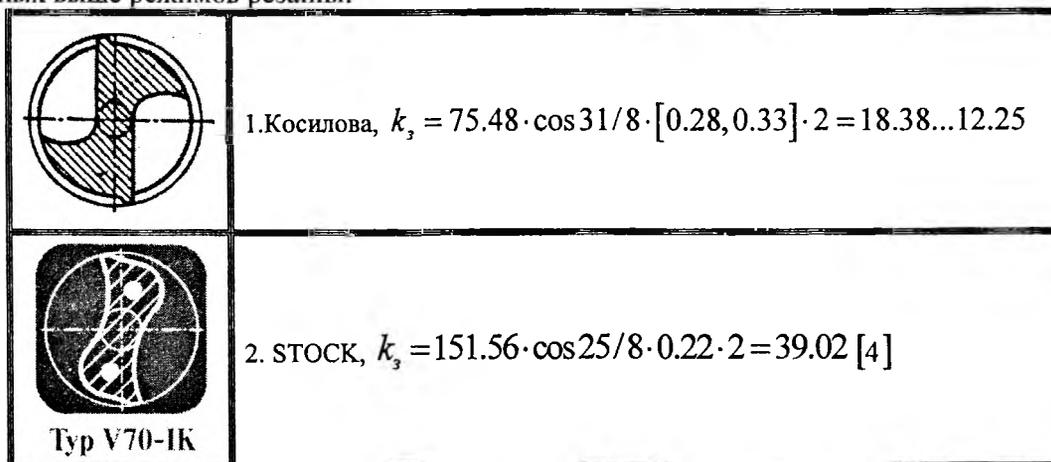


Расчеты показали, что объемы срезаемого слоя металла выше для сверл фирмы SECO, хотя рекомендуемые величины подач несколько выше для сверл фирмы ISCAR.

Для стабильного транспортирования стружки из зоны резания необходимо иметь достаточные объемы стружечных канавок. Поэтому для сверл для глубокого сверления следовало бы, как и для протяжек, учитывать заполнение стружечных канавок k_3 , что можно определить по отношению площади S_x канавки сверла в нормальном сечении к площади F_{cp} срезаемого слоя металла.

$$k_3 = \frac{S_x}{F_{cp}}$$

Это наглядно представлено на различных профилях поперечных сечений сверл для рассчитанных выше режимов резания:



	<p>3. SECO. $k_s = 151.56 \cdot \cos 25 / 8 \cdot 0.22 \cdot 2 = 39.02$ [5]</p>
	<p>4. ISCAR, $k_s = 67.22 \cdot \cos 20 / 8 \cdot 0.35 \cdot 2 = 11.279$ [6]</p>

После дробления стружки в зоне резания улучшение условий её отвода достигается путём изменения угла ω наклона винтовой канавки спиральных свёрл. При увеличении ω от 27° до 60° увеличиваются силы P' , проталкивающие стружку вдоль оси к хвостовику сверла (рис.3.). Для свёрл с углами $\omega = 45^\circ$ и 60° эта сила увеличивается по сравнению со свёрлами с $\omega = 27^\circ$ соответственно в 1,5...2,0 раза (рис.3).

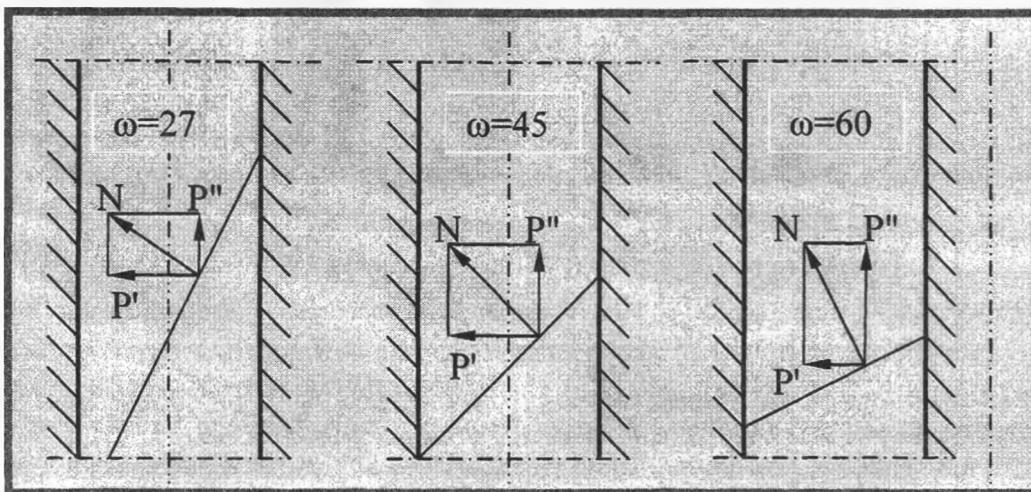


Рисунок 3. Влияние угла ω на величину силы P'' .

Таким образом, при разработке конструктивных и геометрических параметров специальных свёрл для глубокого сверления, на наш взгляд, желательно анализировать не только закономерности формирования стружки в зоне резания, но и движение стружек в канавках различного типа с учетом степени их заполнения стружкой.

ЛИТЕРАТУРА

1.Справочник технолога – машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 /Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. 496 с., ил. 2. Э.М. Дечко. Интенсификация процесса сверления глубоких отверстий всталях: Учебное пособие. – Минск, РМ ИПК, 1989. – 69 с. 3. Формообразующие инструменты в машиностроении: учебн. Пособие / А.Г. Схиртладзе, Л.А. Чупина и др.—М. : Новое знание, 2006. – 557 с. : ил. 4.Каталог STOCK,IK – Spiralbohrer Kühlkanalbohrer mit V-Profil.2005. 5.Каталог Seco selection. 2002 (часть общего ассортимента). 6.Общий каталог ISCAR.2007.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РОТАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ ПРИ ЕГО МОДЕЛИРОВАНИИ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Реализация предложенного в работе [1] научно-методического подхода к аналитическому определению составляющих силы резания при ротационном точении связана с необходимостью определения ширины v , и толщины a , срезаемого каждого элементарного участка режущей кромки в узловой точке M_i . Вторая задача определяется переходом от традиционного разложения силы резания на составляющие P_z , P_y и P_x к составляющим dP_{oi} , dP_{ri} и $dP_{\tau i}$ в произвольной точке M_i режущей кромки, направленным соответственно параллельно оси ротационного реза, по радиусу его режущей кромки и касательно к ней.

Для решения этих задач рассмотрим следующие системы координат (рис.1):

1) традиционную – XYZ с началом в точке B – вершине режущего лезвия (AB – активный участок);

2) систему $X'Y'Z'$, которая преобразуется из системы XYZ путем ее поворота на установочный угол φ вокруг оси Z (в этой системе измерялись экспериментальные значения составляющих силы резания);

3) систему $X_1Y_1Z_1$, преобразуемую из предыдущей системы $X'Y'Z'$ путем ее поворота вокруг оси X' на установочный угол β_y вокруг оси X' ;

4) первичную систему $X_pY_pZ_p$, связанную с резцом и образуемую параллельным переносом начала координат системы $X_1Y_1Z_1$ из точки B в точку O_1 в плоскости круговой режущей кромки радиусом r (в этой системе первично задаются координаты произвольной точки M_i режущей кромки и по ее осям направлены элементарные составляющие силы резания dP_{oi} и dP_{ri}).

Ширина срезаемого слоя v определяется по углу θ контакта режущей кромки с поверхностью резания и ее радиусу r , как $v = r\theta$ (θ – в радианах). Угол θ определяется с учетом радиуса кривизны поверхности резания в сечении плоскостью, проходящей через режущую кромку [2, 3]:

$$\theta = \arccos \left[1 - \frac{t + 2\rho \sin \varphi_y \cdot \sin \psi_b}{2r \cdot \sin^2 \varphi_y (r + \rho)} \right], \quad (1)$$

где t – глубина резания; β_y и φ_y – установочные углы реза относительно обработанной поверхности радиуса R_0 соответственно в вертикальной и горизонтальной плоскостях (вершина B реза – на уровне центров станка); ψ_b – угловая координата вершины B реза в первичной системе координат $X_pY_pZ_p$;

$$\rho = \frac{R_0 \cdot \sin \varphi_y}{\cos^2 \beta_y \cdot \sin^3 \psi_b}, \quad (2)$$

$$\psi_b = \arccos \frac{\operatorname{tg} \varphi_y}{\sin \beta_y} \quad (3)$$

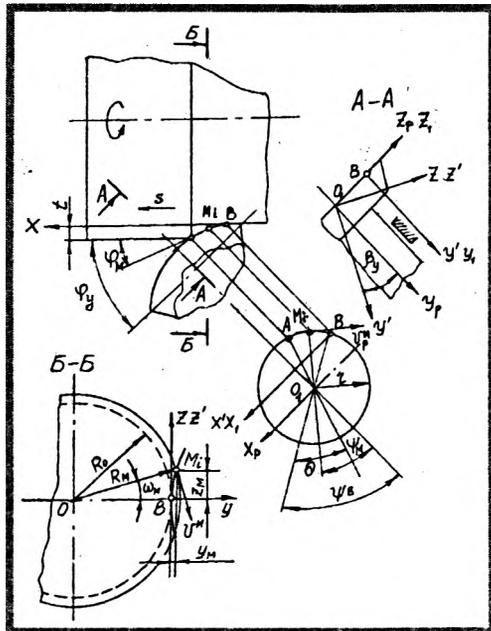


Рис. 1. Схема для расчета геометрических параметров процесса ротационного точения (обратная схема резания)

Количество элементарных участков при моделировании процесса [1] определяется как $n = \frac{\theta}{d\psi}$, где $d\psi$ - угол контакта элементарного участка режущей кромки в пределах ее активного участка.

Угол контакта ψ узловых точек M_i элементарных участков кромки находится в диапазоне $\psi_0 - \theta \leq \psi_m \leq \psi_0$. Величина $d\psi$ выбирается в зависимости от требуемой точности расчета в пределах 0,02...0,20 радиан.

Толщина a_m для произвольной точки M_i активного участка AB режущей кромки в соответствии с общепринятым определением рассматривается как расстояние по нормали к поверхности резания в точке M_i между двумя смежными поверхностями резания, смещенными друг относительно друга на величину подачи S .

Для аналитического определения величины a_m используется аппарат векторной алгебры и логические соображения. Сначала выражаем в параметрическом виде уравнения режущей кромки в первичной системе координат $X_p; Y_p; Z_p$:

$$\begin{cases} X_p = -r \sin \psi \\ Y_p = 0 \\ Z_p = r \cos \psi \end{cases} \quad (4)$$

где ψ - текущий угловой параметр, задав величину которого, например ψ_m , получаем координаты точки M_i .

Координаты произвольной точки M_i преобразуем путем перехода от первичной системы координат к традиционной XYZ , что позволяет из геометрических соображений (см. сечение Б-Б на рис. 1) определить величины R_m и ω_m :

$$R_m = \sqrt{(R_0 + y_m)^2 + Z_m^2} \quad (5)$$

$$\sin \omega_m = \frac{r}{R_m} (\cos \psi_m - \cos \psi_0) \cos \beta_y, \quad (6)$$

где Y_m и Z_m - координаты рассматриваемой точки M_i режущей кромки в системе координат XYZ :

$$Y_m = r [(\sin \psi_0 - \sin \psi_m) \sin \varphi_y + (\cos \psi_m - \cos \psi_0) \sin \beta_y \cdot \cos \beta],$$

$$Z_m = r (\cos \psi_m - \cos \psi_0) \cos \beta_y.$$

Учитывая, что на активном участке AB режущей кромки последняя располагается на поверхности резания, находим уравнения двух поверхностей резания, смещенных друг относительно друга величину S . Поскольку нормаль N к поверхности резания перпендикулярна к касательной плоскости в рассматриваемой точке M_i , составляем векторное произведение (7) двух векторов \vec{V}_μ и \vec{V}_π , лежащих в этой плоскости, которое и будет определять искомый вектор \vec{N} .

$$\vec{N} = \vec{V}_\mu \times \vec{V}_\pi \quad (7)$$

Совместное решение полученных систем уравнений позволяет определить длину отрезка нормали N между двумя положениями поверхности резания, равную толщине a_m срезаемого слоя в рассматриваемой точке M_i .

$$a_m = \frac{-f_1 \pm \sqrt{f_1^2 - f_2 \times f_3}}{f_2}, \quad (8)$$

где f_1, f_2, f_3 - сложные системы тригонометрических уравнений, зависящие от условий обработки ($R_0, r, \beta_y, \varphi_y, \psi_0, \psi_m, V_p, V$).

Полученный алгоритм расчета толщины среза для любой точки режущей кромки учитывает все геометрические и кинематические особенности процесса ротационного резания. Однако для решения практических задач определенные затруднения вызывают большой объем вычислений. Поэтому на первых этапах моделирования процесса предлагается упростить расчетную схему, заменив криволинейный участок режущей кромки в окрестностях точки M_i прямой линией $M_i C'$, касательной к режущей кромке (рис. 2). Тогда:

$$a_m = M_i C' = S \frac{\sin \varphi_\mu}{\cos \varphi_\mu \cos \omega_\mu} \quad (9)$$

где φ_m – главный угол в плане в точке M_i ,

$$\cos \varphi_m = \frac{\cos \psi_\mu \cdot \cos \varphi_y + \sin \beta_y \cdot \sin \varphi_y \cdot \sin \psi_\mu}{\sqrt{\cos^2 \psi_\mu + \sin^2 \psi_\mu \cdot \sin^2 \beta_y}} \quad (10)$$

Подставив вычисленные значения углов φ_m и ω_m по формулам (6) и (10) в уравнение (9) определяем искомую приближительную величину толщины среза a_m , которая будет отличаться геометрически от “точного” значения на величину отрезка CC' . Все полученные аналитические зависимости справедливы для обратной схемы резания [2]. При прямой схеме в формулах угол φ_y имеет знак «минус».

Для оценки погрешности предложенного упрощения были произведены расчеты по обеим предложенным методикам при следующих исходных условиях: $R_o = 50$ мм, $r = 16$ мм, $\beta_y = 25^\circ$, $\varphi_y = 35^\circ$, $t = 2,5$ мм, $S = 0,3$ мм/об.

Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Анализ результатов расчета (табл. 1) показывает, что относительная погрешность приближенной методики расчета a_m не превышает 7-8%, причем абсолютная величина погрешности составляет менее 6 мкм. По мере удаления рассматриваемой точки M_i режущей кромки от ее вершины B относительная погрешность уменьшается до 4-5%. Поэтому для дальнейших практических расчетов целесообразно пользоваться предложенной упрощенной методикой расчета толщины срезаемого слоя в узловых точках режущей кромки при ее разбиении на участки при моделировании процесса ротационного резания

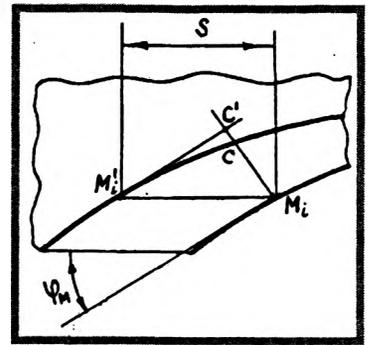


Рис. 2. Схема для упрощенного расчета толщины срезаемого слоя в узловой точке M_i элементарного участка режущей кромки

Таблица 1. Расчетные значения толщины среза a_m (мкм) и погрешности расчетов

	Угловой параметр ψ_μ точки M_i , град				
	$\psi_\mu - 5^\circ$	$\psi_\mu - 10^\circ$	$\psi_\mu - 20^\circ$	$\psi_\mu - 30^\circ$	$\psi_\mu - 40^\circ$
Уточненная методика	17	39	74	104	125,5
Приближенная методика	18,2	41,5	79	109	130
Абсолютная Погрешность, мкм	1,2	2,5	4	5	5,5
Относительная погрешность, %	7,0	6,4	5,4	4,8	4,3

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидоренко В.А. Научно-методические положения теоретического определения сил при ротационном резании // Теория и практика машиностроения, 2005, № 2. 2. Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А., Соусь А.В. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов. – Мн.: Наука и техника, 1972, 3. Ящерицын П.И., Борисенко А.В., Дривотин И.Г., Лебедев В.Я. Ротационное резание материалов. – Мн.: Наука и техника, 1987.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РОТАЦИОННОГО ТОЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Среди различных методов упрочнения и восстановления деталей машин известна и широко применяется в промышленности технология газопламенного напыления на рабочие поверхности деталей износостойких покрытий из порошков самофлюсующихся сплавов ПГ-СР (ГОСТ 21448-75; ТУ 14-1-3795-85).

Химический состав этих материалов отличается высоким содержанием никеля, хрома, бора, кремния, что обуславливает их высокую твердость, износостойкость и одновременно низкую обрабатываемость резанием. Различные виды обработки резанием используются как финишные операции для удаления дефектного поверхностного слоя, образующегося после напыления, толщина которого может достигать 1,0-1,5 мм.

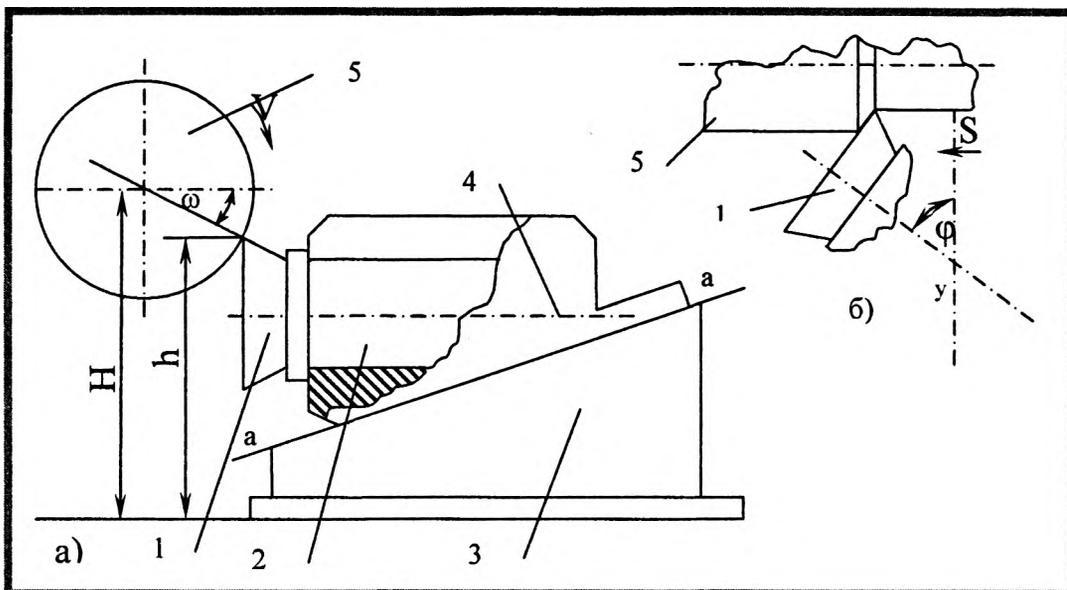


Рис. 1. Компонновка одноповоротного резцедержателя (а) и его установка в горизонтальной плоскости (б) на угол φ (обратная схема резания)

При точении хромоникелевых покрытий наибольшую стойкость обеспечивают резцы, оснащенные СМП из твердых сплавов группы ВК. При режимах резания $V = 0,4 \dots 0,7$ м/с, $S = 0,1 \dots 0,3$ мм/об, $t = 0,4 \dots 0,7$ мм стойкость инструмента не превышает 10...15 мин, а при твердости покрытий свыше 55 HRC применение стандартных твердосплавных резцов становится практически невозможным.

Одним из важных резервов решения проблемы обрабатываемости износостойких покрытий заложен в использовании ротационного резания, позволяющего в десятки раз повысить стойкость инструмента или в несколько раз увеличить производительность обработки с одновременным обеспечением высокого качества обработанной поверхности [1-4].

При реализации ротационного резания важным этапом является выбор схемы установки режущей части инструмента относительно обрабатываемой поверхности и конструкции его подшипникового узла. Значительная неравномерность припуска на обработку, а также высокие значения физико-механических свойств материала порошковых износостойких покрытий определяют повышенные требования к жесткости подшипниковых узлов. Используемые в них подшипники качения должны обладать достаточно большими размерами и высокой несущей способностью для обеспечения безвибрационного устойчивого резания при относительно больших статических и динамических нагрузках. Размещение ротационного резца с достаточно развитым и жестким подшипниковым узлом и обеспечение устойчивого самовращения режущей чашки в широких диапа-

зонах изменения технологических параметров обеспечивает использование второй геометрической схемы ротационного резания [5].

Использовался специальный одноповоротный резцедержатель ротационного резца, установленный на токарно-винторезном станке мод. 1А620 вместо штатного резцедержателя (рис. 1). Специальный резцедержатель состоит из основания 3, на наклонной плоскости «а-а» которого закрепляется ротационный резец 2. Для регулирования угла ω установки режущей чашки 1 относительно оси обрабатываемой заготовки 5 предусмотрена возможность перемещения корпуса 4 по базовой плоскости «а-а» и соответствующего изменения высоты h точки касания режущей чашки 1 с заготовкой 5 диаметром D . Высота h рассчитывается из геометрических соображений по формуле:

$$h = H - \frac{D}{2} \sin \omega, \quad (1)$$

где H - высота центров станка, ω - угол установки резца в вертикальной плоскости.

Ротационный резец для обработки упрочняющих покрытий (рис.2) отличается повышенной жесткостью, что обеспечивается установкой в корпусе 2 двух рационально-упорных подшипников 3 в самой нагруженной, передней опоре шпинделя 6. На его конце закреплена режущая чашка 1 (пластина формы 12050 ГОСТ 25403-83 из твердого сплава ВК6. Наружный диаметр режущей чашки равен 46 мм, который после переточек уменьшался до 35 мм.

Задняя опора содержит один радиально-упорный подшипник 7. Между наружными и внутренними кольцами подшипников 3 и 7 установлены распорные втулки 4, 5, создающие предварительный натяг в подшипниках.

Для охлаждения подшипникового узла и возможного подвода СОТС на рабочие поверхности режущей чашки 1 в осевом отверстии шпинделя 6 находится штуцер 9, закрепленный в крышке 8. В качестве СОТС при «сухом» резании может быть использован воздух из цеховой пневмосети.

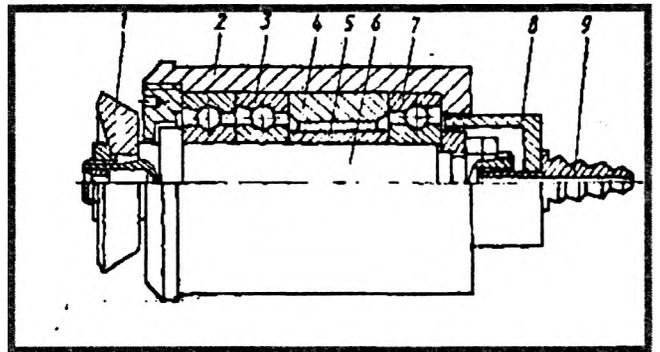


Рис. 2. Ротационный резец повышенной жесткости с внутренним подводом СОТС

Известно [1], что при ротационном резании вследствие обновления активного участка режущего лезвия инструментальный материал находится в условиях непрерывного изменения тепловых и силовых нагрузок, что напоминает условия фрезерования. Поэтому применение СОТС в виде жидкости, подаваемой в зону резания, интенсифицирует процесс термоусталостного износа твердых сплавов. В связи с этим целесообразнее использовать смазывающие пластичные среды, снижающие коэффициент трения на рабочих поверхностях инструмента. Это способствует снижению шероховатости обработанной поверхности на 12-20% и интенсивности колебаний ротационного резца до 30% [2].

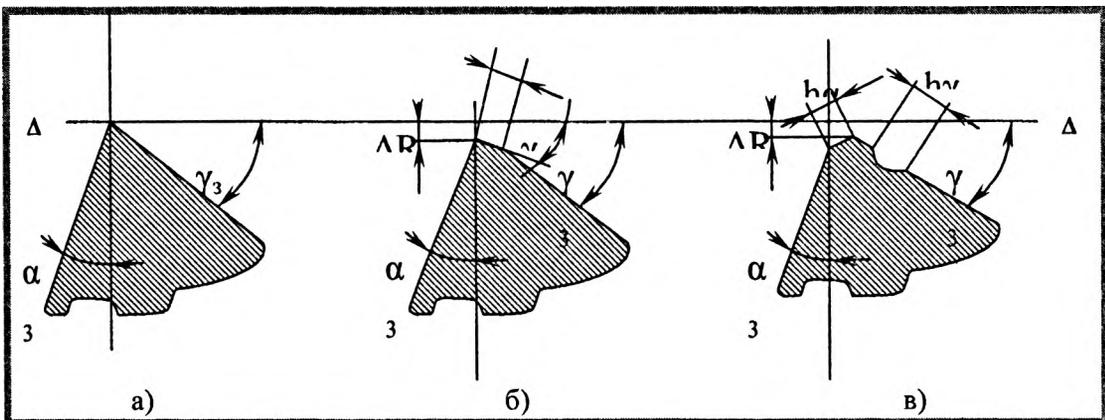


Рис. 3. Развитие износа рабочих поверхностей ротационного резца: а) резец после заточки б) образование площадки износа h_γ с углом γ_n по передней поверхности, ΔR – уменьшение радиуса режущей кромки; в) возникновение лунки h_n на передней поверхности и площадки h_α по задней поверхности

Для изучения обрабатываемости износостойкого порошкового покрытия ПГ-СР-ОМ (твердость – до 48HRC) ротационным резцом и характера износа его рабочих поверхностей обтачивались детали в виде валиков диаметром 34 мм и длиной 95 мм. На поверхность деталей предварительно наносились покрытия газопорошковой наплавкой с применением ацетилен-кислородного пламени газовых горелок типа ТЕНА-ГН-ПМ. Режим резания при ротационном точении ($V = 2$ м/с, $S = 0,3$ мм/об) обеспечивал более чем 4-х кратное увеличение производительности по сравнению с общепринятым режимом резания для стандартных призматических резцов ($V = 1$ м/с, $S = 0,14$ мм/об). Глубина резания в обоих случаях была $t = 0,25$ мм. При использовании призматического резца его катастрофический износ наступал после достижения длины резания 7-12 мм, что соответствовало 5-10 м пути резания. Ротационный резец обрабатывал 10-12 деталей, или 400-500 м пути резания.

Таким образом, стойкость ротационного инструмента по сравнению с обычным традиционным при точении износостойких порошковых покрытий может быть повышена в десятки раз.

Изучение характера износа рабочих поверхностей ротационного резца на инструментальном микроскопе выявило ряд особенностей при обработке износостойких порошковых покрытий. Известно [1-3], что при обработке конструкционных сталей по физико-механическим свойствам, близким к стали 45, при малых глубинах резания и подачах износ ротационных резцов, как и призматических, происходит преимущественно по задней поверхности. Для ротационного инструмента этот факт обусловлен и более высокой скоростью трения задней поверхности относительно поверхности резания по сравнению со скоростью перемещения стружки по передней поверхности. Риски на передней и задней поверхностях свидетельствуют об абразивном характере износа.

При точении ротационными резцами износостойких порошковых покрытий изнашивание рабочих поверхностей инструмента отличается преимущественным износом по передней поверхности (рис. 3). Первоначально на обеих рабочих поверхностях инструмента появляются блестящие полосы, более отчетливые на передней поверхности. Затем полости на передней поверхности превращаются в риски, микроканавки, направление которых перпендикулярно к режущей кромке, что свидетельствует о переходе при ее самовращении к схеме прямоугольного резания и абразивном виде изнашивания передней поверхности. На задней поверхности заметны изъязны, характерные для адгезионного износа. Фаска износа по передней поверхности появляется первой и растет до определенной величины $h\gamma$ (рис.3,б) без образования фаски $h\alpha$ по задней поверхности. Последняя, по-видимому, образуется, но интенсивность роста фаски $h\gamma$ значительно выше и поэтому фаска на задней поверхности “съедается” с образованием новой режущей кромки с уменьшенным диаметром (на $2 \Delta R$). В дальнейшем на передней поверхности появляется и начинает развиваться лунка (рис.3,в), одновременно фиксируется развитие фаски $h\alpha$ по задней поверхности. Установленный характер и развитие износа по рабочим поверхностям ротационного резца затрудняет выбор критерия затупления на основе измерения $h\alpha$ и $h\gamma$. В связи с этим в производственных условиях целесообразно использовать технологический критерий затупления, выражающийся в резком увеличении шероховатости обработанной поверхности. Этот подход был экспериментально обоснован результатами испытаний, которые представлены на рис. 4.

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы:

1). Отмечено незначительное уменьшение шероховатости после обработки 2-ой детали, что можно объяснить нагревом подшипникового узла ротационного резца, уменьшением возможных зазоров в стыках и биения его режущей кромки.

2). Вплоть до 10-ой детали шероховатость обработанной поверхности изменяется в относительно узком диапазоне (R_a 0,75 до 1,0 мкм), а после 11-ой детали резко возрастает. Для данных

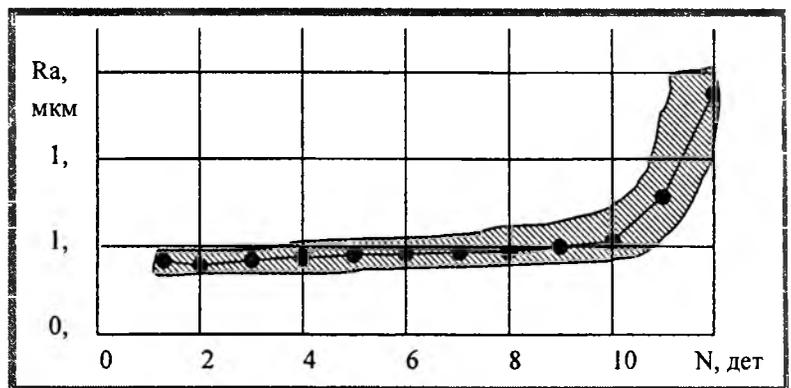


Рис. 4. Зависимость параметра шероховатости R_a обработанной поверхности от количества деталей N (заштрихованное поле – поле рассеивания значений R_a)

технологических условий суммарная длина резания (10-11 деталей), равная 950-1000 мм, может служить критерием затупления ротационного резца.

Рекомендации по выбору оптимальных конструктивно-технологических параметров ротационного точения износостойких порошковых покрытий из самофлюсующихся сплавов типа ПГ-СРЗ-ОМ твердостью до 48 HRC:

Геометрическая схема установки ротационного резца – вторая (одноповоротная).

Схема резания – обратная.

Конструкция подшипникового узла ротационного резца – повышенной жесткости с 2-мя радиально-упорными подшипниками в передней опоре (рис. 2).

Режущая чашка диаметром 46 мм (форма 12050 ГОСТ 25403-83 из твердого сплава группы ВК).

Угол установки оси резца: $\varphi_y = 15^\circ$, $\omega = 25^\circ$.

Углы заточки режущей чашки ротационного резца: $\gamma_\omega = 25^\circ$, $\alpha_3 = 20^\circ$, упрочняющая фаска на передней поверхности $f = 0,1-0,3$ мм под углом $\gamma_{cp} = 0...5^\circ$.

Шероховатость рабочих поверхностей резца - R_a не более 0,30 мкм, радиальное и осевое биение режущей кромки не более 0,005...0,008 мм.

Режим резания: V – до 5 м/с, $S = 0,3$ мм/об, $t = 0,2$ мм. Подача на переднюю поверхность резца пластичной смазки на основе солидола с добавкой 2% дисульфида молибдена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А., Соусь В.В. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов.- Мн: Наука и техника, 1972. г. 2. Ящерицын П.И., Борисенко А.В., Дривотин И.Г., Лебедев В.Я. Ротационное резание материалов. – Мн.: Наука и техника, 1987. 3. Шатуров Г.Ф., Мрочек Ж.А. Прогрессивные процессы механической обработки поверхностей. – Мн.: УП “Технопринт”. 2001. 4. Обработка износостойких покрытий /Под общей ред. Ж.А.Мрочека. – Мн.:Дизайн ПРО, 1997. 5. Лебедев В.Я Сидоренко В.А. Особенности ротационного точения стаеклопластиков. В сб. научных трудов “Машиностроение”, вып. 22., Минск, 2007.

УДК. 94. 084

Дечко Э.М., Гутфрайнд О.А., Денисович М.И.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

*Белорусский национальный технический университет
Представительство фирмы ISCAR, Минск*

Современное развитие машиностроения в условиях глобализации и конкуренции непосредственно связано с повышением требований к металлорежущему оборудованию, с применением новых технологий, обеспечивающих высокие производительность обработки и износостойкость инструментов, точностные параметры изделий, надежность и долговечность деталей машин и механизмов.

В последние годы в Беларуси значительно увеличился парк высокоскоростных станков, что потребовало применения инструментов со сменными твердосплавными пластинами, работающих на высоких режимах резания.. На белорусском рынке присутствует продукция фирм Sandvik Coromant, Швеция, Sandvik-MKTC; ISCAR, Израиль; SECO, Швеция; PRAMET, Чехия; MITSUBISHI CARBIDE, Япония. Новая компания на рынке республики -- «Taegu Tec», Корея. Из российских производителей максимальные объемы поставок твердосплавного инструмента осуществляет Кировоградский завод твердых сплавов.

Одна из проблем при покупке современного инструмента -- это его цена, которая обычно выше цены отечественного. Однако следует учитывать показатель «Цена-Качество» и что стоимость инструмента в конечном счете составляет 3...5% от себестоимости готовой продукции. При правильном выборе инструмента и режимов резания сокращается время на обработку, значительно увеличивается объем снимаемой стружки в единицу времени, исключаются промежуточные операции, время на переустановку износившегося инструмента, повышается качество обработанной поверхности.

Многофункциональность инструмента позволяет сократить его номенклатуру и запасы на складе, повысить производительность оборудования. Сочетание современных твердых сплавов и оптимальной геометрии режущих пластин и вставок позволяет обрабатывать практически любые материалы с твердостью до 60HRC. Пластины на основе кубического нитрида бора используются при обработке закаленных сталей твердостью 45-65 HRC.

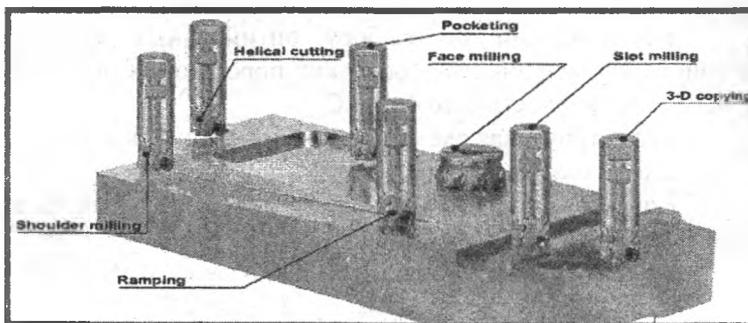


Рисунок 1 – Основные виды фрезерной обработки

Высокоскоростная обработка, HSM - High Speed Machining, наиболее интенсивно развивается при процессах точения, сверления и фрезерования, что связано с появлением новых конструкций станков, разнообразием конструкций инструментов, новых инструментальных материалов, специальных многослойных и нанопокровтий.

Процесс высокоскоростного фрезерования - один из широко применяемых в различных отраслях промышленности. Фрезерование позволяет выполнять самые разнообразные операции: обработка плоскостей, уступов, пазов сложной конфигурации, нарезания резьб и др., рис.1.

Фрезы – многозубый инструмент, отличающийся большим разнообразием типов, форм, конструкций и применений. Одно из преимуществ фрез состоит в том, что они позволяют производить фасонную обработку деталей, не требуя ни сложной установки, ни высокой квалификации рабочего.

Для высокоскоростной обработке используются фрезы со сменными пластинами, которые имеют ряд преимуществ перед напайными пластинами, а именно:

- исключение из производственного процесса трудоемких операций пайки и заточки, требующих дополнительных трудозатрат, специальных участков, технологической оснастки, оборудования и абразивного инструмента;
- значительное увеличение срока службы инструмента за счет смены режущих кромок пластин и использования одного корпуса при замене марки твердого сплава;
- максимальная унификация и взаимозаменяемость составных элементов, сокращение номенклатуры режущих пластин;
- возможность автоматизации замены инструмента и его отдельных частей без дополнительной настройки за счет высокой точности изготовления пластин, что позволяет значительно сократить время вспомогательных операций;
- возможность повышения режимов обработки при сохранении качества обрабатываемой поверхности за счет использования пластин с износостойким покрытием и др.
- На примере рассмотрим торцевые фрезы для высокоскоростного резания. Конструкция торцевой фрезы может иметь:
 - увеличенное или минимальное число зубьев, а следовательно, и соответствующий диаметр корпуса с учетом заданных условий обработки, отвода стружки и подачи СОЖ ;
 - возможность осевого и радиального регулирования положения режущих кромок фрезы;
 - надежность крепления режущих пластин в пазах корпуса или кассеты;
 - минимальное число элементов крепления режущих пластин;
 - минимальное количество элементов регулировки положения режущих кромок.

Некоторые способы установки и крепления пластин в корпусах фрез представлены на рис. 2.

Наибольшее распространение получили фрезы с креплением пластины непосредственно на посадочное место, соответствующее форме пластины. Крепление осуществляется винтом / винтовой тип крепления /, рис.2, а. Для исключения возможности смещения, опорная поверхность пластины и корпус могут иметь рифления, рис.2, б.

Для предотвращения повреждения посадочной поверхности при поломке пластины используют специальные подкладные пластины, рис.2 в, клиновое крепления пластин рис. 2 г или крепление прихватом рис.2 е.

Пластины *RCCW*, *ISCAR*, имеют нижний цилиндр, вставляющийся в отверстие гнезда пластины, рис. 2з, и обеспечивает жесткое крепление, воспринимая силы, приходящиеся на крепежный винт. Подпружиненный шарик, расположенный в гнезде, и карманы, выполненные по периферии пластинки, позволяют ориентировать последнюю в восьми положениях. Смена режущей кромки производится ослаблением винта, поворотом пластинки и затягиванием винта /снимать винт нет необходимости/.

Для достижения поверхности высокого качества производят подстройку вылета фрезерных пластин. Конструкция клинового регулирования пластин с точностью до 0,1 мм представлена на рисунке 2 (тип *ж*). В конструкции рисунка 2 (тип *и*) регулировка возможного вылета осуществляется полностью для всей кассеты посредством эксцентрика 2 при отжатых винтах 4.

Основными составными элементами сборных торцовых фрез являются режущая пластина, опорная пластина, элементы крепления пластины (винт с конической головкой, прихват, эксцентриковая головка и т.д.), кассета и корпус. В процессе работы, под действием сил резания составные элементы фрез деформируются, в результате чего возможно изменение форм и геометрических размеров, сдвиг элементов относительно друг друга, измененные контактные напряжения, способные при определенных условиях привести к разрушению пластин.

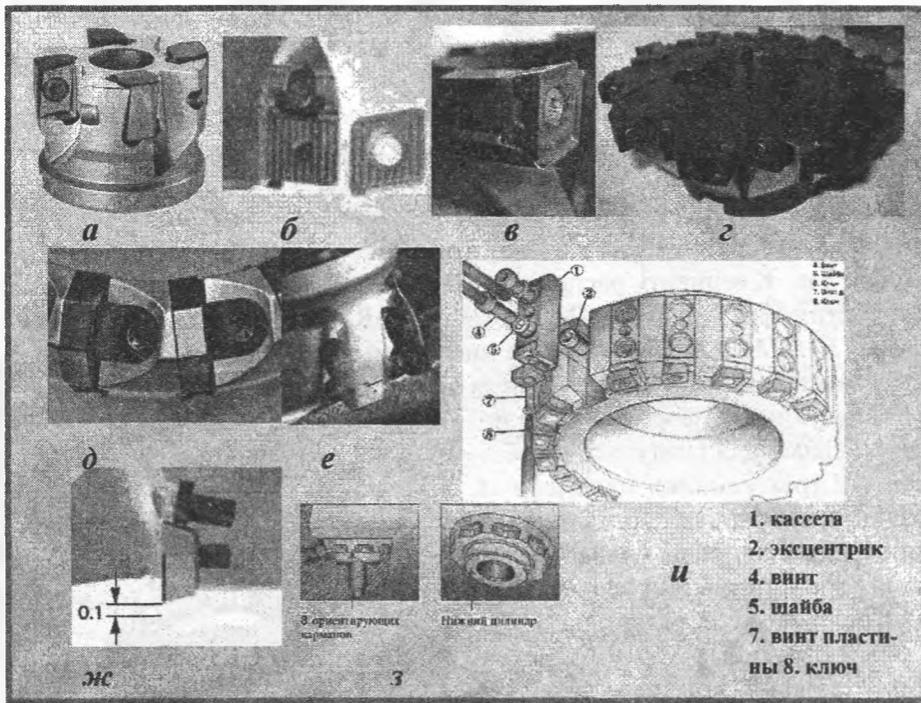


Рисунок 2 – Крепления сменных пластин в корпус фрез

К сборным торцовым фрезам предъявляют следующие требования:

- минимизация дисбаланса инструментальной оправки балансировки инструмента;
- минимизация массы фрезы за счет применения легких сплавов корпуса;
- прецизионная установка кассет и режущих пластин и элементов их крепления;
- высокоточное расположение базирующих поверхностей корпуса относительно оси вращения фрезы (соосность, биение поверхностей);
- выбор стабильных сил закрепления режущих элементов;
- обеспечение требований безопасности работы;
- обеспечение стабильного стружкодробления и достаточных объемов для размещения и удаления стружки;
- качественная сборка и выверка расположения режущих кромок инструмента относительно базирующих поверхностей и оси вращения.
- При оптимизации процесса скоростное фрезерование было наиболее эффективным, необходимо соблюдать ряд условий, главными из которых являются:
- выбор марки твердого сплава в зависимости от условий фрезерования (чистовое, черновое), механических характеристик срезаемого слоя, состояния фрезерного станка;

- выбор конструкции торцевой фрезы в соответствии с величиной припуска на обработку, жесткостью СПИД и мощностью фрезерного станка;
- выбор геометрии торцевой фрезы (переднего и заднего углов, угла наклона главной режущей кромки, главного угла в плане и др.) в соответствии с механическими свойствами срезаемого слоя и условиями фрезерования;
- механическое крепление пластин, исключающее образование на пластинах трещин и других дефектов;
- точная установка и прочное крепление торцевых фрез на станке;
- применение быстродействующих многоместных гидравлических и пневматических приспособлений, обеспечивающих быстрое и надежное закрепление обрабатываемых деталей;
- модернизация фрезерных станков с целью увеличения числа оборотов шпинделя, мощности электродвигателя главного привода, увеличения жесткости и виброустойчивости станка;
- назначение режимов фрезерования (подачи, скорости резания) в соответствии с заданной чистотой обработки поверхности, конструкцией фрезы, геометрией ее режущей части, материалом обрабатываемой детали, мощностью и жесткостью фрезерного станка и т.д.

Для достижения более высокого качества обрабатываемой поверхности и снижения усилий резания на зуб процесс фрезерования стараются приблизить к процессу шлифования, для этого применяют фрезы с мелким шагом.

Одна из новых конструкций фирмы ISCAR, торцевая фреза имеет мелкий шаг *F845-13*, что достигается при креплении пластины винтом, расположенным под углом относительно оси пластины, рисунок 3 *а*. К варианту расположения пластин с мелким шагом можно отнести клиновое крепление пластин, фреза *F45WG D200 z=28* (ISCAR), рисунок 3 *б*. Аналогичная фреза с винтовым креплением *F45HM D200* насчитывает число зубьев $z=12$.

При высокоскоростном фрезеровании используются следующие формы пластин: квадратная, треугольная, для контурного фрезерования (ломанный трехгранник), пятигранная, шестигранная, восьмигранная, ромбическая, круглая, длиннокромочная, специальная конструкция. Главный угол в плане при вышеуказанных пластинах в основном составляет: 45° (44° – для восьмигранной пластины), 75° , 90° . Максимальная глубина резания при использовании торцевых фрез ISCAR может достигать 21 мм. Для диаметра 250 мм при клиновом креплении пластин количество эффективно работающих зубьев 36 шт (торцевая фреза ISCAR: *F45WG D250-36-60-FX-R08*), рисунок 3 *б*.

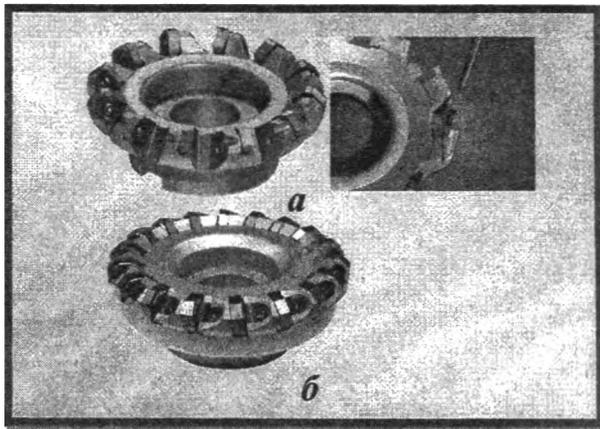


Рисунок 3 – Конструкция фрез ISCAR с мелким шагом

Разработчики фирмы ISCAR считают, что в настоящее время в инструменте производимом на их заводе используется около 30% от общего ресурса возможности проектирования и производства. Таким образом, изобретая новую конструкцию, геометрию, покрытия и пр., производитель зачастую ведет борьбу не только с другими производителями, но и конкурирует сам с собой, внедряя новые разработки и вытесняя старые.

Одна из новых разработок фирмы ISCAR - это новое семейство двухсторонних пластин с 4 спиральными режущими кромками *HELIDO 490* для фрезерования 90° уступов, рисунок 4 *а*. Длина пластины 17 мм таким образом глубина резания может доходить до 16 мм, шаг при осевой подаче до 10 мм. На рисунке 4 *б, в* представлены экономичные двухсторонние пластины с 8 (*HELIDO 845*) и 16 (*16 MILL*) режущими кромками соответственно. Пластина с 16-тью гранями может быть установлена в гнезде для 8-ми гранной, т.о. используя один корпус для двух типов пластин. Максимальная глубина обработки для 8-ми гранной пластины составляет до 7 мм. Максимальная глубина резания равна 5,5 мм, когда подразумевается использование всех 16 кромок, и достигает 13 мм, при использовании лишь 8 из них. Несмотря на увеличенную толщину, эти пла-

стины более экономичны по сравнению с обычной односторонней пластиной (в расчете стоимости на одну режущую кромку).

Основные преимущества:

- прочная конструкция пластины;
- положительные углы резания (меньшие силы резания);
- уменьшение тепловыделения;
- повышение качества поверхности, исключение дополнительного чистового фрезерования за счет зачистной кромки;
- жесткое крепление пластин в гнезде инструмента, выполненное по типу «ласточкин хвост», осуществляется резьбой M5;
- износостойкое покрытие HARD TOUCH для повышение стойкости корпуса;
- подвод СОЖ через корпус для обеспечения удаления стружки, повышая стойкость) рисунок 4 г.

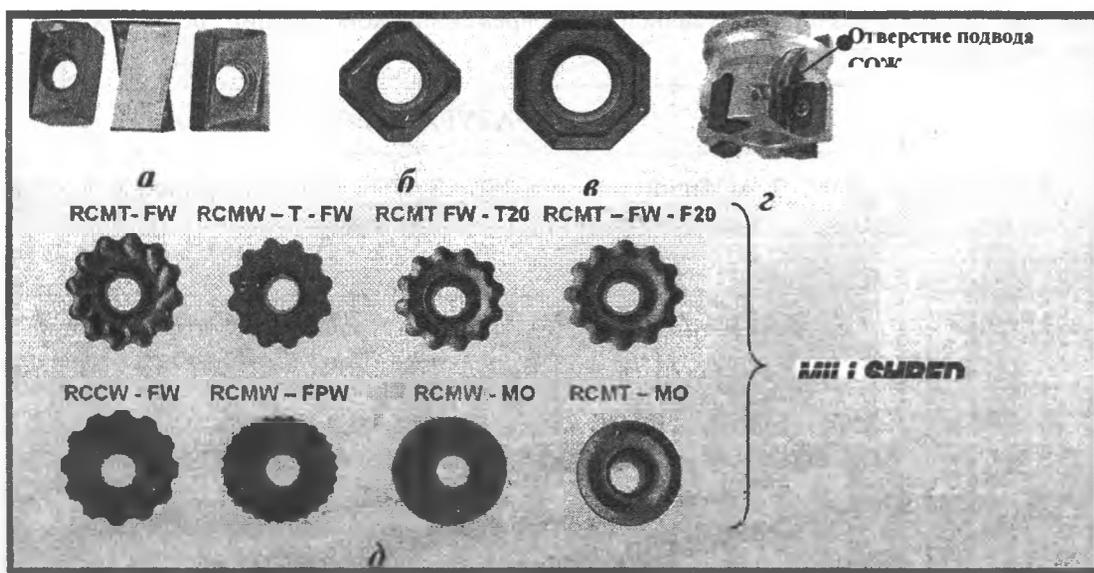


Рисунок 4 – Новые разработки ISCAR

Для обеспечения отвода стружки при обработке полостей и карманов фирмой предложены пластины со специальной формой (звездочка) для разделения стружки, рисунок 4 д, под названием **MILL SHRED**, которые устанавливаются в корпусе с поворотом на зуб. Стружка, образованная при использовании таких пластин и величины подач при различных глубинах резания представлены на рисунке 5 и в табл.1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ подач пластин **MILL SHRED**.

глубина резания ар, мм	обозначение пластины		
	RCMW-MO RCMT-MO	RCMT-FW RCMW-FW	RCMT-FW-T20 RCMT-FW-T20
	fz, мм/зуб		
8	0,20	0,25	0,12
5	0,40	0,30	0,15
3	0,75	0,35	0,20

Фирма ISCAR более 30 лет проводит испытания своей продукции, в первую очередь, на машиностроительных предприятиях республики, обеспечивая повышение производительности. Основным показателем при этом является сокращение времени на обработку за счет высоких режимов резания и высокого качества обработанных поверхностей. Например, согласно акту испытаний ОАО «Амкадор-Ударник» использование фрез ISCAR F90 LN D100-12-32-RN15 с 12 пластинами LNMT 1506 PNTN IC910 позволило сократить машинное время в 6,7 раза и обеспечить шероховатость поверхности порядка Ra=1 мкм. При этом выполняется обработка поверхности за один проход и исключается из техпроцесса разделение припуска на черновой и чистовой проходы.

Материал детали: чугун СЧ 20, отливка. Станок ОЦ 2206ВМ Ф4. Режимы резания фрезы ISCAR: $n=560$ об/мин ($V=176$ м/мин); $t=1,5$ мм; $Sf=800$ мм/мин ($Sz=0.12$ мм/зуб). Ранее применявшийся инструмент: фреза торцовая с наборными режущими вставками: $n=200$ об/мин ($V=63$ м/мин); $t=1,5$ мм; $Sf=120$ мм/мин ($Sz=0.05$ мм/зуб).

Инструменты фирмы ISCAR успешно работают более чем на 300 предприятиях Беларуси, среди которых РУП «МТЗ», РУП «МАЗ», РУП «МЗКТ», РУП «ММЗ», ОАО «Атлант» и др. За последний год объем внедрения инструмента ISCAR увеличился более чем в два раза, что связано с необходимостью снижением себестоимости продукции предприятий в том числе и за счет уменьшения энергоёмкости процесса резания, что зависит от современных конструкций режущих инструментов, их материалов и покрытий.

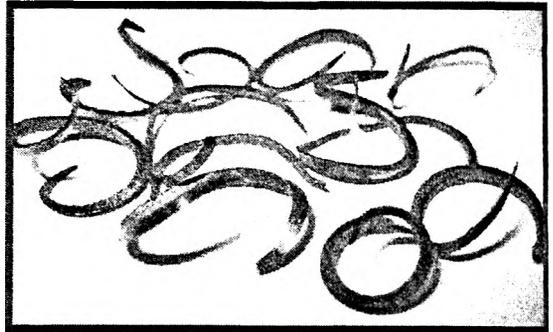


Рисунок 5 – Виды стружек при обработке сталей фрезами MILL SHRED

ЛИТЕРАТУРА

1. WWW.ISCAR.COM.
2. «Общий каталог» ISCAR LTD, 2005.
3. «Rotation tool» ISCAR LTD, 2008.
4. <http://www.ist-tilt.com/seco/frezer>.
5. <http://public.kompass.ua/publ/17-1-0-71>

УДК 621.993.187

Шагун В. И., Чарторийский А. В.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ МЕТЧИКОВ НА ОТКЛОНЕНИЯ ШАГА РЕЗЬБЫ В СТАЛИ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Резьбовые соединения широко используются в конструкциях машин, агрегатов, приборов, приспособлений и др. изделий различных отраслей промышленности. Эксплуатационные требования к резьбовым соединениям зависят от их назначения, и допускаемые отклонения должны быть строго регламентированы. Линейные размеры крепежных резьб выражаются в мм. У дюймовых резьб линейные размеры измеряются в дюймах.

Самым распространенным методом нарезания резьбы является нарезание резьбы метчиком, т.к. в корпусах и на изделиях больших габаритов резьбу получить другими методами практически невозможно, либо чересчур затратно.

На точность резьбообработки сильно влияют осевая и радиальная силы, возникающие во время резьбонарезания. Устранить их практически невозможно, однако есть возможность их уменьшить путем выбора рациональных схем резания, геометрии метчиков и патронов для их крепления или устранить их влияние путем различных компенсаторов, жестких конструкций патронов с принудительной подачей метчика, различной формой заточек, скруглений, а также различных конструкций метчиков.

Было проведено множество экспериментов которые выявили следующие зависимости точности резьбы от различной конструкции метчиков.

В процессе резьбообработки на метчик воздействуют осевая сила резания и внешняя осевая сила перемещения шпинделя станка при нарезании резьбы методом самозатягивания. Осевая сила

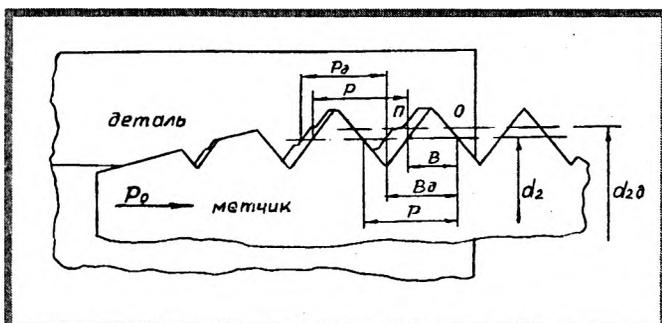


Рисунок 1. Положение метчика в отверстии при нарезании резьбы методом самозатягивания

P_0 выталкивает метчик из нарезаемого отверстия. Метчик сопротивляется, опираясь своими боковыми кромками O на уже образованные поверхности резьбы (рис.1). Эти силы достаточно большие и опорные кромки метчика O внедряются в тело уже образованных витков резьбы и снимают с них дополнительную стружку. Противоположные опорные кромки $П$ метчика отрываются от уже сформированных ими участков профиля, образуя на них ступеньки (рис.1). Впадина нарезаемой резьбы расширяется ($B_s > B$), средний диаметр резьбы увеличивается ($d_{2s} > d_2$), искажается шаг ($P_s < P$) и половина угла профиля по неопорным сторонам. Наступает так называемое разбивание резьбы. По опорным сторонам шаг и половина угла профиля

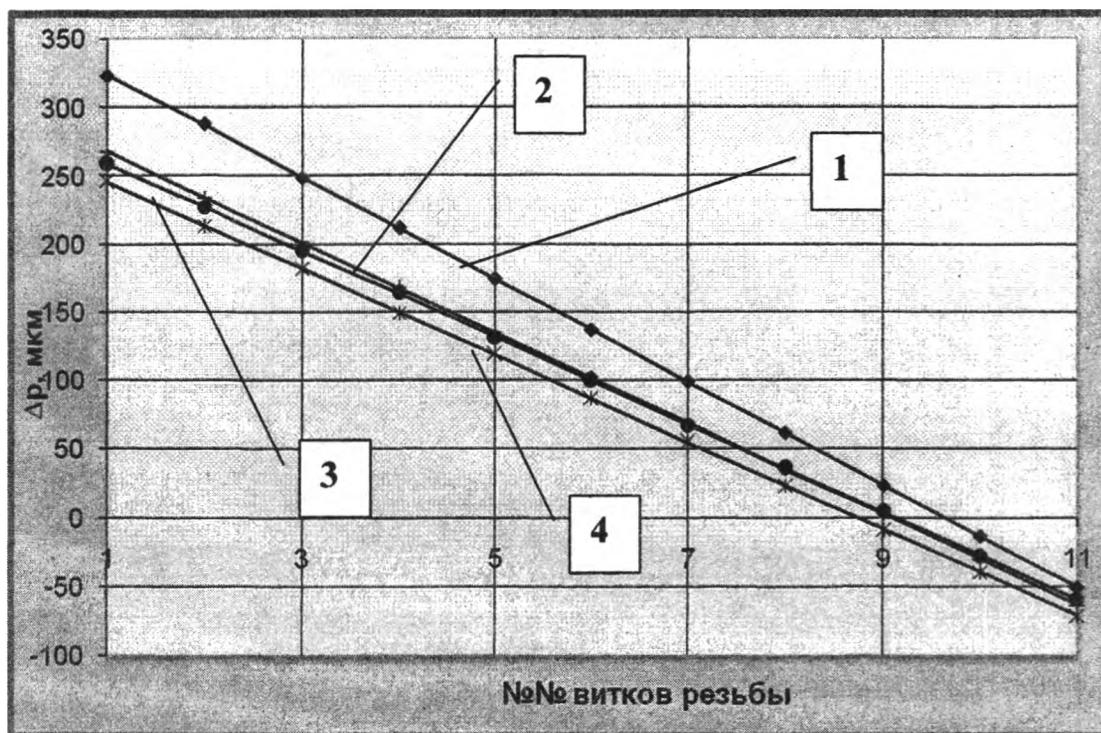


Рисунок 2. Отклонение шага нарезанной резьбы Δp в зависимости от отклонения половины угла профиля резьбы метчика типа А. Нарезание методом самозатягивния. Патрон плавающий. Отклонение половины угла профиля резьбы метчика: 1 – 0 мин; 2 – 60 мин; 3 – 41 мин; 4 – 23 мин

резьбы соответствуют параметрам метчика по опорным кромкам, а по противоположным – отклоняются от параметров резьбы метчика [2].

При выполнении экспериментальных исследований использовали четырехперые метчики М 16×2 двух типов: тип А – затылованы по профилю на всей ширине пера; тип Б – затылованы по профилю на 2/3 ширины пера. Исходные параметры конструкции метчиков различны для каждой серии эксперимента. Исследования выполнялись методом однофакторного эксперимента, изучалось влияние каждого параметра метчика отдельно при сохранении постоянными остальных, равных исходным. Поэтому с целью повышения разрешающей способности эксперимента, уменьшения «шумовых» эффектов от влияния неучтенных факторов, условия эксперимента поддерживались с максимально достижимой точностью. Так, метчики выполнялись с точностью резьбовых калибров, отклонения геометрических параметров не превышали $\pm 10'$, а радиальное биение заборной части и несоосность осей нарезаемых отверстий и оси вращения шпинделя станка – 0,01 мм. Положение основания заборного конуса метчика относительно первого полнопрофильного зуба его резьбы выдерживалось с точностью до 0,1 мм по оси метчика. Крепились метчики в плавающем патроне, а при нарезании резьбы по резьбовому копиру, обеспечивающему осевую подачу метчика, строго соответствующую шагу резьбы за каждый оборот метчика - в жестком патроне. При этом смещение оси метчика с оси вращения шпинделя станка не превышало 0,005 мм.

Анализ полученных данных выявил одинаковый характер влияния параметров метчика на разбивание резьбы [1] отклонения шага и половины угла профиля [4]. По результатам исследова-

ний было выявлено, что самые большие отклонения шага резьбы Δp возникают при нарезании резьбы методом самозатягивания метчиком типа А с исходными параметрами: передний угол $\gamma = 10^\circ$; задний угол $\alpha = 5^\circ$; угол заборной (режущей) части $\varphi = 14^\circ 50'$; величина затылования по профилю резьбы – 0,135 мм на угловом шаге перьев; стружечные канавки прямые; нарезание проводилось методом самозатягивания (рис. 2). Большие отклонения шага нарезаемой резьбы получены также при нарезании метчиком типа А с бочкообразными зубьями на ведущей части (рис. 3).

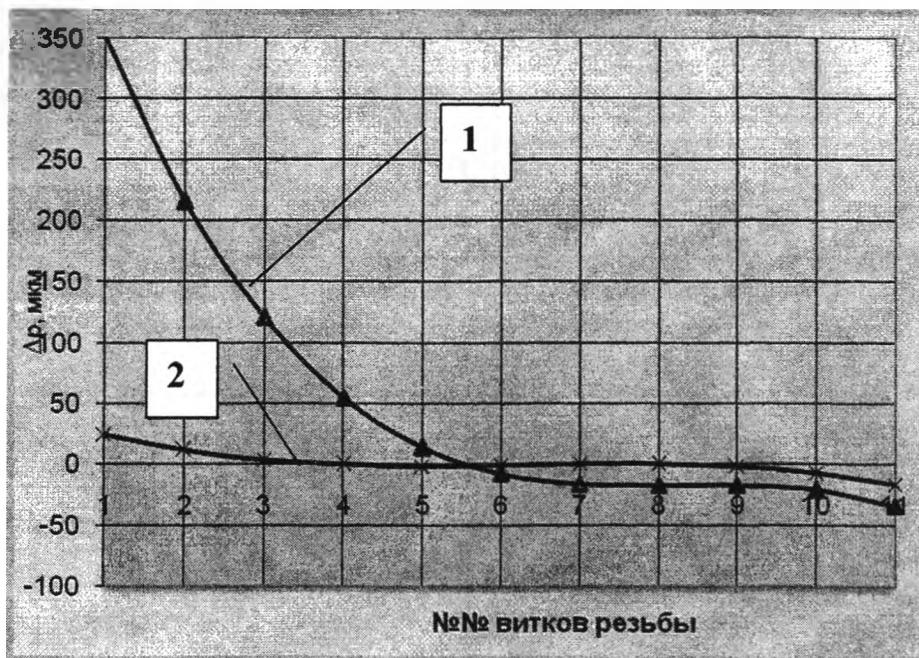


Рисунок 3. Отклонения шага резьбы Δp , нарезанной метчиками типа А методом самозатягивания в плавающем патроне: 1 – метчик с бочкообразными зубьями; 2 – метчик с правыми винтовыми стружечными канавками с заваленными режущими кромками, $\omega = 30^\circ$

Отклонение шага достигает 325 мкм и 350 мкм соответственно на первых со стороны захода метчика витках нарезанной резьбы (рис. 2, 3). Самое маленькое отклонение обеспечивается метчиками после притупления опорных кромок, кроме режущих и двух калибрующих при нарезании резьбы методом самозатягивания (рис. 3, кривая 2; рис. 4, кривая 1 и 2). При нарезании резьбы по резьбовому копиру метчики с острыми и заваленными боковыми опорными режущими кромками обеспечивают одинаковую и самую высокую точность (рис.4). Это еще раз доказывает, что нарезание резьбы с принудительной осевой подачей по резьбовому копиру, воспринимающему осевую силу на себя и исключающему разбивание резьбы под действием этой силы, является самым точным методом нарезания резьбы.

Большое разбивание резьбы происходит также при нарезании резьбы метчиком с биением перьев на заборной части (рис. 5). Метчики типа А, как говорилось ранее, затылованы по профилю на всей ширине пера, в отличие от типа Б, и, соответственно, при нарезании резьбы под действием сил внедряется в уже нарезанную резьбу калибрующими зубьями, что сказывается на точности. Поэтому при нарезании точных резьб следует выбирать метчики типа Б, т.к. такие метчики незатылованными частями зубьев опираются на резьбу и не врезаются в нее из-за большей площади соприкосновения, в отличие от метчиков типа А.

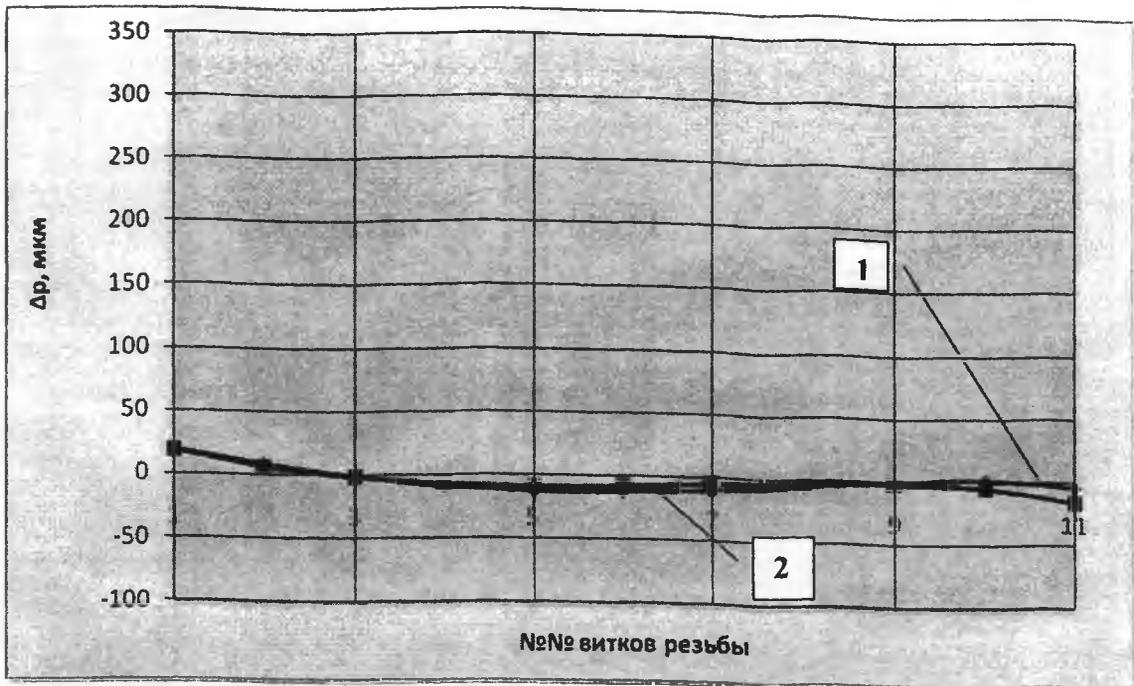


Рисунок 4. Отклонения шага резьбы Δp , нарезанной метчиками типа А по копиру в жестком патроне: 1 – метчик с бочкообразными зубьями; 2 – метчик с правыми винтовыми стружечными канавками с заваленными режущими кромками, $\omega=30^\circ$

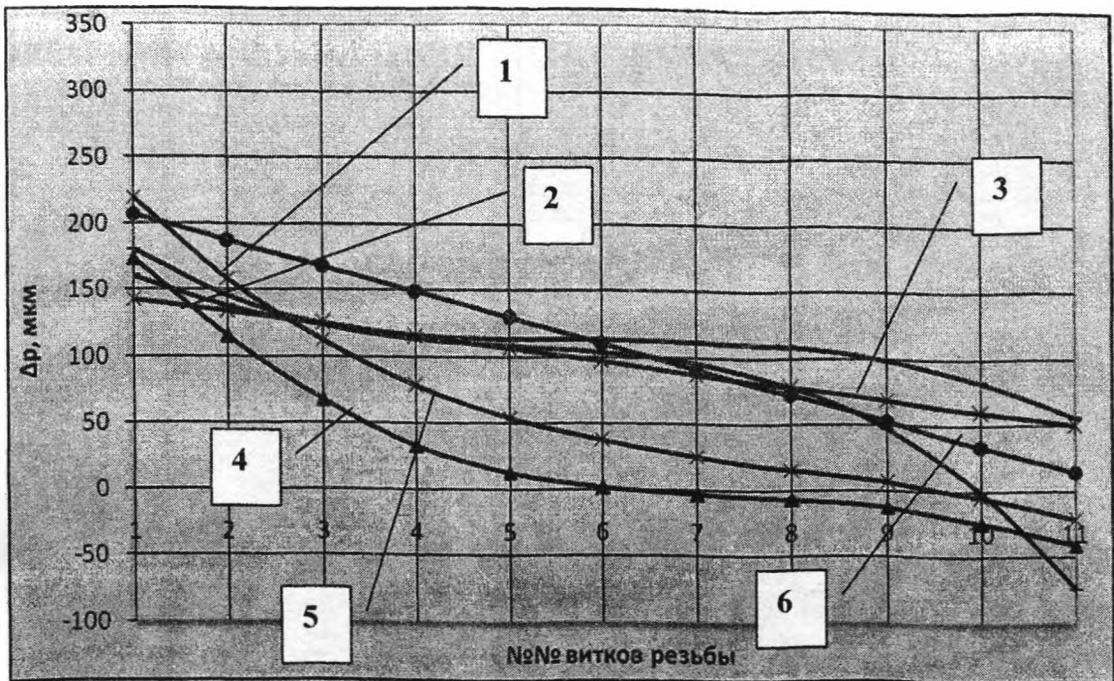


Рисунок 5. Отклонения шага резьбы Δp , нарезанной метчиками типа А (1, 2, 3) и типа Б (4, 5, 6) в плавающем патроне методом самозатягивания. Биение перьев на заборной части метчика: 1 – 0,06 мм; 2 – 0,2 мм; 3 – 0,37 мм; 4 – 0,06 мм; 5 – 0,21; 6 – 0,43

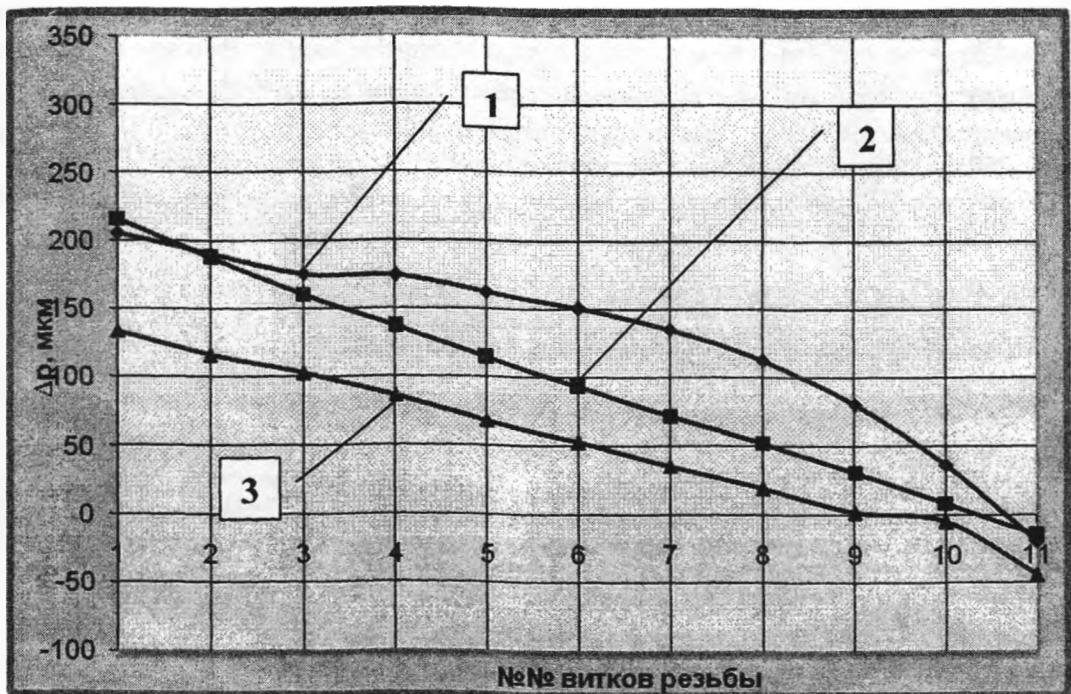


Рисунок 6. Отклонения шага резьбы Δp , нарезанной метчиками типа А методом самозатягивания с длиной калибрующей части: 1 – 15Р, 2 – 10Р, 3 – 5Р

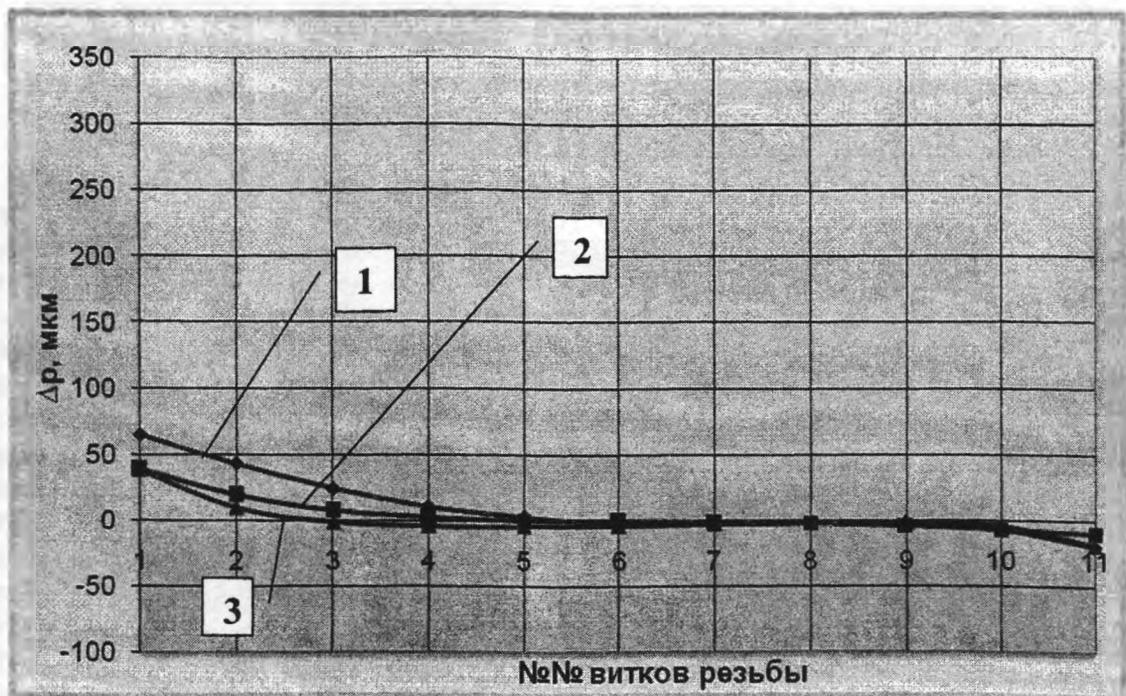


Рисунок 7. Отклонения шага резьбы Δp , нарезанной метчиками типа Б методом самозатягивания с длиной калибрующей части: 1 – 15Р, 2 – 10Р, 3 – 5Р

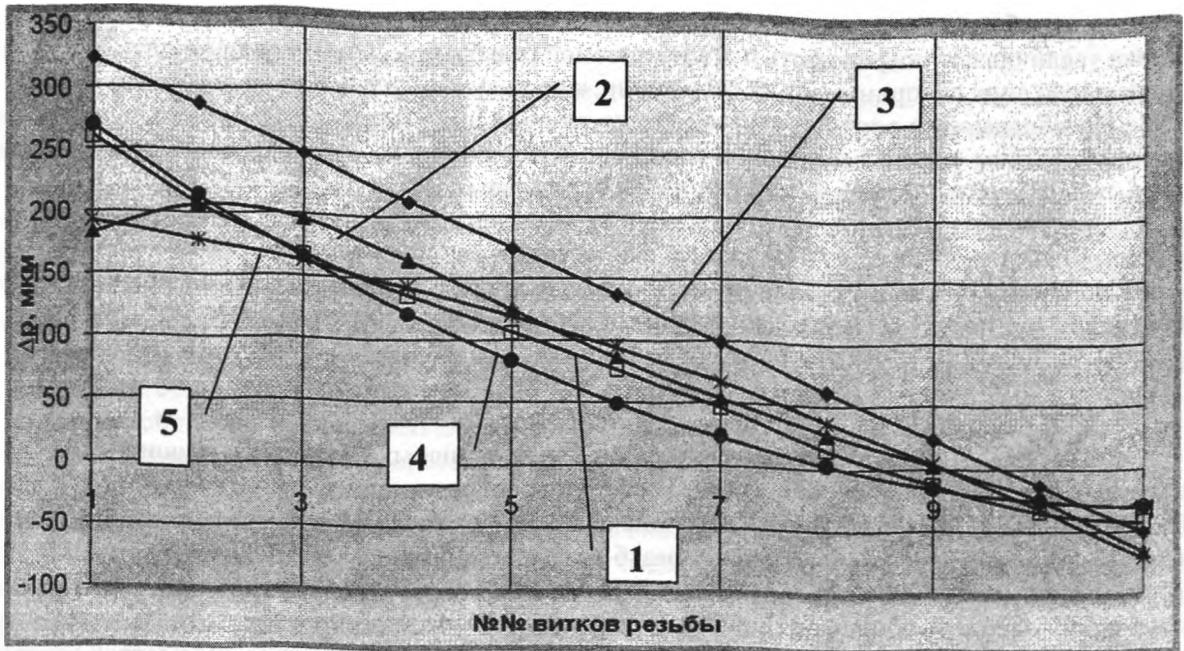


Рисунок 8. Отклонения шага резьбы Δp , нарезанной метчиками типа А методом самозатягивания в плавающем патроне. Отклонения шага резьбы метчика: 1 -- -100 мкм, 2 -- -50 мкм, 3 -- 0 мкм, 4 -- 50 мкм, 5 -- 100 мкм

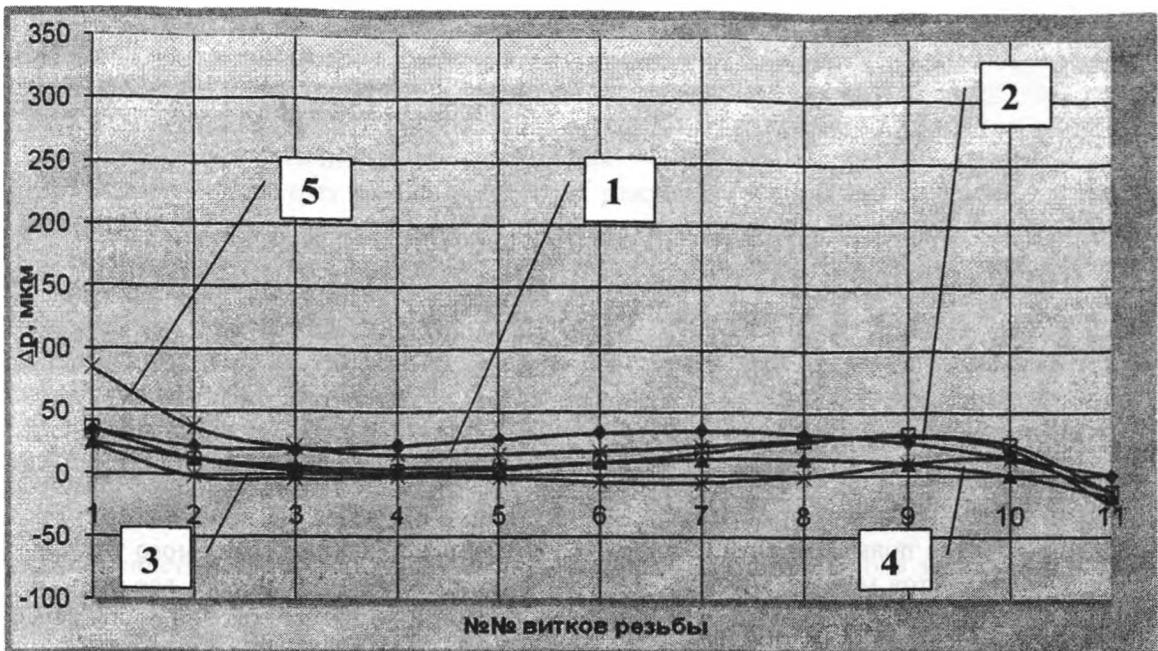


Рисунок 9. Отклонения шага резьбы Δp , нарезанной метчиками типа А по копиру в жестком патроне. Отклонения шага резьбы метчика: 1 -- -100 мкм, 2 -- -50 мкм, 3 -- 0 мкм, 4 -- 50 мкм, 5 -- 100 мкм

Когда рабочая часть метчика короче нарезаемой резьбы, то после выхода из впадины резьбы последнюю калибрующего зуба метчика эта впадины и все предыдущие уже полностью сформированы. Подрезание опорных сторон витков резьбы в этих впадинах прекращается, прекращается искажение профиля резьбы, уменьшаются ошибки шага по неопорным сторонам (рис. 6). У метчиков типа Б длина калибрующей части на отклонения шага резьбы практически не влияет (рис. 7).

Отклонения шага резьбы метчика типа А при нарезании методом самозатягивания (патрон плавающий) позволяет несколько уменьшить погрешность шага нарезаемой резьбы (рис. 8). При

нарезании резьбы по копиру в жестком патроне тем же типом метчиков отклонения шага резьбы метчика увеличивают погрешность шага нарезаемой резьбы (рис. 9). Это связано с тем, что осевую и радиальную силу воспринимает на себя копир, а не получаемая резьба в процессе нарезания

Преобладающее влияние осевых сил на ошибки шага подтверждается нарезанием резьбы по копиру. В этом случае осевая сила воспринималась копиром, обеспечивалось точное по шагу осевое перемещение метчика. Отсутствовало подрезание резьбы и появление ошибок профиля.

При необходимости получения точной резьбы следует нарезать ее с принудительной подачей инструмента на станках с ЧПУ или других, обеспечивающую точную осевую подачу (по резьбовому копиру), а также использовать метчики мало восприимчивые к влиянию осевых сил: метчики типа Б, метчики с заваленными режущими кромками, с $\omega=30^\circ$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шагун В.И. Влияние геометрических и конструктивных параметров машинных метчиков на размеры резьбы, нарезаемой в стали. В сб.: Резьбообразующий инструмент. – М.: НИИМаш, 1968. – с.229 – 241. 2. Шагун В.И., Чарторийский А.В. Неразрушающий метод контроля отклонений половины угла профиля внутренних резьб малого диаметра. В сб.: Машиностроение. Вып 22. – Мн.: «Технопринт», 2006. – С. 3. Шагун В.И. Влияние параметров конструкции метчика на отклонения половины угла профиля резьбы в чугунах. В сб.: Машиностроение. Вып 23. – Мн.: «Технопринт», 2007. – С193 – 195. 4. Чарторийский А.В., Шагун В.И. Влияние параметров конструкции метчика на отклонения половины угла профиля резьбы в стали. В сб.: Машиностроение. Вып 23. – Мн.: «Технопринт», 2007. – С196 – 199. 5. Шагун В.И. Кудрявцева Л.Т. Неразрушающий способ контроля отклонений шага внутренних резьб//Сб.: Машиностроение.--- Мн.: Выш. шк., 1985.--- Вып.10.--- с. 99-101.

УДК 621.91,02 (07.07) [62:378]:001.895

*Стереотипность мышления враг творчества.
Новое появляется на пути ломки стереотипов*

Шагун В.И.

ВОСПИТАНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНЖЕНЕРОВ-ТЕХНОЛОГОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ИНЖЕНЕРОВ- ИНСТРУМЕНТАЛЬЩИКОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Во все времена, в любой общественно-экономической формации человек стремится наиболее полно удовлетворить свои материальные и духовные потребности, что возможно только на основе непрерывного повышения производительности общественно-необходимого труда в сфере производства предметов материального и духовного потребления. Это значит, все затраты труда на всех стадиях производства, начиная от принятия решений до их полного воплощения в сфере материальной и интеллектуальной деятельности должны непрерывно уменьшаться. Любые решения, будь то конструкция машины или инструмента, решения в сфере международной и внутренней политики, в военной сфере, в сфере подготовки работников интеллектуального труда и т.д. и т.д. должны быть оптимальными. Это значит, что при обеспечении надлежащего уровня качества работ, выполненных с использованием принятых решений, необходимо обеспечить минимальные затраты живого овеществленного труда на единицу выполненной работы: станко-час работы станка, объем стружки, снятой режущим инструментом в единицу времени, подготовку инженера, художника, музыканта, обеспечение безопасности страны и т.д.

В таком случае критерием оптимальности, который наиболее полно характеризует качество принятых решений является минимум приведенных затрат (МПЗ) в процессе использования принятого решения.

В машиностроении инженер-технолог должен разработать такой технологический процесс изготовления деталей (машины) и подобрать из имеющихся на рынке такое оборудование и тех-

нологическую оснастку, которое обеспечат не только требуемое качество выполненных работ, но и МПЗ на производство детали (машины).

Инженер-инструментальщик должен спроектировать или адресно доработать конструкцию инструмента, который обеспечит МПЗ на операции его использования при обеспечении заданного качества выполненной работы.

Этот критерий (МПЗ) обобщающий, объективный и непрочеворечивый, но сам по себе не содержит указаний, как достичь оптимального по МПЗ решения. Непосредственно по нему нельзя, например, выбрать на рынке оптимальный режущий инструмент, или спроектировать его. Необходимо на основе этого критерия предъявить конкретные требования к объекту созидания, которые позволят принять конкретные решения. В каждой сфере деятельности они свои.

Металлорежущий инструмент, к примеру, на операции его использования должен обеспечить надлежащее качество выполненных работ с

- высокой производительностью;
- малой энергоемкостью процесса резания;
- быть экономичным.

По каждому из этих основных требований можно принимать конкретные решения.

1. Высокая производительность, например, будет достигнута в случае, когда в единицу времени будет снят максимальный объем срезаемого слоя. Развивая эту мысль можно предъявить такие требования как:

- а) высокая скорость резания;
- б) большая подача на зуб инструмента;
- в) максимальное число одновременно режущих зубьев.

2. Минимальная энергоемкость процесса резания достигается в случае:

- а) благоприятной формы поперечного сечения срезаемой стружки;
- б) выгодного соотношения толщины к ширине срезаемого слоя;
- в) рациональной схемы резания;
- г) минимального объема слоя металла, срезаемого в единицу времени.

3. Высокая экономичность инструмента достигается при условии:

- а) высокой стойкости инструмента;
- б) высокой технологичности его конструкции;
- в) минимальных затрат на восстановление режущей способности инструмента после его затупления;
- г) возможности переработки на другой размер или вид после полного использования инструмента или рациональное использование его отходов;
- д) дешевого режущего материала.

Указанные дробные требования сами по себе справедливы, непротиворечивы, но часто вступают в противоречия друг с другом, когда мы хотим совместно воплотить их в конструкции конкретного инструмента. Так, например, экономичный инструмент может быть непроизводительным, и наоборот, высокопроизводительный инструмент часто неэкономичный. Или при минимальной энергоемкости, когда выполняется требование п. 2,г, инструмент непроизводительный и т.д.

Производственной практикой установлено, что самая большая доля затрат на выполнение технологической операции связана с производительностью. С повышением производительности уменьшается доля живого труда и в соответствии с уменьшением затраченного на операцию временем уменьшается доля труда, овеществленного в зданиях, сооружениях, отоплении, освещении и т.д. Т.е. сокращаются так называемые накладные расходы, которые приблизительно в 6 раз больше заработной платы оператора на выполнение рассматриваемой операции.

Следующей по значимости статьей расхода является энергоресурсы, и последней, в среднем около 3% от общих затрат, - затраты на используемый инструмент. Поэтому при проектировании инструмента в первую очередь стремятся обеспечить ему высокую производительность. Из полученных вариантов выбирают наиболее энергосберегающий, а из оставшихся – наиболее экономичный. Из рекомендуемого правила могут быть исключения, особенно когда инструмент сложный и очень дорогой. Тогда необходимо проверить варианты конструкции по МПЗ.

Такой творческий подход к решению поставленных задач тормозится стереотипностью мышления, заложенного на стадии подготовки инженера.

Стереотипность мышления – враг творчества. Примеров этому в развитии техники множество, когда закомплексованность известными решениями рождало стереотипы и являлось тормо-

зом на пути развития машиностроения в целом и инструмента в частности. Это — лапка сверла, не выполняющая первоначально предусмотренной функции - частичной передачи момента резания. Тем не менее она существует до сих пор. Это и недостаточное использование прогрессивных схем резания у быстрорежущих инструментов, хотя у протяжек они известны с 1940г. Стереотипность мышления подтверждают достаточно долго сохранившиеся не лучшие конструкции твердосплавных инструментов, повторяющие формы быстрорежущих. Только появление твердосплавных многогранных сменных пластин не позволило вписаться в старые формы инструментов, а заставило искать новые, более совершенные и т.д., и т.д.

Наиболее ярким примером закомплексованности является конструкция спирального сверла с углом наклона стружечных канавок до 30°. Такие сверла работают более сотни лет и все это время плохо выводят стружку при глубине сверления свыше пяти диаметров сверла. Шнек, известный со времен Архимеда, великолепно транспортирует сыпучие грузы в любом направлении. Казалось бы чего проще! Нужно придать стружечным канавкам сверла больший угол наклона и оно будет великолепно выводить стружку. Не нужны дополнительные затраты на выполнение каналов в теле сверла для подачи смазочно-охлаждающей жидкости под давлением с целью вымывания стружки или осуществлять периодические выходы сверла из отверстия для очистки от стружки. Однако на пути такого решения было препятствие, которое по причине закомплексованности конструкторы долгое время не могли преодолеть. Препятствие состояло в следующем. Одна из поверхностей стружечной канавки сверла является передней поверхностью, по которой сходит стружка. Если придать больший угол наклона этой канавке становится неработоспособным режущий клин (лезвие) сверла из-за большого заострения. Сломать этот стереотип удалось в 50-е - 60-е годы XX века. Отделили режущую часть сверла от транспортирующей: выполнили стружечные канавки под углом 45-60°, а вдоль режущих кромок заточили площадки (передние поверхности) под нужным углом, обеспечив надлежащую прочность и стойкость режущему клину. Для дробления сливной стружки предусмотрели на передних поверхностях порошки. Поэтому «дилетанты», свободные от стереотипов, часто более грамотно решают задачи, чем закомплексованные специалисты. Так, например, выпускники машиностроительного колледжа США на заводе Форда поставили на поток производство ветровых стекол автомобиля, чего не смогли сделать дипломированные стекольщики.

Новое появляется на пути ломки стереотипов. Но лучше не ломать, а по возможности не закомплексовывать будущего инженера готовыми решениями на стадии обучения. Следует отказаться от существовавшего в Советском Союзе с 30-х годов XX века и используемого до сих пор метода изучения дисциплины «Режущий инструмент», когда точно и подробно, от А до Я, рекомендуются конкретные элементы конструкции и методы расчета каждого инструмента в отдельности. Создается впечатление, что каждый инструмент существует сам по себе, что он – вот такой, хороший, что не всегда соответствует действительности. Нет общего взгляда на инструменты в целом. Кроме того, на рынке из инструментов одного и того же назначения, но разных конструкций, разных фирм, невозможно выбрать наилучший. Нет критерия оценки отдельных элементов конструкции. Приходится верить рекламе, которая не всегда объективна.

Поэтому рационально дисциплину «Режущий инструмент» разделить на два раздела. В первом разделе (Обзор конструкций режущих инструментов) ознакомить слушателей с существующими конструкциями, их технологическими возможностями, обратив внимание на общие для всех инструментов элементы конструкции, но недостаточно подробно, чтобы закомплексовать будущего инженера известными решениями и сделать его неспособным предложить новые, лучшие решения.

Во втором разделе (Проектирование режущих инструментов) подробно изложить преимущества и недостатки каждого элемента конструкции рабочей, присоединительной и направляющей части инструментов: режущего материала, способа его соединения с корпусами инструментов, передней и задней поверхностей режущего клина, углов заточки, схемы резания, способов охлаждения в работе, методов дробления стружки..., базовых поверхностей присоединительной части, способов соединения со станком..., способов направления в работе, формы направляющих частей и т.д. Привести алгоритм и раскрыть диалектику создания из них, или совершенствования, любого инструмента конкретного назначения с оптимизацией по непротиворечивому критерию – минимуму приведенных затрат на операции, выполняемой инструментом (МПЗ). Изложить подходы к расчету инструментов на прочность, жесткость, точность, а также к расчету формы и размеров режущих контуров.

Для технолога-машиностроителя дополнительно необходимы знания по рациональной, с точки зрения МПЗ, эксплуатации режущих инструментов, а технологам-инструментальщикам – знания для разработки оптимального по МПЗ технологического процесса изготовления инструмента.

По такой методике автор излагает дисциплину «Режущий инструмент» в Белорусском национальном техническом университете с 1983 г. В соответствии с ней разработаны и опубликованы следующие учебные пособия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шагун В.И. Режущий инструмент. Основы теории проектирования. – Мн.: ДизайнПРО, 1998. – 112 с. 2. Шагун В.И. Режущий инструмент. Проектирование. Производство. Эксплуатация. – Мн.: НПО «ПИОН», 2002. – 496 с. 3. Шагун В.И. Металлорежущие инструменты. – М.: Высш. шк., 2007. – 423 с.

УДК 621.9.011:517.962.1

Довнар С.С.

НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ В ЗОНЕ НАРОСТООБРАЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛА

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Производилось численно-математическое моделирование зоны резания металла в условиях наростообразования. Был применен метод конечных элементов (МКЭ). Основой для компьютерных расчетов служила плоская геометрическая модель зоны резания (рис.1). Она построена на основе известного рисунка процесса наростообразования [1, с.85].

Модель включает в себя деталь (workpiece), стружку (chip), резец (tool), нарост (build-up). Деталь и стружка разделены фронтом сдвига (front of shear) [2]. Деталь в ходе моделирования является неподвижной (на это указывает отметка “0 mkm” на рис.1). Резец перемещается справа на лево и совершает пробный шаг на расстояние 10 мкм (отметка “10 mkm” на границе резца).

Особенностью данной модели является введение прослойки (“layer” на рис.1) между деталью и наростом.

Полагается, что прослойка – это упрочняющийся слой металла, переходящий из состава детали в нарост. В работе границам прослойки дана возможность локализованного скольжения. Материал детали может скользить по левой границе прослойки (“Left” на рис.3) вниз или вверх. Сама прослойка может смещаться относительно нароста по своей правой границе (“Right” на рис.3).

Хорошо известно [3], что в сильно деформируемом металле самопроизвольно возникают волокнистые структуры. Они формоизменяются путем сочетания объемной пластической деформации и локализованного скольжения по своим границам. В работе предполагается, что такая волокнистая структура – прослойка – регулярно возникает на вершине нароста, деформируется, упрочняется и, наконец, входит в состав нароста.

В модели на рис.1 подразумевается, что усилие с резца на деталь передается, в основном, через прослойку.

Дополнительно, стружка касается передней поверхности резца высоко над наростом в районе “contact” и имеет там возможность скольжения.

По геометрической модели была построена плоская конечно-элементная модель из 8-узельных элементов. В общем случае элементы имеют форму криволинейных четырехугольников и обеспечивают квадратичную аппроксимацию перемещений. Это позволяет с хорошей точностью вычислять напряжения и деформации. По границам между всеми объектами, именованными на рис.1, введены контактные конечные элементы. В части мест контактные элементы установлены в

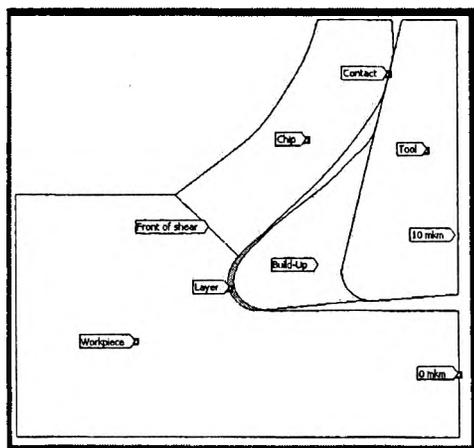


Рис.1. Геометрическая модель зоны резания с наростом

заблокированное состояние. Это обеспечивает полное сцепление между резцом и наростом, а также между деталью и стружкой.

На границах прослойки контактные элементы настроены на локализованное проскальзывание. Ввиду отсутствия экспериментальных данных о характеристиках проскальзывания в зоне резания, было принято, что оно идет по закону трения Кулона с коэффициентом трения $f = 0,2$.

Сетка включала в себя 2083 конечных элемента и 15751 узел с тремя степенями свободы каждый. Модель зоны резания характеризовали следующие параметры: глубина резания $t = 250$ мкм, передний угол $\gamma = 15$, задний угол $\alpha = 5$, радиус закругления режущей кромки резца $\rho_1 = 60$ мкм, высота нароста $H = 250$ мкм, радиус закругления его вершины $\rho_2 = 70$ мкм. Толщина прослойки в середине составляла $h = 12$ мкм.

Моделировался упруго-пластичный изотропный обрабатываемый материал с модулем упругости $E = 200000$ МПа и коэффициентом Пуассона $\nu = 0,3$. Предел текучести σ_T материала детали был принят равным 750 МПа. Это примерно соответствует стали У8 в отожженном состоянии. Были использованы критерий текучести Губера–Мизеса и билинейный закон упрочнения. Касательный модуль упрочнения был установлен на уровне $E_t = 2500$ МПа [4].

В зоне резания присутствует существенный наклеп. Для упрощения в модели принято, что наклеп изменяется ступенчато. Для всей стружки предел текучести назначен равным $\sigma_T = 1000$ МПа. Для нароста $\sigma_T = 1500$ МПа (вдвое больше, чем у обрабатываемого материала). Для прослойки принято $\sigma_T = 1250$ МПа. Резец моделировался как чисто упругое тело.

Вся зона резания считалась находящейся в плоско-деформированном состоянии. Это означает нулевые перемещения вне плоскости моделирования. Однако нормальные этой плоскости напряжения могут быть существенными.

В ходе МКЭ-расчетов было произведено пробное перемещение резца на расстояние $\delta = 10$ мкм (справа налево на всех нижеследующих рисунках). Вместе с резцом перемещался прикрепленный к нему нарост. Именно такой шаг δ был выбран исходя из более ранних расчетов [5]. Они показали, что пробное перемещение 5-10 мкм достаточно для стабилизации в зоне резания картин напряжений и приращений пластической деформации.

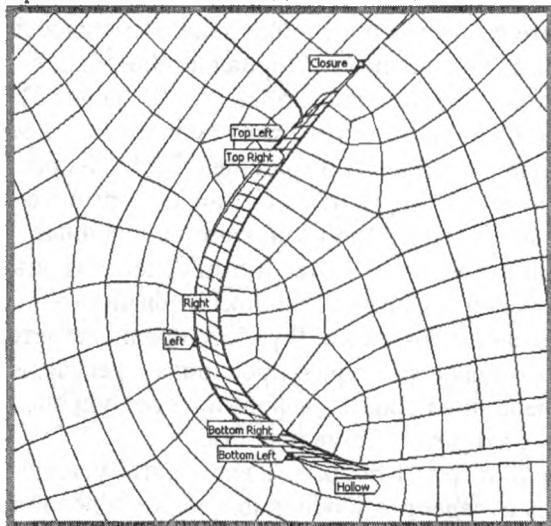


Рис.3. Деформации в районе прослойки после пробного шага

По-видимому, выше верхней отметки “9%” проходит поток «в стружку». Ниже нижней отметки “9%” движется поток «в новый поверхностный слой детали». Между отметками “9%” проходит центральный поток – «в нарост». Три расходящихся потока предполагают

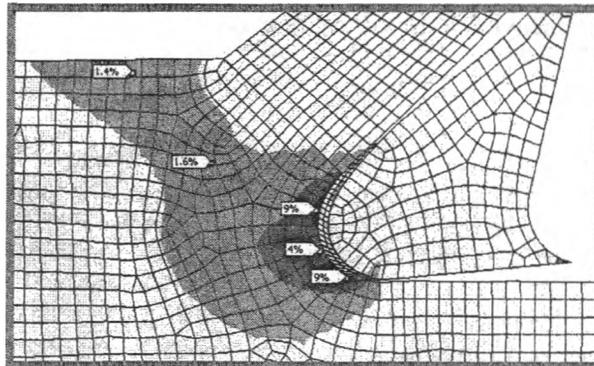


Рис.2. Картина приращения интенсивности пластической деформации ϵ_p после пробного шага $\delta = 10$ мкм

Пробное перемещение производилось путем ступенчатого нагружения. При этом в расчетах учитывались нелинейности сразу трех видов: от пластического течения, от изменения геометрии зоны резания и от скольжения в контактах.

На рис.2 представлена картина интенсивности пластической деформации ϵ_p в зоне резания. Пробный шаг $\delta = 10$ мкм выявил зону стружкообразования ($\epsilon_p = 1,4 \dots 1,6 \%$). В стружке и в наросте приращение пластических деформаций практически не происходит. Самое сильное пластическое течение наблюдается перед прослойкой. Здесь есть два максимума ϵ_p (отметки “9%”). Между ними деформация идет несколько медленнее (отметка “4%”).

Если нарост рассматривать, как режущее лезвие, то на его закругленной вершине – прослойке – должно происходить разделение потоков обрабатываемого материала [6].

По-видимому, выше верхней отметки “9%” проходит поток «в стружку». Ниже нижней отметки “9%” движется поток «в новый поверхностный слой детали». Между отметками “9%” проходит центральный поток – «в нарост». Три расходящихся потока предполагают

две точки разделения. Вероятно, эти точки примерно соответствуют верхней и нижней отметкам «9%».

По линии «9% - 4% - 9%» формируется новая прослойка. Она расплющивается, вытягивается и со временем выделит себя локализованным проскальзыванием на границах. Моделируемая же сейчас прослойка стабилизируется и полностью войдет в состав нароста.

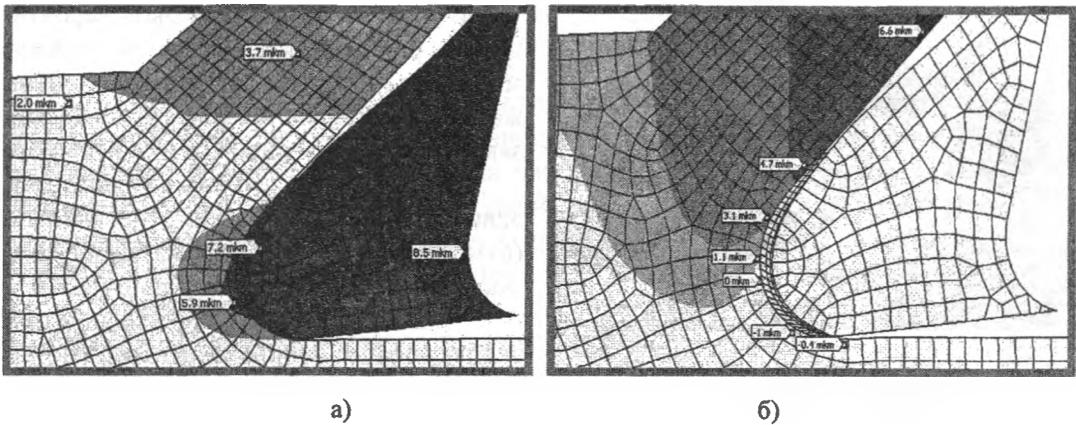


Рис.4. Горизонтальные (а) и вертикальные (б) перемещения в зоне резания

В настоящей модели пределы текучести обрабатываемого материала и материала нароста различаются вдвое (750 и 1500 МПа). Рис. 2 показывает, что этого достаточно, чтобы в наросте не происходило заметного пластического течения. Тем самым поддерживается устойчивость нароста. Даже в прослойке предел текучести $\sigma_T = 1250$ МПа достаточен для сдерживания пластических деформаций. Они происходят только на верхнем и нижнем концах прослойки. По-видимому, такой предел текучести соответствует довольно позднему этапу развития прослойки.

Деформационные подвижки в районе прослойки после пробного шага $\delta = 10$ мкм отражены на рис.3. Локализованное скольжение происходит, в основном, по левой границе прослойки. Правая граница в данных условиях малоактивна. Скольжение по ней составляет около 10% от уровня левой границы.

Локализованное скольжение максимально на концах прослойки. В центре (отметки «Left» и «Right» на рис.3) оно практически отсутствует. Это место можно назвать точкой торможения. Оно соответствует отметке «4%» на рис.2.

На рис.3 сверху, в районе отметки «Top Left» обрабатываемый материал скользит вправо и вверх по левой границе, «обгоняя» отметку «Top Right». Внизу, в районе отметки «Bottom Left» обрабатываемый материал скользит по левой границе вправо и вниз, «обгоняя» отметку «Bottom Right». В обоих случаях абсолютные величины скольжения составляют около 7 мкм.

На нижнем конце прослойки наблюдается появление впадины (отметка «Hollow») на вновь образованной поверхности детали. Это может быть существенно с точки зрения проникновения СОЖ к вершине нароста.

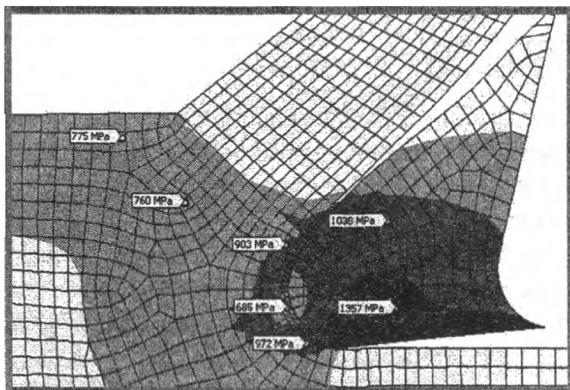


Рис.5. Картина эквивалентных напряжений σ_e в зоне резания

На верхнем конце прослойки, наоборот, проявляется тенденция к смыканию нароста и стружки (отметка «Closure»).

На рис.4 представлены картины перемещений в зоне резания вдоль направления резания (а) и перпендикулярно ему (б). Резец условно не показан. Видно (рис.4, а), что интенсивнее всего перемещается та часть обрабатываемого металла, которая примыкает к прослойке и наросту (5,9 мкм). Внутри нароста продольные перемещения изменяются от 7,2 до 8,5 мкм. Это указывает на сильное упругое сжатие в нем.

Отметка «0 mkm» на рис.4, б говорит об отсутствии скольжения вдоль прослойки. Выше и ниже отметки проскальзывание идет в противоположных, расходящихся направлениях. Отметка «-0.4 mkm» подтверждает, что под наростом во вновь образованной поверхности детали формируется небольшая впадина.

На рис.5 дано распределение эквивалентных напряжений (напряжений по Мизесу) σ_i в зоне резания. Эта характеристика напряженного состояния связана с касательными напряжениями и пластическим течением. Выявляется, что нарост нагружен весьма неравномерно. Он сильно сжат ($\sigma_i = 1357$ МПа) в своей нижней части. Именно здесь передается основная часть силы резания.

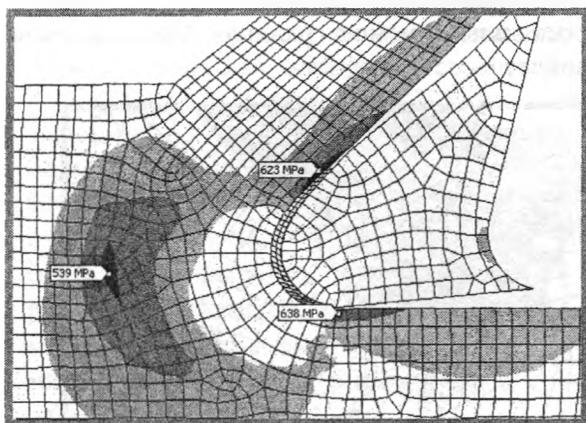


Рис.6. Распределение максимального главного напряжения σ_1 и области растяжения

Концентрация сжимающих напряжений по мере увеличения нароста может быть вероятной причиной его регулярного обрушения. Особенно важными являются сильное сжатие и высокие касательные напряжения представляются в месте контакта нароста с закруглением режущей кромки инструмента. Интересно, что возле точки торможения эквивалентное напряжение относительно мало (отметка “685 МПа”). Это указывает на замедленность здесь пластических деформаций. Возле верхней и нижней точек разделения эквивалентные напряжения повышаются (903 и 972 МПа соответственно).

На рис. 6 приведена картина максимального главного напряжения σ_1 . В целом, она соответствует более ранним МКЭ-расчетам для зоны резания без нароста [5]. Выявляются три области растяжения. Область “539 МПа” заглублена и находится далеко впереди нароста. Ее следует классифицировать как т.н. переднюю область растяжения [5]. Область “638 МПа” возле нижнего конца прослойки соотносится с задней областью растяжения. Именно она образует впадину (“Hollow”) на рис. 3.

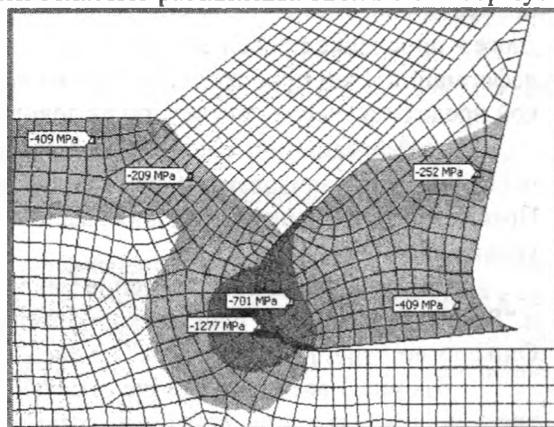


Рис.7. Картина напряжения σ_z (нормального к плоскости моделирования)

Особенностью зоны резания с наростом является третья область растяжения (отметка “623 МПа” на рис.6). Она обусловлена растяжением волокон обрабатываемого материала возле верхнего конца прослойки. В заключение на рис.7 представлена картина напряжения σ_z , нормального к плоскости моделирования. Почти по всей зоне резания оно относительно невелико и является сжимающим. Напряжение σ_z концентрируется только перед прослойкой, как раз в точке торможения. Здесь оно достигает высокого по абсолютной величине уровня $\sigma_z = -1277$ МПа. Область торможения находится близко к состоянию гидростатического сжатия. Концентрация напряжений подчеркивает существенность области торможения в системе напряжений и деформаций зоны резания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грановский, Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985.
2. Блэк. Пластинчатая структура и фронты сдвига, возникающие в процессе большой пластической деформации: труды АОИМ. Конструирование и технология машиностроения. – 1972. – № 2. – С. 311–321.
3. Рыбин, В.В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. – М.: Металлургия, 1986.
4. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов: справочник / П.И. Полухин, Г.Я. Гун, А.М. Галкин. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.
5. Довнар, С.С. Численно-математическая модель для определения напряжений, возникающих при обработке металлов резанием / С.С. Довнар // Известия АН БССР. Сер. физ.-техн. наук. – 1985. – № 2. – С. 10–13.
6. Довнар, С.С. МКЭ-моделирование врезания резца с закругленной режущей кромкой: Респ. межвед. сб. «Машиностроение», 2004. – Вып. 20. – С. 35–41.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА И СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ СЛОЖНЫХ КОНТУРОВ С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ РЕЗАНИЯ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Большинство работ, посвященных математическому моделированию процессов обработки материалов [1], выполнены для стационарных процессов резания. Последние характеризуются постоянством средних значений (математических ожиданий) и полей рассеяния (дисперсий) параметров процесса резания (глубины резания, подачи, скорости резания, геометрии режущего инструмента, свойств обрабатываемого материала и др.) за период стойкости инструмента. Однако, при обработке сложных контуров (конуса, сферы, эллипсоида, фасонной поверхности т.д.) на многоцелевых станках с ЧПУ характерны нестационарные процессы резания. Частным случаем нестационарного резания является переменное резание. Последнее отличается тем, что один или несколько параметров режима резания изменяются непрерывно в течение рабочего хода инструмента. В частности, при точении поверхностей, образующая которых не параллельна оси вращения детали, скорость резания v изменяется в соответствии с зависимостью

$$v = \frac{\pi d n}{1000},$$

где d - диаметр обработки; n - постоянная частота вращения шпинделя.

В работе [2] получены в общем виде зависимости для определения периода стойкости T и величины износа h_p инструмента при точении деталей с переменной скоростью и постоянными глубиной резания t и подачей S :

$$T = C_T t^x s^y \left(\frac{\pi n}{1000} \right)^u \int_{\tau_n}^{\tau_k} \frac{d^\mu}{d^\mu} d\tau = C_T t^x s^y V_{\text{экв}}^\mu; \quad (1)$$

$$h_x = C_u t^q s^m \int_{\tau_n}^{\tau_k} d^m d\tau = h_x - h_v = \int_{\tau_n}^{\tau_k} V_h d\tau, \quad (2)$$

где $C_T, C_u, x, y, \mu, q, u, m$ - эмпирические параметры в степенных зависимостях для определения периода стойкости T и скорости изнашивания V_h инструмента при стационарном резании, т.е. $T = C_T t^x s^y v^\mu$ и $V_h = C_u t^q s^m v^m$ [3]; τ_n и τ_k - соответственно время начала и конца обработки элементарной поверхности; h_n и h_k - соответственно величина износа резца в начале и в конце обработки элементарной поверхности; $V_{\text{экв}} = \pi d_{\text{экв}} n / 1000$ - эквивалентная скорость резания; $d_{\text{экв}}$ - эквивалентный диаметр обработки, т.е. такой постоянный диаметр, который соответствует эквивалентному периоду стойкости $T_{\text{экв}}$ при стационарном резании.

Из приведенных выражений видно, что переменным параметром является диаметр обработки, который, в свою очередь, определяется геометрией обрабатываемой детали.

В общем случае при обработке элементарной поверхности (рис. 1), образующая которой описана в декартовых координатах уравнением $Y = f(X)$, диаметр обработки в любой момент времени равен $d = 2Y = 2f(X)$.

Длина перемещения вершины резца вдоль образующей поверхности за время t определяется выражением

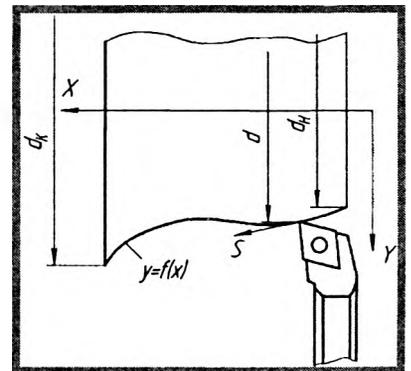


Рисунок 1 – Токарная обработка поверхности $Y = f(X)$ с переменной скоростью резания

$$L = ns\tau = \int_0^x \sqrt{1 + [f'(X)]^2} dx,$$

где $f'(X)$ - первая производная от функции $f(X)$.

Тогда

$$\tau = \frac{1}{ns} \int_0^x \sqrt{1 + [f'(X)]^2} dx.$$

Отсюда получим

$$\tau_v = \frac{1}{ns} \int_0^{x_v} \sqrt{1 + [f'(X)]^2} dx; \quad \tau_k = \frac{1}{ns} \int_0^{x_k} \sqrt{1 + [f'(X)]^2} dx,$$

где x_n, x_k - координаты вершины реза по оси OX , соответствующие началу и концу обработки элементарной поверхности $Y = f(X)$.

Значения x_n, x_k равны

$$x_v = F(d_v) / 2; \quad x_k = F(d_k) / 2,$$

где F - обратная функция от $Y = f(X)$.

Используя выражения (1) и (2), после замены переменной получим

$$T = C_T t^x s^y \left(\frac{2\pi m}{1000} \right)^\mu \frac{\int_{x_v}^{x_k} \sqrt{1 + [f'(X)]^2} dx}{\int_{x_v}^{x_k} \frac{\sqrt{1 + [f'(X)]^2} dx}{[f(X)]^\mu}}; \quad d_{\text{экв}} = \left[\frac{2^\mu \int_{x_v}^{x_k} \sqrt{1 + [f'(X)]^2} dx}{\int_{x_v}^{x_k} \frac{\sqrt{1 + [f'(X)]^2} dx}{[f(X)]^\mu}} \right]^{\frac{1}{\mu}};$$

$$h_\pi = C_u t^q s^u \left(\frac{2\pi m}{1000} \right)^m \int_{x_v}^{x_k} [f(X)]^m \sqrt{1 + [f'(X)]^2} dx.$$

Полученные зависимости позволяют определить период стойкости (эквивалентный диаметр) и величину износа инструмента при токарной обработке с переменной скоростью резания деталей со сложным контуром. Используя значения τ_n и τ_k можно также определить время обработки элементарной поверхности

$$\tau_\pi = \tau_k - \tau_v.$$

Рассмотрим решение данной задачи на примерах обработки некоторых элементарных поверхностей.

Исходные данные: $n = 300 \text{ м}\ddot{u}\text{в}^{-1}$; $s = 0,35 \text{ м}\ddot{u}/\xi\alpha$; $t = 1 \text{ м}\ddot{u}$. Заготовка - чугун СЧ21, НВ 190. Резец - ВК6, $\varphi = 60^\circ$, $\varphi_1 = 20^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\gamma = 7^\circ$, $\lambda = 0^\circ$. Параметры формул (1) и (2):

$$C_T = 215^5; \quad x = -0,75; \quad y = -1; \quad \mu = -5; \quad C_u = 0,2 \times 10^{-3}; \quad q = 0,7; \quad u = 0,8; \quad m = 2,02.$$

- Уравнение образующей поверхности в декартовых координатах задаются двумя способами:
- в виде теоретического уравнения;
- в виде аппроксимирующего полинома.

Сравнение полученных результатов позволит оценить точность предложенных моделей износа и стойкости.

Обработка сферической поверхности (рис. 2)

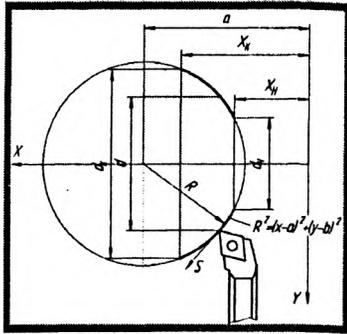
Примем $d_v = 75 \text{ мм}$ и $d_k = 150 \text{ мм}$.

Задание образующей сферической поверхности (окружности) теоретическим уравнением (рис. 2,а)

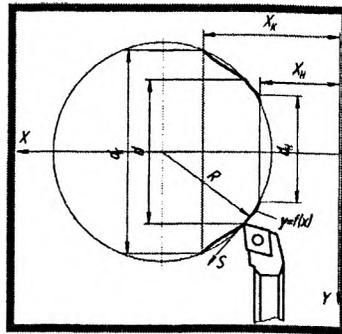
Уравнение окружности

$$R^2 - (x - a)^2 + (y - b)^2,$$

где a и b - смещение центра соответственно по осям X и Y ; R - радиус образующей.



а)



б)

Примем $R = 75$ мм. В данном примере окружность смещена относительно начала координат по оси X на величину 75 мм. Тогда зависимости $Y = f(X)$ и $f'(X)$ после преобразования примут вид

$$y = \sqrt{75^2 - (x - 75)^2},$$

$$y' = \frac{2x - 150}{2[5625 - (x - 75)^2]^{\frac{1}{2}}}$$

Рисунок 2 – Точение сферической поверхности с переменной скоростью резания

По приведенным выше зависимостям получим: $x_v = 10$ мм;

$x_k = 75$ мм; $d_{\text{окр}} = 130,9$ мм; $V_{\text{окр}} = 123,4$ м/мин; $T = 459$ мин; $h_x = 1,08$ мкм; $\tau_v = 0,374$ мин; $\tau_x = 1,12$ мин; $\tau_x = 0,738$ мин.

Замена уравнения окружности полиномом (рис. 2,б)

Аппроксимируем окружность полиномом пятого порядка:

$$y = 4 \times 10^{-8} x^5 - 9 \times 10^{-6} x^4 + 0,00096 x^3 - 0,063 x^2 + 2,68 x + 16,05$$

Первая производная - $y' = -0,126x + 0,00288x^2 - \frac{9x^3}{250000} + \frac{x^4}{500000} + 2,68$.

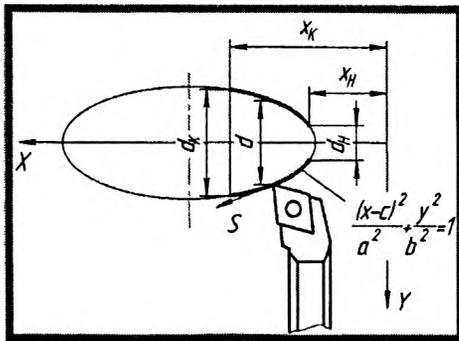
Аналогично предыдущему получим: $x_v = 10,5$ мм; $x_k = 75$ мм; $d_{\text{окр}} = 132,9$ мм; $V_{\text{окр}} = 125,3$ м/мин; $T = 47,7$ мин; $h_x = 1,07$ мкм; $\tau_x = 0,749$ мин.

Как следует из сравнения полученных результатов, замена теоретического уравнения образующей элементарной поверхности аппроксимирующим полиномом обеспечивает высокую точность результатов моделирования стойкости и износа инструмента.

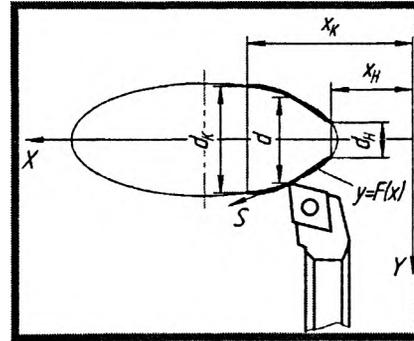
Обработка эллипсоида (рис. 3)

Задание образующей (эллипса) теоретическим уравнением (рис. 3,а)

Основные параметры эллипса – размеры его полуосей a и b , которые соответственно равны $a = 200$ мм; $b = 100$ мм.



а)



б)

Рисунок 3 - Точение эллипсоида с переменной скоростью резания

Уравнение эллипса

$$\frac{(x - c)^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

где c - смещение центра по оси X .

Примем $c = 200$ мм. Тогда уравнение эллипса $Y = f(X)$ в декартовых координатах будет иметь вид

$$y = \sqrt{b^2 - \frac{b^2}{a^2} (x - c)^2} = \sqrt{100^2 - \frac{1}{4} (x - 200)^2},$$

а первая производная

$$y' = \frac{1}{4[(-x^2) + 400x]^{\frac{1}{2}}} [-2x + 400].$$

Примем $d_k = 150$ мм; $d_v = 50$ мм. Тогда по приведенным выше зависимостям получим: $x_v = 6,35$ мм; $x_k = 67,71$ мм; $d_{\text{экв}} = 118,8$ мм; $V_{\text{экв}} = 112$ м/мин; $T = 74,6$ мин; $h_x = 0,913$ мкм; $\tau_v = 0,248$ мин; $\tau_k = 1,016$ мин; $\tau_x = 0,768$ мин.

Замена уравнения эллипса полиномом (рис. 3,б)

При аппроксимации эллипса полиномом получаем

$$y = -3 \times 10^{-6} x^4 + 5,6 \times 10^{-4} x^3 - 0,044 x^2 + 2,244 x + 12,55;$$

$$y' = \frac{-3}{250000} x^3 + 0,168 \times 10^{-2} x^2 - 0,88 \times 10^{-1} x + 2,244.$$

Аналогично предыдущему получим: $x_v = 6,35$ мм; $x_k = 67,7$ мм; $d_{\text{экв}} = 118$ мм; $V_{\text{экв}} = 111,2$ м/мин; $T = 77,1$ мин; $h_x = 0,89$ мкм; $\tau_x = 0,761$ мин.

Обработка конической поверхности (рис. 4)

При обработке конической поверхности диаметр обработки в любой момент времени τ определяется выражением

$$\tau = 2nst \sin \alpha,$$

где α - половина угла конуса.

Тогда

$$\tau_v = \frac{d_v}{2ns \sin \alpha}; \quad \tau_k = \frac{d_k}{2ns \sin \alpha},$$

где d_v , d_k - соответственно минимальный и максимальный диаметры обработки.

Эквивалентный диаметр, период стойкости и величина износа резца [2]

$$d_{\text{экв}} = \left[\frac{(1 - \mu)(d_k - d_v)}{d_k^{1-\mu} - d_v^{1-\mu}} \right]^{\frac{1}{\mu}}; \quad T = C_T t^x s^y \left(\frac{\pi n}{1000} \right)^{\mu} \frac{(1 - \mu)(d_k - d_v)}{d_k^{1-\mu} - d_v^{1-\mu}};$$

$$h_x = C_U t^q s^u \left(\frac{\pi n}{1000} \right)^m \frac{d_k^{m+1} - d_v^{m+1}}{2ns \sin \alpha (m + 1)}.$$

Примем $d_k = 120$ мм; $d_v = 50$ мм; $\alpha = 10^\circ$.

Получим: $d_{\text{экв}} = 93,37$ мм; $V_{\text{экв}} = 78,9$ м/мин; $T = 249,6$ мин; $h_x = 1,23$ мкм; $\tau_x = 1,92$ мин.

Обработка торцевой поверхности (рис. 5)

Обработка торцевой поверхности является частным случаем обработки конуса с углом при вершине $\alpha = 90^\circ$. Выполним расчет при $n = 500$ μv^{-1} .

Примем $d_v = 60$ мм и $d_k = 120$ мм. Получим:

$d_{\text{экв}} = 96$ мм; $V_{\text{экв}} = 90,5$ м/мин; $T = 216$ мин; $h_x = 0,2$ мкм; $\tau_x = 0,286$ мин.

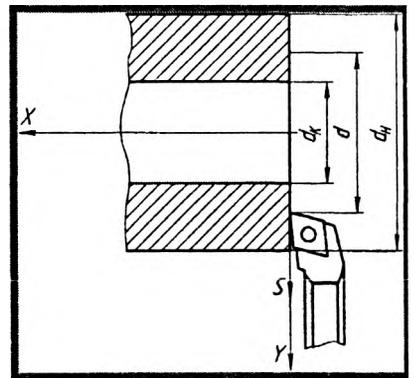


Рисунок 5 – Схема обработки торцевой поверхности

Токарная обработка контура с образующей в виде гиперболы (рис. 6)

Задание образующей (гиперболы) теоретическим уравнением (рис. 6,а)

Уравнение гиперболы в общем виде

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

Примем $a = 50$ мм; $b = 30$ мм. Тогда уравнение гиперболы

$$\frac{x^2}{50^2} - \frac{y^2}{30^2} = 1.$$

После преобразования

$$y = \sqrt{\frac{9}{25}x^2 - 900};$$

$$y' = \frac{3x}{(15x^2 - 22500)^{\frac{1}{2}}}.$$

Выполним расчет при $n = 500 \mu\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$.

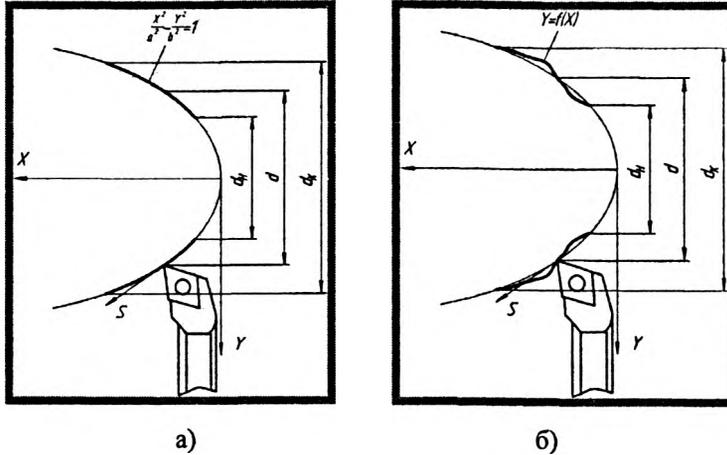


Рисунок 6 – Схема обработки контура, описанного гиперболой

Примем $d_x = 75 \text{ мм}$; $d_v = 60 \text{ мм}$.

Получим: $x_v = 70,7 \text{ мм}$; $x_k = 80 \text{ мм}$; $d_{\text{вкп}} = 68,1 \text{ мм}$; $V_{\text{вкп}} = 107 \text{ м/мин}$; $T = 936 \text{ мин}$;
 $h_x = 12,8 \text{ мкм}$; $\tau_x = 0,068 \text{ мин}$.

Замена уравнения гиперболы полиномом (рис. 6,б)

При аппроксимации гиперболы полиномом получаем

$$y = 1 \times 10^{-4} x^3 - 0,02627 x^2 + 3,086 x - 91,96; \quad y' = \frac{3x^2}{10000} - 0,052524x + 3,086.$$

Аналогично предыдущему получим: $x_v = 70,7 \text{ мм}$; $x_k = 80,04 \text{ мм}$; $d_{\text{вкп}} = 69 \text{ мм}$;
 $V_{\text{вкп}} = 108,3 \text{ м/мин}$; $T = 882 \text{ мин}$; $h_x = 13,2 \text{ мкм}$; $\tau_x = 0,069 \text{ мин}$.

Выводы

Анализ полученных результатов показывает следующее:

- разработанные математические модели позволяют определить период стойкости и величину износа инструмента при обработке с переменной скоростью резания любой аналитически описываемой поверхности;
- замена теоретического уравнения аппроксимирующим полиномом обеспечивает высокую точность моделирования периода стойкости и износа инструмента;
- использование уравнения в виде полинома позволяет использовать разработанные модели при программировании обработки сложных контуров средствами современных систем ЧПУ.

Реальные детали, обрабатываемые на станках с ЧПУ, представляют собой совокупность нескольких элементарных поверхностей. Математические зависимости, позволяющие определить T , h_p и τ_p , в этом случае имеют вид [4]:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^N \tau_{pi}}{\sum_{i=1}^N \frac{\tau_{pi}}{T_i}}; \quad (3) \quad h_x = \sum_{i=1}^N h_{pi}; \quad (4) \quad \tau_x = \sum_{i=1}^N \tau_{pi}, \quad (5)$$

где τ_{pi} , T_i , h_{pi} - соответственно время резания, период стойкости и износ резца при точении i -й элементарной поверхности; N - число элементарных поверхностей на детали.

Обработка сложного профиля

Рассмотрим обработку сложного контура, состоящего из торцевой, конической, сферической и эллиптической поверхностей, а также поверхности, образующая которой описана полиномом (рис. 7).

Выполним расчет при $n = 300 \text{ об/мин}$.

Результаты моделирования износа и стойкости инструмента приведены в табл. 1.

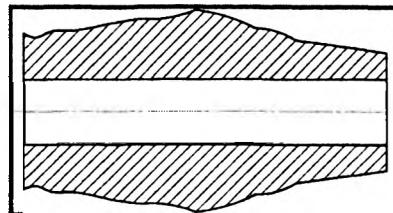


Рисунок 7 – Обработка сложного контура с переменной скоростью резания

Таблица 1 – Результаты моделирования износа и стойкости инструмента при обработке сложного контура

Элементарная поверхность	Параметры образующей	d_n	d_k	$d_{экв}$	$V_{экв}$	T_i	h_{pi}	τ_{pi}
Торец	-	60	100	83	78,4	444	0,6	1,097
Конус	$\alpha = 10^\circ$	110	100	105	99	137	0,51	0,546
Сфера	$R = 80_{\text{мм}}$	110	160	147	138,5	25,8	1,08	0,619
Эллипсоид	$a = 200,$ $b = 100$	160	180	171	161	12	0,92	0,327
Контур, описанный полиномом	$y = -9 \times 10^{-9} x^5 + 2 \times 10^{-6} x^4 -$ $- 9 \times 10^{-5} x^3 + 0,247x + 90$	180	126	190,5	179,5	4,26	3,61	0,955

Время на обработку контура составит:

$$\tau_x = 1,097 + 0,546 + 0,619 + 0,327 + 0,955 = 3,544 \text{ мин.}$$

Период стойкости инструмента:

$$T = \frac{4}{\frac{1,097}{444} + \frac{0,546}{137} + \frac{0,619}{25,8} + \frac{0,327}{12} + \frac{0,955}{4,26}} = 12,57 \text{ мин.}$$

Износ инструмента за время обработки детали:

$$h_x = 0,6 + 0,507 + 1,083 + 0,92 + 1,418 = 6,72 \text{ мкм.}$$

Таким образом, разработанные математические модели (3 – 5) позволяют определить период стойкости, величину износа инструмента и время резания при обработке с переменной скоростью резания сложных контуров, включающих несколько элементарных поверхностей. Такие модели могут быть использованы как при назначении параметров режима резания на токарных многоцелевых станках, так и для оптимизации режима резания методами математического моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соломенцев Ю.М., Басин А.М. Оптимизация технологических процессов механической обработки и сборки в условиях серийного производства. М. НИИМаш, 1977. – 72с.
2. В.И.Туромша, Чан Ким Тоан. Токарная обработка деталей сложной формы с переменной скоростью резания. // Весці Акадэміі навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 1995. №2. С. 48-53.
3. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. В 2 т. М., 1985. Т. 2. 584 с.
4. П.И.Ящерицын, В.И.Туромша, Чан Ким Тоан. Период стойкости и износ резцов при нестационарном резании на токарных станках с ЧПУ. // Весці Акадэміі навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 1993. №4. С. 40-47.

ПАРАМЕТРЫ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ СТАЛИ R35 ТОКАРНЫМИ ПЛАСТИНАМИ С ПОКРЫТИЯМИ

Зеленогурский университет
Зелена Гура, Польша

Износостойкие покрытия в настоящее время широко используются в производстве режущих инструментов, позволяя решить следующие вопросы:

- значительно повысить период стойкости и надежность инструментов;
- увеличить производительность процессов обработки резанием;
- сократить удельный расход дорогостоящих инструментальных материалов;
- расширить область использования твердых сплавов и сократить номенклатуру применяемых сплавов стандартных марок;
- повысить качество поверхностного слоя и точность размеров обработанных деталей.

Такие покрытия, независимо от технологии нанесения, имеют высокую твердость, износостойкость и низкий коэффициент трения, а также низкую теплопроводность. Это позволяет существенно снизить уровень сил резания, температуру в зоне резания другие физические характеристики процесса резания.

В промышленности применяются различные типы покрытий, среди которых одно- и многослойные на базе карбидов и нитридов металлов (титана, вольфрама и др.). При этом внутри каждого слоя в ходе нанесения могут формироваться одиночные слои толщиной 5, 10, 20, 50, 500 и 5000 нм общим количеством 1, 10, 100, 250, 500 и 1000. Ниже излагаются результаты сравнения некоторых параметров зоны стружкообразования при точении стали R35 пластинами с износостойким покрытием и без него.

Сталь R35 PN-89/H-84023/07 – сталь с ферритно-перлитной структурой, используемая в продукции бесшовных труб. Сталь имеет твердость 125 НВ, временное сопротивление $\sigma_b = 350$ МПа и содержит 0,07...0,16% углерода, 0,4...0,75% марганца, 0,12...0,35% кремния, до 0,3% меди с микродобавками фосфора и серы.

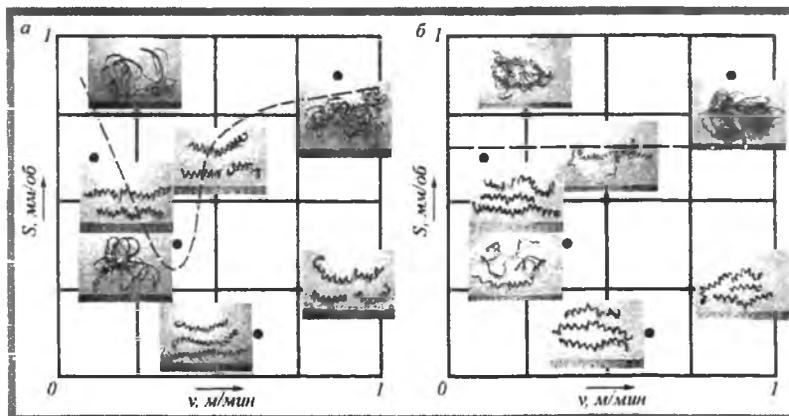


Рис. 1. Формы стружки при точении стали R35:

а – пластины без покрытия; б – пластины с покрытием

Точение осуществлялось с использованием сменных неперетачиваемых пластин TNUN 110304 трехгранной формы. После установки в оправке резцы имели главный угол в плане 90° , главный задний угол 8° . Глубина резания при точении принималась равной 1 мм, диапазон изменения скоростей резания – 77...435 м/мин, подача – 0,15...0,46 мм/об. Резание осуществлялось всухую. Материал сменной твердосплавной пластины S20 (аналог T14K8). Использованное покрытие – BALINIT® FUTURA NANO, материал покрытия TiAlN. Покрытие имеет микротвердость $HV_{0,05} = 3300$, коэффициент трения 0,30...0,35, максимальная рабочая температура 900°C . Покрытия наносились методом PVD по технологии фирмы «Oerlikon Balzers Coating».

Анализ форм образующей стружки не зафиксировал принципиальных различий между резанием пластинами с покрытием и без него (рис. 1), однако использование покрытий способствует более четкому разделу форм стружки (пунктирные линии на рисунке). При подачах менее 0,35 мм/об

Параметры зоны стружкообразования определялись по формулам:
толщина среза [1]

$$a_c = \frac{S}{1 - \frac{r_\beta}{t} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{S}{2r_t} \right)^2} \right]} \cdot \sin \left\{ \arctg \frac{1 - \frac{r_\beta}{t} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{S}{2r_\beta} \right)^2} \right]}{\left[1 - \frac{r_\beta}{t} (1 - \cos \varphi) \right] \operatorname{ctg} \varphi + \frac{r_\beta}{t} \left(\sin \varphi + \frac{S}{2r_\beta} \right)} \right\};$$

коэффициент утолщения стружки

$$K_a = \frac{a_c}{a};$$

угол сдвига [2]

$$\operatorname{tg} \Phi = \frac{\cos \gamma + 0,05 K_a}{0,9 K_a - \sin \gamma};$$

коэффициент трения на передней поверхности [2]

$$\mu = \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \Phi + \gamma \right),$$

где S – подача; r_β – радиус вершины пластины; t – глубина резания; a_c – толщина стружки; φ – главный угол в плане; γ – передний угол.

По результатам измерений и расчетов были определены уравнения множественной линейной регрессии для расчета параметров K_a , Φ и μ , и построены графические зависимости (рис. 2–4).

Легко заметить, что деформации стружки и коэффициенты трения на передней поверхности в случае резания пластинами с покрытиями уменьшаются на 5–10% по сравнению с использованием непокрытых пластин, а углы сдвига соответственно увеличиваются. Подобные закономерности позволяют ожидать соответствующего уменьшения сил резания и температур в зоне резания, повышения периодов стойкости пластин с покрытиями.

а)

б)

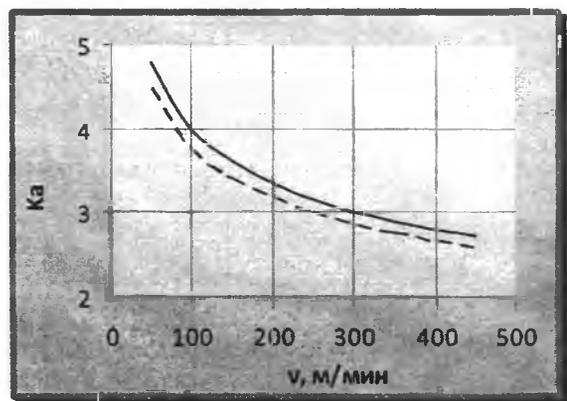
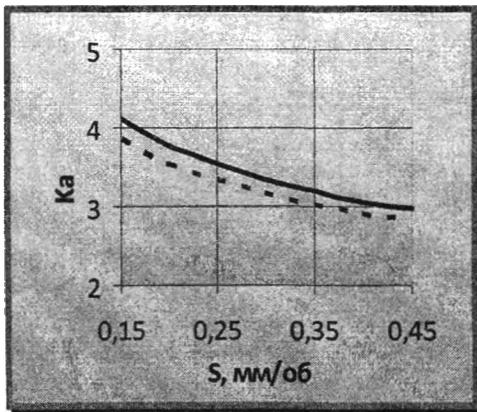


Рис. 2. Влияние режима резания на коэффициент укорочения стружки (сплошные линии – пластины без покрытия, пунктирные – с покрытием)

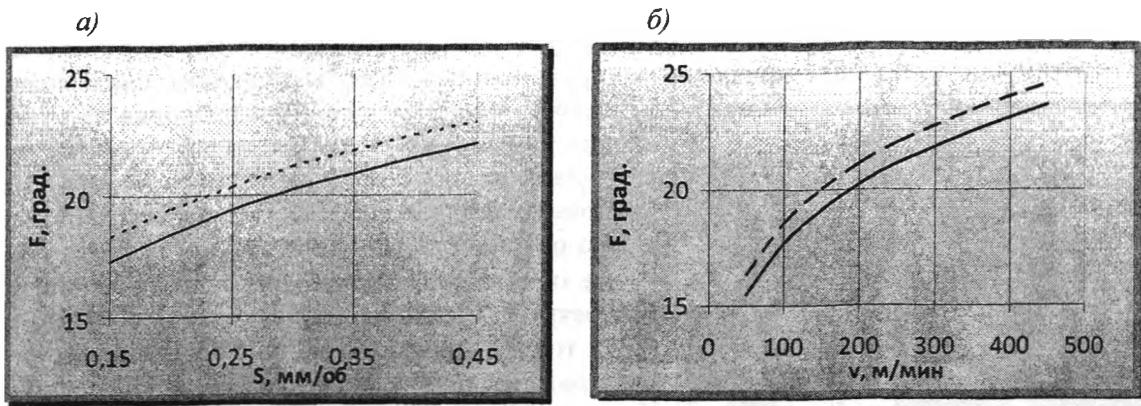


Рис. 3. Влияние скорости резания на угол сдвига

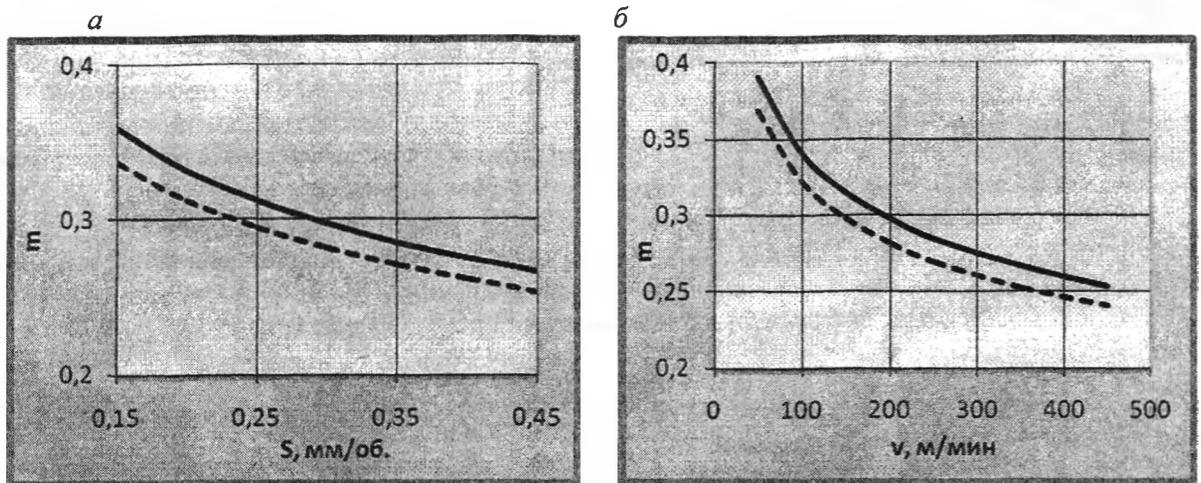


Рис. 4. Влияние скорости резания на коэффициент трения на передней поверхности

ЛИТЕРАТУРА

1. Силин С.С. Метод подобия при резании при резании металлов. М.: Машиностроение, 1979. - 152 с.
2. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. М.: Машгиз, 1956. - 368 с.

УДК 621.919

Фельдштейн Е.Э.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОТЯЖЕК ДЛЯ ОБРАБОТКИ УЗКИХ ФАСОННЫХ ПАЗОВ

*Зеленогурский университет
Зелена Гура, Польша*

Возрастающие требования к качеству и производительности обработки резанием вызывают развитие процессов протягивания и конструкций протяжек. Протягивание широко используется в крупносерийном и массовом производстве для обработки как внутренних, так и наружных поверхностей. В справочной и научной литературе подробно рассматриваются процессы и инструменты для обработки типовых поверхностей, однако практически полностью отсутствуют рекомендации по протягиванию фасонных поверхностей. Ниже рассматриваются некоторые особенности проектирования протяжек для обработки пазов в цилиндрических вкладышах дверных замков.

Припуск, срезаемый 2-й секцией, разделен на слои толщиной 0,11 мм (рис. 3, б) с целью ограничения уровня сил резания.

Форма профиля паза не позволяет обеспечить равномерные подъемы на зуб. Поэтому на 3-й секции на конце режущих кромок выполняется фаска (рис. 3, в). При ее отсутствии снижается прочность зубьев, и при контакте с деталью возможны их поломки. Профиль зубьев с наклонной режущей кромкой обеспечивает более высокий период стойкости надежности работы.

Подъемы зубьев 4-й и 5-й секций приняты равными 0,13 мм (рис. 3, з, д). Здесь также приняты сложные формы (перелом) режущих кромок, повышающие прочность зубьев.

Еще одна форма режущих кромок характерна для зубьев 6-й секции (рис. 3, е). Здесь зубья наклонены по всей длине, что облегчает сход стружки.

Аналогичный подход был принят для остальных секций протяжки. При этом возрастание высоты зубьев привело к постоянному уменьшению подъемов на зуб до уровня 0,05 мм с целью обеспечения прочности зубьев. Распределение припуска между всеми секциями приведено на рис. 3, ж. Примеры оформления зубьев с фасками и сломанными режущими кромками приведены на рис. 4.

После раздела припуска между секциями и отдельными зубьями имеется возможность точного расчета сил резания, действующих на отдельных зубьях в ходе обработки. Уровень сил резания определялся по формуле

$$P_z = k_c b z_p K_m,$$

где k_c – удельная сила резания при протягивании, Н/мм, зависящая от подъема на зуб и переднего угла; b – ширина режущей кромки, мм; z_p – число одновременно работающих зубьев; K_m – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала.

Значения k_c и K_m принимались в соответствии с рекомендациями [4, 5].

Спроектированная протяжка имеет 140 зубьев разной ширины и с разными подъемами на зуб. На рис. 5 показаны уровни удельных k_c и главных P_z сил резания для всех зубьев протяжки.

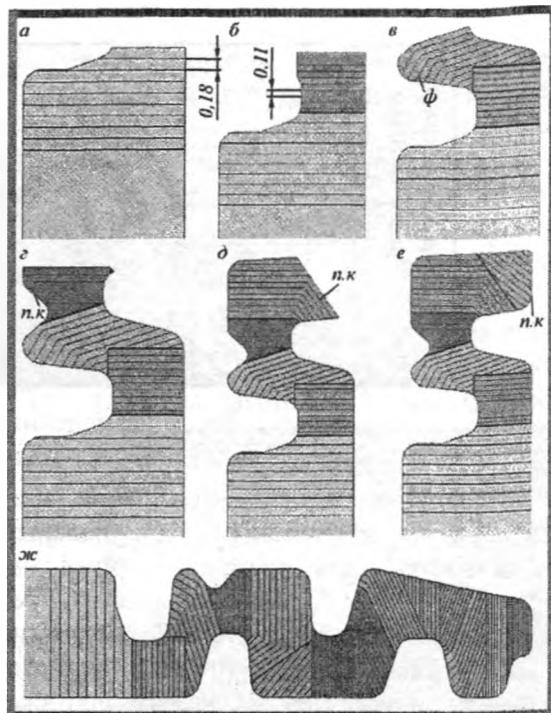


Рис. 3. Схемы разделения припуска: а – е – соответственно для секций 1 – 6; ж – для полного припуска (повернуто); ф – фаска; п.к – переломанная кромка

Отмечается достаточно равномерные значения сил с тенденцией снижения по мере уменьшения подъемов на зуб. Существенные изменения сил вызывают появление колебаний, отрицательно сказывающихся на работе всей технологической системы.

Таким образом, правильный выбор формы режущих кромок, подъемов на зуб и распределения припуска между секциями протяжек для протягивания фасонных пазов обеспечивает благоприятные условия

работы инструмента, его высокую стойкость и надежность работы.

После раздела припуска между секциями и отдельными зубьями имеется возможность точного расчета сил резания, действующих на отдельных зубьях в ходе обработки. Уровень сил резания определялся по формуле

$$P_z = k_c b z_p K_m,$$

где k_c – удельная сила резания при протягивании, Н/мм, зависящая от подъема на зуб и переднего угла; b – ширина режущей кромки, мм; z_p – число одновременно работающих зубьев; K_m – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала.

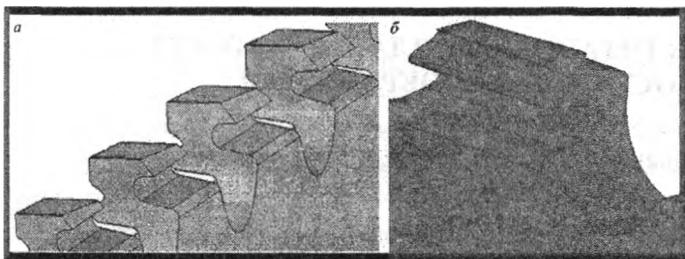


Рис. 4. Зубья с фасками (а) и ломаными кромками (б)

Значения k_c и K_{Σ} принимались в соответствии с рекомендациями [4, 5].

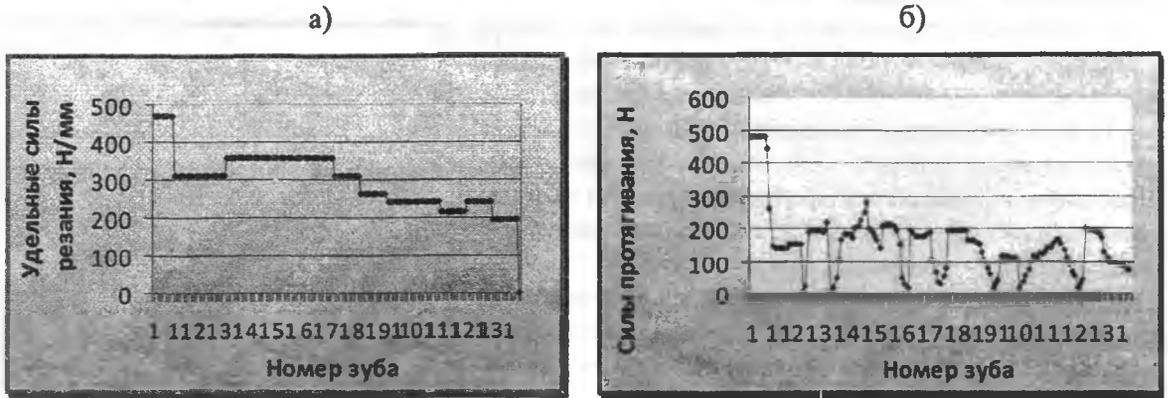


Рис. 5. Изменения уровней удельных k_c и главных P_z сил резания на отдельных зубьях протяжки

Спроектированная протяжка имеет 140 зубьев разной ширины и с разными подъемами на зуб. На рис. 5 показаны уровни удельных k_c и главных P_z сил резания для всех зубьев протяжки. Отмечается достаточно равномерные значений сил с тенденцией снижения по мере уменьшения подъемов на зуб. Существенные изменения сил вызывают появление колебаний, отрицательно сказывающихся на работе всей технологической системы.

Таким образом, правильный выбор формы режущих кромок, подъемов на зуб и распределения припуска между секциями протяжек для протягивания фасонных пазов обеспечивает благоприятные условия работы инструмента, его высокую стойкость и надежность работы.

ЛИТЕРАТУРА

- Щеголев В.А. Конструирование протяжек. М.: Машгиз, 1960.
- Шатин В.П., Шатин Ю.В. Режущий и накатный инструмент. Справочник конструктора-инструментальщика. М.: Машиностроение, 1975.
- Балюра П.Г. Геометрические параметры протяжек при обработке пазов по генераторно-ступенчатой схеме резания// Станки и инструмент.—1957.—№ 11.—С. 32–34.
- ГОСТ 20365-74. Протяжки круглые переменного резания диаметром от 14 до 90 мм. Конструкция и размеры.
- ГОСТ 18217-90. Протяжки шпоночные. Конструкция.

УДК 621.95.01

Фельдштейн Е.Э.

СВЕРЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ В ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ Ti6Al4V-ELI СВЕРЛАМИ С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Зеленогурский университет
Зелена Гура, Польша

Титановые сплавы широко применяются в современной промышленности, поскольку обладают высокими механическими характеристиками, малой плотностью и являются материалов инертным к большинству агрессивных сред. Поскольку данная группа матери Алов имеет весьма низкую теплопроводность и сложную микроструктуру, их обрабатываемость резанием весьма низкая, что весьма отрицательно сказывается на производительности обработки.

Одним из путей повышения эффективности обработки резанием является применение износостойких покрытий на режущих инструментах. Согласно литературным данным, применение покрытий позволяет:

- значительно повысить период стойкости и надежность инструментов;
- увеличить производительность процессов обработки резанием;
- сократить расход дорогостоящих инструментальных материалов;

- повысить качество поверхностного слоя и точность размеров обработанных деталей.

Ниже излагаются результаты исследований процесса сверления отверстий в титановом сплаве сверлами с различными покрытиями.

Обрабатываемый материал – титановый сплав Ti6Al4V-ELI, широко используемый в про-

изводстве эндопротезов и других изделий медицинского назначения. Это двухфазный ($\alpha + \beta$) сплав (рис. 1), содержащий ~ 90 % Ti, 6 % Al, 4 % V с возможными добавками до 0,1 % Fe, 0,15 % O и микродобавками C, H, N. Основные свойства сплава приведены в табл. 1.

Сверление осуществлялось на проход на вертикально фрезерном станке F251, толщина заготовки 13 мм. Охлаж-

Параметр	Величина
Плотность, г/см ³	4,43
Твердость	HB 326 (HRC 35)
Временное сопротивление, МПа	970...1030
Модуль упругости, ГПа	120
Относительное удлинение, %	12...16
Усталостная прочность, МПа	600
Удельная теплопроводность, Вт/м·К	6,7

дающая жидкость – 5%-ая эмульсия EMULGOL ES – 12 на водной основе. Исследования выполнялись согласно факторному плану 2² в диапазоне скоростей резания 3 – 10 м/мин и подачи 0,04 – 0,08 мм/об. Данный диапазон соответствует рекомендациям по сверлению титановых сплавов сверлами из быстрорежущей стали [1].

Использовались сверла из быстрорежущей стали (HSS) ГОСТ 886-77 со шлифованным профилем диаметром 5 мм с углом при вершине $2\varphi = 118^\circ$, углом наклона стружечной канавки $\omega = 23^\circ$ и задним углом $\alpha = 6^\circ$. Сравнивались параметры сверления для непокрытых сверл и сверл с покрытиями BALINIT® FUTURA NANO и BALINIT® HARDLUBE. Покрытия наносились методом PVD по технологии фирмы «Oerlikon Balzers Coating». Состав и некоторые свойства покрытий приведены в табл. 2.



Рис. 1. Микроструктура сплава Ti6Al4V ELI

Таблица 2. Состав и свойства исследуемых покрытий

Параметр	FUTURA NANO	HARDLUBE	X-TREME
Материал	TiAlN	TiAlN + WC/C	TiAlN
Микротвердость HV 0,05	3300	3000	3500
Коэффициент трения	0,30...0,35	0,15...0,20	-
Максимальная рабочая температура, °C	900	800...1000	800
Структура	Наноструктура	Многослойная	Однослойная
Внутренние напряжения, ГПа	-(1,7...2,0)	-(1,7...2,0)	-

На первом этапе исследований рассматривался характер заусенцев, образующихся на выходе сверла из отверстия. Данный вопрос весьма важен при сверлении на проход, особенно при обработке прочных и пластичных материалов. Выявлено следующие формы заусенцев, образующихся при сверлении отверстий в сплаве Ti6Al4V ELI:

- «надорванный колпачок» (рис. 2, а);
- удлиненные фрагменты колпачка, перекрывающие отверстие или направленные параллельно его оси (рис. 2, б, в);
- тонкое кольцо вдоль периметра отверстия (рис. 2, г).

При этом задиры в форме колпачков и тонких колец зафиксированы преимущественно при использовании сверл в исходном состоянии (для более 50% отверстий). При использовании сверл с покрытиями встречаются только заусенцы, вытянутые вдоль направления подачи сверла (рис. 2, в). Вероятно, подобное обстоятельство обусловлено изменениями в условиях нагрева срезаемого слоя стружки при выходе сверла из отверстия.

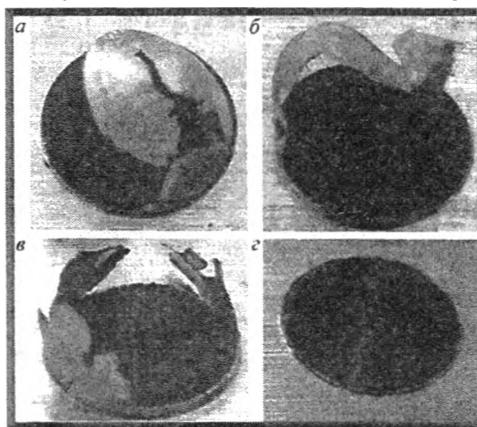


Рис. 2. Типовые формы заусенцев при сверлении сплава Ti6Al4V ELI

Анализ форм стружки проводился на базе нормы ИСО 3685:1993. Зарегистрированы стружки в виде запутанных гофрированных спиралей (1), коротких (2) и длинных (5) открытых винтовых спиралей, конических винтовых спиралей (3, 4), отдельных витков и полувитков (6). Однако при использовании сверл с покрытиями, особенно однослойными, стружка в виде отдельных витков и полувитков встречается значительно реже, преимущественно при малых скоростях и подачах. Преобладают стружки в виде спиралей различных типов. Возможно, здесь сказывается влияние более низких коэффициентов трения, облегчающих сход стружки и ее транспортировку по стружечным канавкам.

Оценивалось также влияние условий обработки на точность просверленных отверстий.

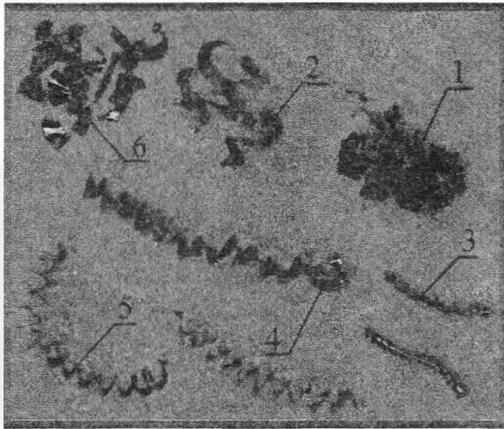


Рис. 3. Формы стружки при сверлении сплава Ti6Al4V-ELI

Точность отверстий оценивалась по изменениям их номинального диаметра (разбивке). Поскольку использовались сверла длинной серии, имело место пониженная жесткость технологической системы, и подавляющее большинство отверстий имело форму неправильного трехгранника (в соответствии с известной зависимостью $n = z + 1$, где n – число граней в отверстии, z – число зубьев инструмента). При такой форме отверстий для измерения разбивки невозможно использование нутромера. Поэтому диаметры просверленных отверстий определялись на микроскопе БМИ на основе измерения координат трех точек, наиболее отдаленных от центра отверстия $(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3)$, и последующих расчетов координат центра отверстия x_0, y_0 и радиуса описанной окружности R :

$$x_0 = \frac{D \cdot E - B \cdot F}{G}; y_0 = \frac{A \cdot F - C \cdot E}{G};$$

$$D_0 = 2\sqrt{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2}.$$

Здесь

$$A = x_2 - x_1; B = y_2 - y_1; C = x_3 - x_1; D = y_3 - y_1;$$

$$E = A \cdot (x_1 + x_2) + B \cdot (y_1 + y_2); F = C \cdot (x_1 + x_3) + D \cdot (y_1 + y_3);$$

$$G = 2 \cdot (A \cdot (y_3 - y_2) - B \cdot (x_3 - x_2)).$$

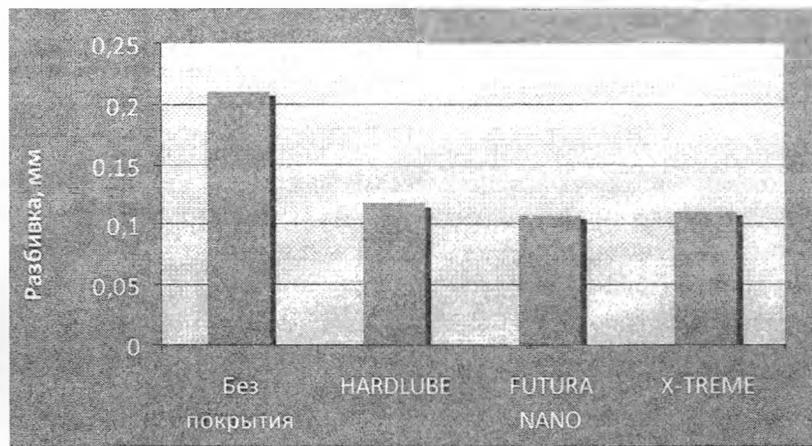


Рис. 4. Влияние покрытия на разбивку просверленного отверстия

Анализ результатов расчетов показывает, что режимы обработки не влияют на разбивку просверленных отверстий, тогда как наличие покрытия на сверле оказывает существенное влияние (рис. 4), снижая разбивку в 2 раза. Вероятно, это связано со снижением сил резания, действующих на контактных площадках сверл с покрытиями.

Таким образом, использование сверл с покрытиями улучшает условия стружкообразования и повышает точность просверленных отверстий

ЛИТЕРАТУРА

Режимы резания труднообрабатываемых материалов. Справочник / Я.Л. Гуревич [и др.]. – М.: Машиностроение, 1976.

УДК 621.963

Мрочек Ж.А., Шадуя В.Л., Кожуро Л.М., Кожуро С.Л.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ АЛМАЗНЫМ КРУГОМ С ОРИЕНТИРОВАННЫМИ РЕЖУЩИМИ ЗЕРНАМИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Известно [1...3], что различные способы обработки металлов оказывают непосредственное, присущее только данному способу воздействие на геометрические параметры и физические свойства поверхностного слоя деталей машин. Так, например, установлено [4...6], что при алмазном шлифовании в сравнении с обычным абразивным создаются более благоприятные условия резания: снижаются усилия резания и температура в зоне обработки. Это обеспечивает получение поверхностного слоя обработанных деталей с определенными физико-механическими свойствами.

В работе представлены результаты исследований влияния алмазного шлифования на содержание остаточного аустенита, величину и знак напряжений 1 рода, а также характеристики тонкой кристаллической структуры и микротвердость поверхностного слоя, определение которых проводилось методами рентгеноструктурного анализа по методикам, изложенным в работах [7,8]. Исследования проводили на образцах из легированных инструментальных сталей ШХ15, ХВГ, 40Х, Р18, У10А. Выбор этих марок стали обусловлен тем, что они используются для изготовления инструмента и деталей, работающих в условиях высоких контактных и изгибающих напряжений.

Образцами для исследований служили плоские заготовки размером 100 × 50 × 30 мм, полученные с одной плавки для каждой стали. Заготовки в состоянии поставки были обработаны фрезерованием (шероховатость поверхности $R_a = 2,5$ мкм) и подвергнуты термообработке по режимам (табл. 1). Алмазное шлифование образцов осуществляли на плоскошлифовальном станке модели ЗБ64 с применением СОЖ (3 %-й водный раствор кальцинированной соды).

Использовали алмазный шлифовальный круг на пористой металлической связке с ориентированными алмазными зёрнами, который имел форму круга АПП 125 × 32 × 10 × 3 АСВ 125/100МП1 100 и обычный алмазный круг на металлической связке - АПП 125 × 32 × 10 × 3 АСВ 125/100 М58 100. Обработку образцов осуществляли кругами при следующем режиме шлифования: скорость круга $V = 25$ м/с, подача $S = 1,5$ м/мин, глубина резания $t = 0,01$ мм, припуск $h = 0,2$ мм.

Таблица 1

Режимы термообработки материала образцов

Марка стали	Температура закалки, °С	Температура отпуска, °С	Твердость, HRC	Исходная структура
ШХ15	840...860	180...200	62...64	Мартенсит
ХВГ	840...860	180	62...64	Мартенсит
Р18	Предварительный подогрев 650...700	3 кратный отпуск	63...65	Мартенсит
	Второй подогрев 900...950			
	Окончательный подогрев 1250...1280			
40Х	840...860		52...57	Тростит

Физико-механические параметры поверхностного слоя образцов, полученного после алмазного шлифования различными кругами, представлены в табл. 2. Анализ их показывает, что после алмазного шлифования кругом на пористой металлической связке с ориентированными зёрнами и подачей СОЖ через поры круга поверхностный слой всех исследуемых сталей имеет меньше содержания остаточного аустенита, чем после алмазного шлифования обычным кругом. Это можно объяснить тем, что шлифование первым кругом сопровождается значительно меньшим

повышением температуры в зоне обработки. Так, в наших экспериментах для всех исследуемых сталей температура в зоне резания не превышала 370⁰С. Это главное преимущество разработанного алмазного шлифовального круга, которое определяет характер и интенсивность структурных превращений в поверхностном слое материала детали, а следовательно, и ее физико-механические свойства.

Таблица 2. Физико-механические параметры качества сформированного алмазным шлифованием поверхностного слоя

	Наименование параметра	Значение параметров после шлифования									
		Обычным алмазным кругом					Кругом с ориентированными алмазными зернами и подачей СОЖ через поры круга				
		ШХ15	ХВГ	P18	У10	40Х	ШХ15	ХВГ	P18	У10	40Х
1	Процентное содержание остаточного аустенита А, %	14	12	28	9	-	11	10	22	8	-
2	Знак и величина напряжения 1-го рода σ_1 , ГПа	-0,38	-0,45	-1,50	0,48	-0,33	-0,64	-0,70	-1,90	-0,80	-0,42
3	Величина напряжения 11-го рода σ_2 , ГПа	0,45	0,37	0,57	0,38	0,23	0,64	0,62	0,84	0,62	0,58
4	Дисперсность блоков когерентного рассеяния D, нм	50	22	64	60	66	36	12	36	40	42
5	Микротвердость Нц, ГПа	8,4	9	10	9,3	7	9,6	9,8	11	10	8,2

При алмазном шлифовании этим кругом происходит заметный распад остаточного аустенита у всех исследуемых сталей. Известно [9], что остаточный аустенит имеет низкую устойчивость в условиях деформации даже при небольших температурах. Меньшая интенсивность распада аустенита при обычном алмазном шлифовании обусловлена очевидно возрастанием теплового воздействия и относительным снижением деформационного. Кроме того, можно предположить, что уменьшение остаточного аустенита при шлифовании на пористой металлической связке с ориентированными алмазными зернами происходит и за счет того, что низкая температура в зоне обработки приводит к распаду пересыщенного твердого α – раствора с когерентным выделением мельчайших частиц карбидов и распаду аустенита, соответствующему низкотемпературному отпуску [10]. Известно [9], что механизм формирования технологических остаточных напряжений сложен, но в основном зависит от соотношения силовых и температурных факторов.

Результаты проведенных исследований показывают, что при обработке закаленных сталей с различными механическими характеристиками как обычным алмазным кругом, так и исследуемым кругом в поверхностном слое возникают остаточные напряжения сжатия. Это свидетельствует о том, что основной причиной возникновения напряжений является пластическая деформация.

Анализ данных (табл.2) показывает, что для всех шлифуемых образцов пластические и упругие деформации формируют поверхностный слой с различными по величине снимающимися напряжениями. Возникновение последних можно объяснить в первую очередь объемными изменениями, вызванными механическим воздействием, когда происходит уменьшение плотности вещества в поверхностном слое. Снижение сжимающих напряжений при шлифовании закаленных сталей обычным алмазным шлифовальным кругом обусловлено возрастающим тепловым влиянием. Так, при шлифовании стали P18 обычным алмазным кругом в зоне резания возникает температура, равная 7250С (выше температуры отпуска), в то время как при шлифовании неисследованным кругом она равна 3600С [2].

Известно, что характеристики тонкой кристаллической структуры поверхностного слоя (остаточные напряжения II рода и блоки когерентного рассеяния) значительно влияют на прочность металлов и сплавов. Состояние высокой прочности сталей и сплавов характеризуется наличием больших искажений решетки и значительной дисперсностью блоков. Разупрочнение сопровождается уменьшением искажения решетки и укрупнением блоков [9]. Остаточные напряжения II рода (микронапряжения) и изменение величины блоков когерентного рассеяния (блоки мозаики) вызываются действием различных факторов [11].

Анализ полученных результатов (табл.1) показывает, что при шлифовании исследуемым кругом блоков и рост микроискажений больше, чем при шлифовании обычным алмазным кругом. При алмазном шлифовании нагрев в зоне резания характеризуется высокой скоростью, интенсивностью и кратковременностью действия, которые зависят от свойств сталей. Учитывая, что при этом происходит пластическая деформация металлов, можно утверждать, что при шлифовании исследуемым кругом на дробление блоков и рост микроискажений в основном влияет пластическая деформация. При шлифовании обычным алмазным кругом температурный фактор способствует увеличению зерна и уменьшению напряжений II рода.

При сравнении поверхностного слоя образцов, полученных после шлифования обычным и исследуемым кругами, установлено, что микротвердость всех шлифуемых сталей при использовании второго круга выше (табл.2).

Для определения влияния конструкции круга на геометрические характеристики сформированного алмазным шлифованием поверхностного слоя образцов из стали ШХ15, обработанных при описанном выше режиме обычным алмазным кругом и исследуемым кругом, были определены параметры шероховатости поверхности (табл.3). Анализ полученных результатов показывает, что параметры шероховатости поверхности, сформированные исследуемым шлифовальным кругом, по сравнению с обычным алмазным кругом имеют меньшие значения. Обусловлено это тем, что круг с ориентированными зернами относительно плоскости резания имеет оптимальные условия обработки для каждого зерна и наилучший отвод продуктов обработки из зоны шлифования.

Таблица 3. Геометрические характеристики сформированного алмазным шлифованием поверхностного слоя

№ п/п	Наименование параметра	Значения параметров после шлифования	
		Обычным алмазным кругом	Исследуемым кругом
1	Среднее арифметическое отклонение профиля Ra, мкм	0,62	0,46
2	Высота неровностей профиля по десяти точкам Rz, мкм	2,90	1,80
3	Наибольшая высота неровностей профиля Rmax, мкм	3,80	2,70
4	Средний шаг неровностей Sm, мкм	88	64
5	Средний шаг неровностей по вершинам S, мкм	65	48
6	Относительная упорная длина профиля на уровне $\rho=0,5 R_{max} t_v$, %	47	52
7	Средний радиус округления вершин выступов r, мкм	406	387

ЛИТЕРАТУРА

1. Филонов И.П., Беляев Г.Я., Кожуро Л.М. и др. Проектирование технологических процессов в машиностроении. Под ред. И.П. Филонова. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 910 с. 2. Кожуро Л.М., Панов А.А., Пономарева Э.Б.. Отделочно-абразивные методы обработки: Справоч-

ное пособие. – Мн.: Вышэйшая школа, 1983. – 287 с. 3. Ящерицын П.И., Забавский М.Т., Кожуро Л.М. и др. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 272 с. 4. Кожуро Л.М., Чистосердов П.С., Ремизовский Э.И. Шлифование металлов. – Мн.: Дизайн ПРО, 2000. – 352 с. 5. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. – Киев: Наукова думка, 1984. – 272 с. 6. Захаренко И.П. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента. – Киев: Наукова думка, 1991. – 300 с. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. – М.: Физматгиз, 1961. – 836 с. 8. Рентгенография в физическом металловедении. Под ред. Багаряцкого. – М.: Металлургиздат, 1961. – 368 с. 9. Мрочек Ж.А., Макаревич С.С., Кожуро Л.М. и др. Остаточные напряжения. – Мн.: Технопринт, 2003. – 317 с. 10. Сагарда Л.А., Чеповецкий И.Х., Мишнаевский П.П. Алмазно-абразивная обработка деталей машин. – Киев: Техника, 1974. – 176 с. 11. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электронографический анализ металлов. – М.: Металлургиздат, 1983. – 256 с.

УДК 621.941.088

Ивашин Э.Я., Ивашин В.Э.

ОСОБЕННОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ЭКСЦЕНТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

При обработке резанием превращение срезаемого слоя в стружку является одной из разновидностей процесса пластической деформации материала, выражающейся в изменении под действием внешней силы формы деформируемого тела.

Этот слой всегда с большей или меньшей интенсивностью подвергается неравномерному сжатию в направлении, перпендикулярном к передней поверхности лезвия. Как следствие, в двух других, перпендикулярных к первому, направлениях, возникают напряжения растяжения, и опорная поверхность стружки приобретает большую скорость.

Форма стружки и размеры ее элементов имеют важное значение, особенно при автоматизированном производстве. В неблагоприятных условиях возможно наматывание стружки на вращающиеся части станка, деталь или инструмент, что приводит к их поломкам. При обработке отверстий осевыми инструментами в вязких материалах, когда коэффициенты линейного укорочения и утолщения стружки велики, стружка пакетируется в канавках инструмента и контактирует со стенками обрабатываемого отверстия, что ухудшает их шероховатость или вызывает заклинивание и поломку инструмента.

В связи с этим часто возникает необходимость принудительного дробления стружки, что достигается с помощью накладных стружколомов, лунок или уступов на передней поверхности лезвия, изменения кинематики резания. Дробить стружку можно также за счет подбора геометрии инструмента и определенных режимов резания.

Уступы и лунки на передней поверхности инструментов, а также накладные стружколомы обеспечивают надежное дробление стружки только в данных конкретных условиях обработки, в то время как при незначительном изменении условий резания либо обрабатываемого материала вновь может образоваться недробленая сливная стружка.

Периодическое прерывание процесса резания с помощью изменения движения режущего инструмента в направлении подачи обеспечивает кинематическое дробление стружки при резании. К кинематическим способам дробления стружки можно также отнести нанесение канавок, рисок на обрабатываемой поверхности или поверхности резания до или во время обработки.

Для осуществления вибрационного и дискретного способов дробления стружки требуются устройства сложной конструкции. К тому же недостатком дискретного дробления стружки является необходимость приводить в колебательное движение значительной массы, например суппорт. Поэтому указанный способ рекомендуется при обработке заготовок, диаметр которых не превышает 200 мм. [1]

Известно устройство для токарной обработки, содержащее резец, совершающий возвратно-поступательное перемещение подачи через рычаг, благодаря вращению кулачка, тяги и пружины [2].

Недостатками известного устройства является невозможность обеспечения дробления стружки при продольном точении детали, а также высокая энергоемкость процесса при обработке эксцентричных деталей.

При точении эксцентричных деталей рекомендуется устройство, содержащее подпружиненный резец, установленный на суппорте с возможностью возвратно-поступательного перемещения в направлении оси центров станка. Устройство снабжено размещенным на резце клином, взаимодействующим с клиновой поверхностью введенной в устройство тяги со сферическим опорным элементом, установленной с возможностью перемещения в направлении, перпендикулярном оси центров станка, и взаимодействия с деталью.

На Рис. 1 показано предлагаемое устройство для токарной обработки; на Рис. 2 – устройство, вид сверху.

Устройство состоит из обрабатываемой детали 1, установленной в токарном патроне 2 и обрабатываемой резцом 3, контактирующим с подпружиненными осями 4. К резцу 3 прикреплен клин 5 винтами 6. Клин 5 имеет скошенную поверхность 7, взаимодействующую с ответной поверхностью клина, выполненного на тяге 8, Г-образной формы. Оси 4 подпружинены пружинами 9, которые зафиксированы от выпадания крышкой 10, прикрепленной к корпусу 11. Тяга 8 имеет вертикальную часть (стойку) 12 и установлена в направляющих 13 с возможностью перемещения в направлении, перпендикулярном подаче инструмента S. В вертикальной части 12 имеется опорный сферический элемент 14, контактирующий с обрабатываемой деталью 1. На осях 4 имеются штифтовые цилиндрические участки 15, установленные в отверстиях резца 3.

Устройство работает следующим образом.

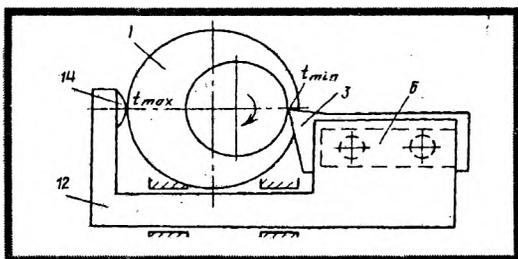


Рисунок 1

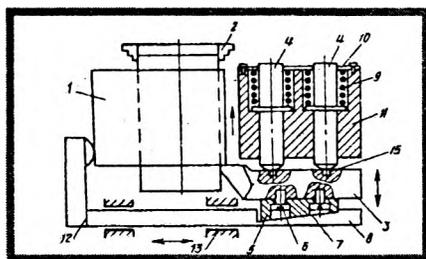


Рисунок 2

В токарный патрон 2 устанавливают деталь 1 и сообщают ей вращательное движение, резец 3, зажатый в приспособлении осями 4 и прижатый к тяге 8 совершает движение подачи S. Обработка эксцентричной детали 1 ведется с глубиной t_{min} и t_{max} (рис. 1 и 2) При вращении детали в тот момент, когда она минимальным припуском обращена к резцу 3, а сферический опорный элемент 14, контактируя с деталью 1, способствует перемещению тяги влево от центра детали 1, выполненный на тяге 8 клин взаимодействует со скошенной поверхностью 7 клина 5, тем самым перемещая подпружиненный резец 3 в направлении подачи и осуществляя дробление стружки в минимальном ее сечении. При уменьшении глубины от t_{max} до t_{min} по контакту со сферическим элементом 14 резец 3 под действием пружин 9 возвращается в исходное положение [3].

Устройство для токарной обработки обеспечивает дробление стружки при точении эксцентричных деталей и позволяет снизить расход мощности, необходимой на осуществление процесса резания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ящерицын П.И. и др. Теория резания. Физические и типовые процессы в технологических системах. – Мн.: Выш. Школа, 1990. – 512с. 2. Филоненко С.В. Резание металлов. – М. Машгиз, 1963 – 245с. 3. Ивашин Э.Я. и др. Устройство для токарной обработки. А.с. 1057188, опубл. в Б.И., 1983, №44

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ДВУХЛЕЗВИЙНЫХ РЕЗЦОВ ДЛЯ ФРЕЗЕРНО-БРУСУЮЩИХ СТАНКОВ

*Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь*

Процесс переработки тонкомерных бревен на пилопродукцию и технологическую щепу на фрезерно-брусующих машинах получил значительное распространение на деревообрабатывающих предприятиях республики. Это способствует расширению сырьевой базы деревообработки и повышению экономической эффективности производства.

Режущий инструмент фрезерно-брусующих станков различных зарубежных и отечественных производителей (рис.1), например фирм SAB, Mohringer, EWD (Германия), Storti, A.Costa righi (Италия), Soderhamn (Швеция), конструкция фрезы БТИ и др. весьма разнообразен [1] и требует технического совершенствования.

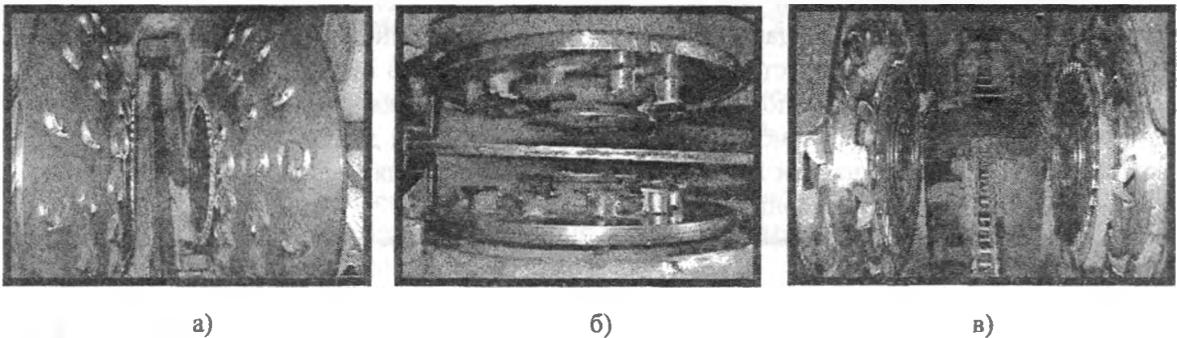


Рисунок 1 – Режущий инструмент ФБС: а – фрезы фирмы SAB, б – фрезы конструкции БТИ, в – фрезы фирмы A.Costa righi

Большинство из этих производителей, в том числе и отечественных, используют торцово-конические фрезы со спиральным расположением цельных двухлезвийных резцов, зачастую не удовлетворяющих эксплуатационников с точки зрения получения качественной продукции, износостойкости режущего материала, его долговечности, возможности самостоятельного изготовления и многократной переподготовки резцов.

По конструкции резцы двухлезвийные и формирование элементов щепы происходит двумя режущими кромками. Длинная режущая кромка работает в условиях поперечного резания и износ ее меньше в отличие от короткой режущей кромки, участвующей в поперечно-торцовом виде резания (рис.2) [2].

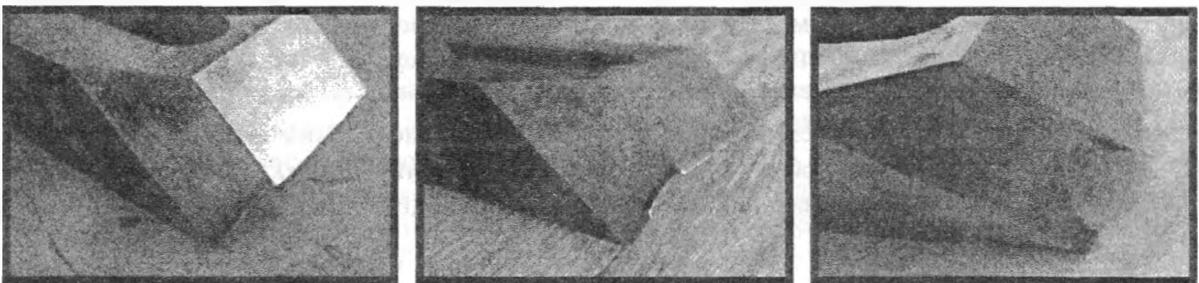


Рисунок 2 – Износ двухлезвийного резца

Энергетические затраты процесса резания на фрезерно-брусующих станках (ФБС) определяют силовое взаимодействие резца с древесиной [3]. В связи с различными условиями резания короткой и длинной режущими кромками и, следовательно, различным их износом предложено использовать не цельные двухлезвийные, а составные резцы с независимыми угловыми параметрами (рис.3).

Кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов (ДОСИИ) Белорусского государственного технологического университета разработано несколько вариантов фрезерно-брусующих станков (ФБС) типа БРМ для переработки тонкомерной древесины на двухкантный (четырёхкантный) брус и технологическую щепу. Машины изготавливались серийно и прошли производственную проверку и показали практическую работоспособность с положительным экономическим эффектом.

На рисунке 3, а представлены 2 варианта конструкции короткого подрезающего резца. В первом случае резец крепится непосредственно к длинному подчищающему резцу (рис. 3, б) посредством клинового соединения «ласточкин хвост». Далее собранные резцы крепятся на колонку-резцедержатель (рис. 3, в) при помощи потайного винта. Это необходимо для того, чтобы задняя грань длинного резца оставалась ровной, т. к. она непосредственно обращена к формируемой пластине бруса и не должна являться причиной появления дополнительных кинематических неровностей, ухудшающих в целом качество поверхности пласти бруса.

Первый вариант конструкции двухлезвийного резца (рис. 3, г) обладает широкими возможностями бесступенчатого регулирования угла поворота резца на колонке. В результате поворота двухлезвийного резца относительно резцедержателя вокруг оси центрального винта происходит трансформация угла заточки длинной режущей кромки, изменяется и передний угол при сохранении необходимого заднего угла. Но при этом изменяются и углы резания при короткой режущей кромке, что является недостатком данной конструкции.

Конструкция составного двухлезвийного резца, представленная во втором варианте, лишена указанного недостатка. Короткий подрезающий и длинный подчищающий резцы независимо крепятся на резцедержателе посредством винтов. Это позволяет фиксировать задний угол и угол заточки при длинной и короткой режущих кромках, а также изменять эти параметры независимо друг от друга

Для изменения угловых параметров процесса резания такими резцами заменяется лишь тот резец на другой с измененными угловыми параметрами, условия резания которым изменяем. Таким образом, происходит независимое изменение условий резания коротким и длинным резцами.

Для моделирования процесса резания древесины на ФБС создана экспериментальная установка,



Рисунок 4 – Экспериментальная установка для исследования процессов резания древесины

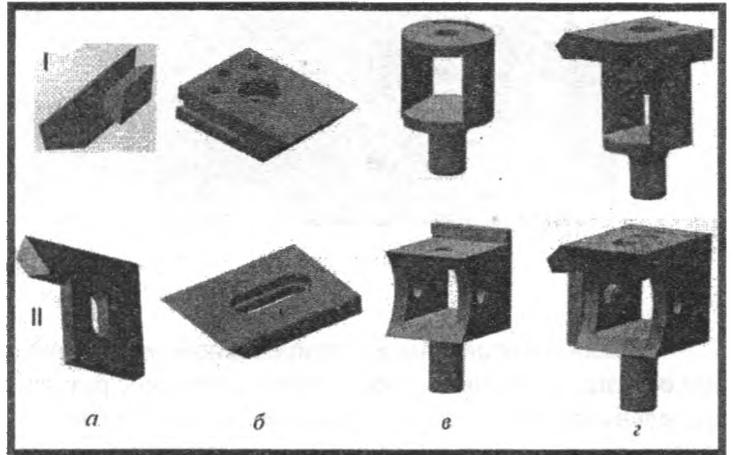


Рисунок 3 – Новые конструкции двухлезвийных резцов: а – подрезающий короткий резец; б – подчищающий длинный резец; в – резцедержатель; г – составной двухлезвийный резец в сборе

оснащенная новейшей компьютерной силоизмерительной системой, позволяющей с высокой точностью производить регистрацию, оцифровку, обработку, сохранение данных и последующее их представление в удобном для пользователя виде (табличном, графическом) в 3-х плоскостях, а крутящий момент в – плоскости ХУ (рис. 4).

В комплект набора современной силоизмерительной системы входят динамометр-датчик УДМ-1200 (на нем крепится при помощи винтов обрабатываемый материал), тензометрическая измерительная система ЕХ-УТ10 (позволяет регистрировать ана-

логовые данные с УДМ-1200, обрабатывать, сохранять), персональный компьютер и соединительные провода. Схема соединений устройств измерительной системы представлена на рисунке 5.

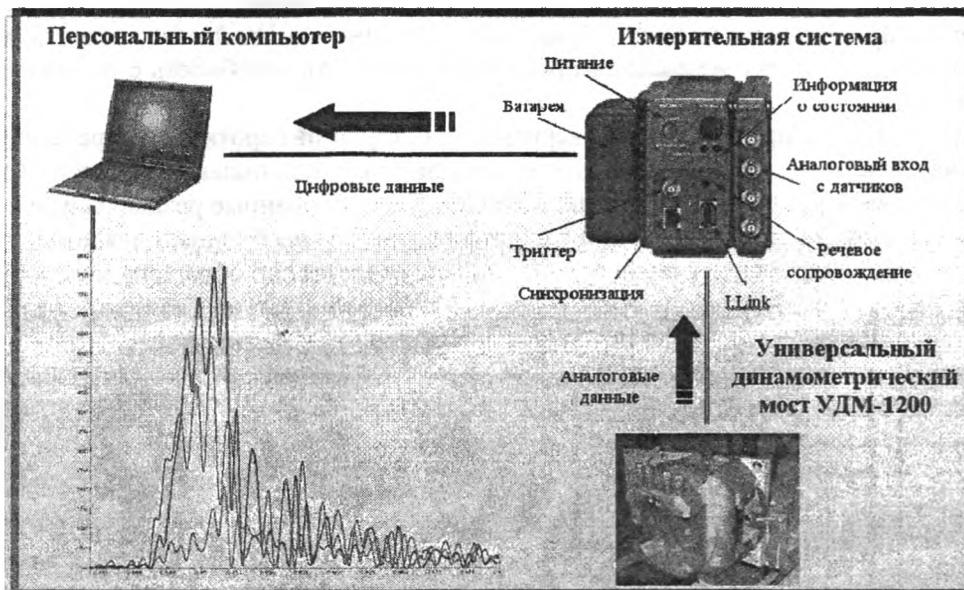


Рисунок 5 – Схема соединений устройств измерительной системы

Были изготовлены из легированной термообработанной стали марки 65Г экспериментальные образцы составных двухлезвийных резцов с различными угловыми параметрами (рис.6) и был проведен эксперимент на установке по определению силового взаимодействия двухлезвийного резца с древесиной с последующей регистрацией составляющих сил резания при помощи тензометрической измерительной системы EX-UT10.

Условия проведения эксперимента: исследуемый материал – древесина сосны, ели; скорость резания $V=12,3$ м/с; направление резания – поперечное, поперечно-торцевое; толщина снимаемого слоя $t=5$ мм; диаметр резания $D=470$ мм; подача на резец $U_z=25$ мм; задний угол $\alpha=30^\circ$; угол скоса при длинной режущей кромке X_1 изменяется от -30° до $+30^\circ$; угол скоса при короткой режущей кромке X_2 изменяется от -20° до $+20^\circ$; относительное смещение резцов X_3 от -5 мм до $+5$ мм; начальный радиус закругления режущей кромки резцов $\rho_0=8$ мкм. Результаты экспериментальных исследований частично приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты экспериментальных исследований

№ п/п	Изменяемые параметры X_1, X_2, X_3	Порода древесины	Составляющая сил резания F_x вдоль оси X, Н	Составляющая сил резания F_y вдоль оси Y, Н	Составляющая сил резания F_z вдоль оси Z, Н
1	$X_1=-30^\circ$ $X_2=-20^\circ$ $X_3=-5$ мм	сосна	246,2	725,0	232,3
		ель	204,7	1139,0	115,1
2	$X_1=0^\circ$ $X_2=0^\circ$ $X_3=0$ мм	сосна	88,9	647,1	98,4
		ель	139,1	835,4	96,0
3	$X_1=0^\circ$ $X_2=10^\circ$ $X_3=2,5$ мм	сосна	532,8	876,9	213,6
		ель	117,7	744,7	39,3

результаты лабораторных экспериментальных исследований новых конструкций режущего инструмента подтверждают их работоспособность и возможность снижения энергозатрат процесса.

полученные экспериментальным путем числовые значения составляющих сил резания могут служить основой расчета при разработке и проектировании новых конструкций режущего инструмента;

разработанные конструкции составных двухлезвийных резцов позволяют применять к каждой из режущих кромок в отдельности различные упрочняющие технологии, что практически невозможно при цельной конструкции двухлезвийного резца.

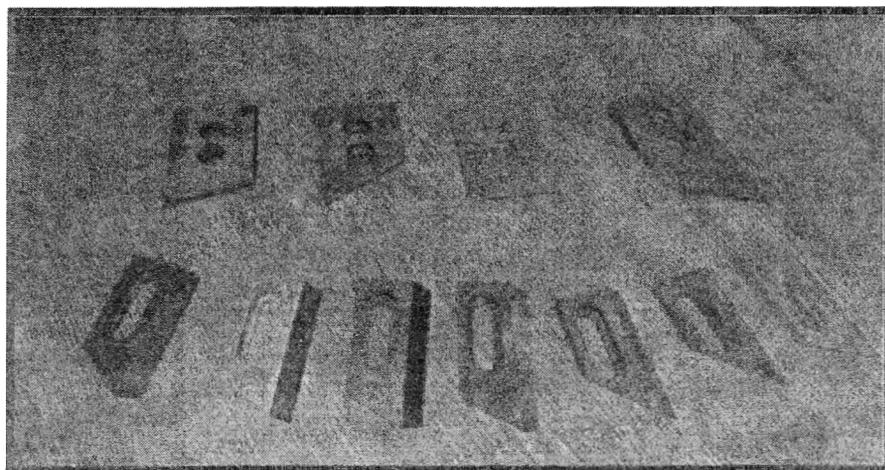


Рисунок 6 – Составные двухлезвийные резцы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровиков Е.М., Фефилов Л.А., Шестаков В.В. Лесопиление на агрегатном оборудовании, М., «Лесная промышленность», 1985. – 205 с. 2. Раповец В.В., Бурносов Н.В., Станкевич А.А. Методика установления работоспособности резцов спиральных фрез фрезерно-брусующей машины // Материалы международной НТК «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии», Минск, 16-18 ноября 2005г.– С. 306-309. 3. Раповец В. В., Бурносов Н. В. Возможности управления качественными и силовыми показателями процесса формирования технологической щепы двухлезвийными резцами на фрезерно-брусующих станках // Научный журнал «Труды БГТУ». Сер. II. Лесная. и деревообраб. пром-сть.–2007. – Вып. XV. – С.251-255.

УДК 621.7

Шматов А. А., Девойно О.Г.

КОМБИНИРОВАННОЕ УПРОЧНЕНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

*Белорусский национальный технический Университет
Минск, Беларусь*

Введение. Поскольку технический прогресс развивается в направлении снижения себестоимости продукции, а это невозможно без применения высокопроизводительных процессов и использования износостойких инструментов, задача повышения эксплуатационной стойкости режущего и штампового инструмента остается актуальной. Только по данным предприятия БелАЗ годовой выпуск стального режущего инструмента составляет около 10 млн. долларов США. Разумеется в этих условиях повышение стойкости инструмента даст значительную экономию энергетических, материальных и трудовых ресурсов, снизит простой оборудования при замене изношенного инструмента и в целом повысит производительность труда.

Острота и насущность вопроса состоит в том, что уже существует множество способов поверхностного и несколько меньше объемного упрочнения, однако эти методы довольно часто не взаимосвязаны между собой и поэтому применение их не всегда эффективно. На практике слу-

чается, что на инструмент наносят очень твердые износостойкие покрытия, не принимая во внимание внутреннюю структуру инструментального материала, который может быть изначально хрупок или не достаточно прочен, а в результате такой инструмент либо ломается, либо сминается и выходит из строя раньше срока.

В последнее время все больше и больше внимания уделяют различным комбинированным способам упрочнения инструмента и деталей машин. Однако подавляющее большинство исследований носит односторонний характер, т.е. в основном комбинируют поверхностные методы упрочнения, не принимая во внимание объемные упрочняющие технологии [1-4 и др.]. При этом комбинируют методы химико-термической, лазерной, ионно-плазменной, ультразвуковой, вибро-механической и прочие виды поверхностных обработок. Напротив, известно незначительное число работ [5-8] по химико-термоциклической обработке (ХТЦО) стального инструмента и изделий,



Рисунок 1- Диаграмма традиционной термической обработки быстрорежущей стали

где комбинируют поверхностный метод упрочнения - диффузионное насыщение стали углеродом, бором и др. элементами с объемным - термоциклической термообработкой. Основным недостатком указанного поверхностно-объемного метода упрочнения является его большая трудоемкость из-за длительности и высоких температур проведения процесса.

В данной работе предложены новые процессы упрочнения инструмента: для объемного упрочнения - (1) упрочняющая термоциклическая обработка (УТЦО), а для поверхностного упрочнения - (2) низкотемпературная наногидрохимическая обработка (НГХО). При комбинировании этих процессов открываются большие возможности их практического применения.

Целью настоящей работы явилось (а) разработка и исследование дешевых и высокоэффективных методов объемного (УТЦО) и поверхностного (НГХО) упрочнения стального инструмента, (б) комбинирование указанных процессов и его практическое применение для повышения стойкости стального инструмента.

Объекты и методика исследований. (1) В настоящей работе был изучен только один вариант упрочняющей термоциклической обработки (УТЦО) быстрорежущих сталей, который согласно опубликованным данным [5, 9-11], является наиболее эффективным. В отличие от традиционной термообработки (рис.1), выбранный процесс УТЦО включает многократный нагрев и охлаждение стали выше и ниже критической точки A_1 с окончательным закалочным охлаждением на последнем цикле и последующим традиционным трехкратным отпуском (рис.2). Процессы УТЦО изучали на быстрорежущих сталях S6-5-2 (Германия) и P6M5 (6% W, 5% Mo), P18 (18% W), P6M5K5 (6% W, 5% Mo, 5% Co) (Россия).

(2) В работе разработан и изучен низкотемпературный процесс наногидрохимической обработки (НГХО) путем проведения двух операций: (а) химической обработки поверхности сталей при температуре 80-100°C в течение 30-60 минут в специальной водной суспензии на базе ультра-

нанокарбида титана и карбидообразующих компонентов и (б) последующей термической выдержке при температуре 130-200°C в течение 60-120 минут в окислительной среде. Специальную водную суспензию готовили путем последовательного введения и механического смешения водорастворимых соединений титана, карбидосодержащих соединений в различных сочетаниях вместе с нерастворимыми ультрадисперсными, наноразмерными порошками карбида титана и наномалмаза при температурах ниже температуры

проведения процесса. Перед употреблением рабочего раствора дополнительно вводили активаторы процесса: водорастворимые органические поверхностно-активные вещества и неорганические вещества с сильными восстановительными свойствами. Стальные образцы помещали и выдерживали в ванне со специально приготовленной водной суспензией, нагретой до температур прове-



Рисунок 2- Диаграмма УТЦО быстрорежущей стали, включающая термоциклирование выше и ниже критической точки A_1 с закалочным охлаждением на последнем цикле и отпуском

дения процесса. Для подготовки поверхности стальные образцы предварительно обезжировали и выдерживали в растворе соляной или серной кислоты в течение 2 минут.

Для изучения структуры и фазового состава упрочненных быстрорежущих сталей применяли микроструктурный, рентгеноструктурный, дюриметрический и микрорентгеноспектральный анализы. Сравнительные испытания на износ проводили путем фрезерования нержавеющей стали 40X13 (НВ 320) концевыми фрезами (диаметром 8 мм) из быстрорежущих сталей, подвергнутых УТЦО, НГХО и традиционной термообработке. Режимы резания этих фрез были следующие: скорость фрезерования $V_c = 29,9$ м/мин, подача $f_z = 0,01$ мм, глубина фрезерования $a_p = 2$ мм, ширина фрезерования $a_f = 8$ мм. Показатель относительной износостойкости инструмента определяли по формуле $K_w = t_2/t_1$, где t_1 - время работы (или длина рабочего хода) концевой фрезы, обработанной традиционной термообработкой, t_2 - время работы упрочненной концевой фрезы до образования критерияльного значения лунки износа VB_{max} , равного 0,25 мм.

Результаты исследований. (1) Сравнительные данные по твердости, ударной вязкости, прочности на изгиб и износостойкости концевых фрез из быстрорежущих сталей S6-5-2, P6M5, P18, P6M5K5, объемно упрочненных традиционной термообработкой (Трад.ТО) и упрочняющей термоциклической термообработкой (УТЦО) с двумя термоциклами, представлены на рис. 3. Для равноценного сравнения указанных свойств условия закалки быстрорежущих сталей при проведении УТЦО и традиционной термообработки были одинаковыми.

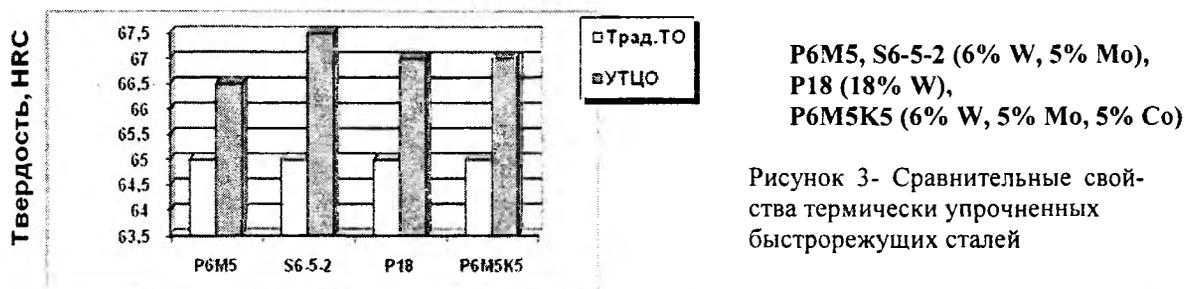
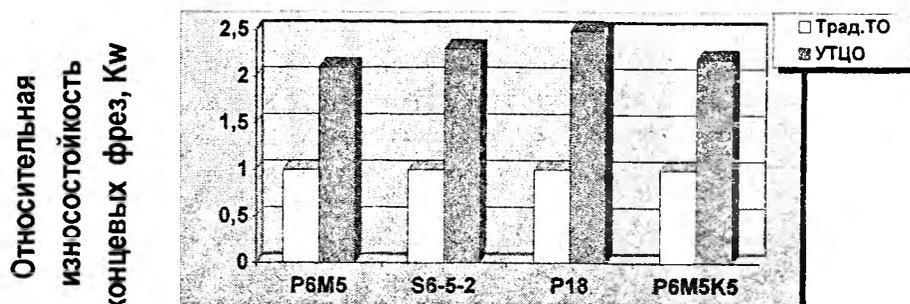
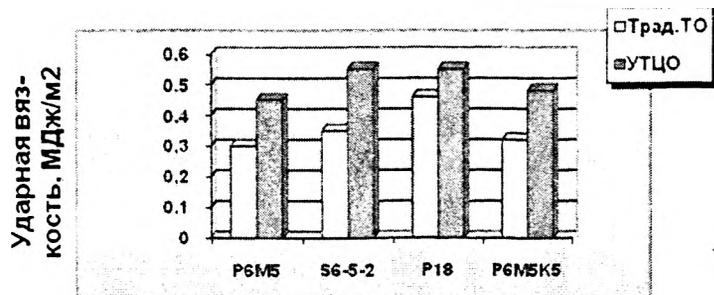
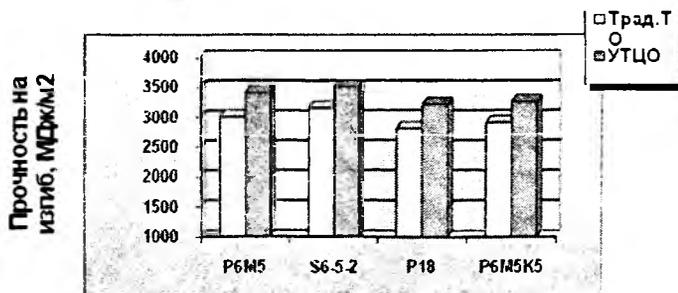


Рисунок 3- Сравнительные свойства термически упрочненных быстрорежущих сталей



На основании полученных данных следует отметить, что применение УТЦО для различных быстрорежущих сталей приводит к одновременному повышению ударной вязкости быстрорежущих сталей в 1,5-1,7 раза, прочности на изгиб на 10-15% и поверхностной твердости на HRC 1,5-2,5 выше, по сравнению с традиционной термообработкой

Сравнительные микроструктуры быстрорежущей стали P18, упрочненной традиционной термообработкой и УТЦО с двумя термоциклами представлены на рис.4.

Результаты исследования микроструктуры, химического и фазового состава термически упрочненной быстрорежущей стали P18 показали, что улучшение свойств после ее УТЦО, связано с измельчением зерен, уменьшением размера карбидных частиц, однородным распределением карбидной фазы в объеме металла, повышением степени легированности мартенсита вольфрамом, ванадием и хромом, уменьшением в закаленной стали количества остаточного аустенита.

(2) В настоящей работе разработан и исследован низкотемпературный процесс поверхностного упрочнения режущего инструмента методом наногидрохимической обработки (НГХО), который включает в себя 2 операции: химическую обработку в водной суспензии на базе ультра-, нанокарбида титана и карбидообразующих компонентов и последующую термообработку.

В результате проведения сравнительных испытаний фрез, упрочненных методом НГХО, установлено, что их износостойкость зависит от химического состава и кислотности водной суспензии, температуры и времени проведения процесса химической обработки. Наиболее приемлемыми параметрами химической обработки являются: температура 90-100°C, время 40-60 мин., кислотность рабочей ванны pH 5,5-8,0, что позволяет достичь максимальной износостойкости фрез. Проведение последующей термической выдержки при НГХО также повышает износостойкость стального инструмента. Оптимальными параметрами отпуска инструментальной стали в окислительной среде являются: температура 150-200°C, время 1-1,5 часа.

Отмечено, что процесс низкотемпературной наногидрохимической обработки (НГХО) имеет двойственный характер упрочнения: во-1-х, на поверхности стали формируются антифрикционные дискретные покрытия толщиной 0,5-4 мкм, содержащие включения ультрадисперсного и наноразмерного карбида титана (рис.5), во 2-х, на глубине 1-2 мм в обрабатываемой стали формируется зона повышенных напряжений сжатия и изменяется химический состав подложки путем ее пропитки наноразмерными частицами карбида титана.

Проведенные нами стендовые испытания по схеме «упрочненный образец – контртело» без смазки показали, что наногидрохимическая обработка быстрорежущей стали P18 (HRC 65) позволила снизить ее коэффициент трения скольжения в паре с нержавеющей сталью 40X13 (HRC 30) до значений 0,2-0,3.

Предполагаемая картина наногидрохимического упрочнения, по-видимому, следующая: (а) при химической обработке в водном составе на базе ультра-, нанокарбида титана и карбидообразующих компонентов на поверхности стали осаждаются включения наноалмаза, нанокарбида титана, металлоорганические комплексы на их основе. Нанокарбид титана синтезируется в водной суспензии из карбидообразующих компонентов в присутствии наноразмерных зародышей карбида титана в результате химического взаимодействия ионов титана и атомарного углерода.

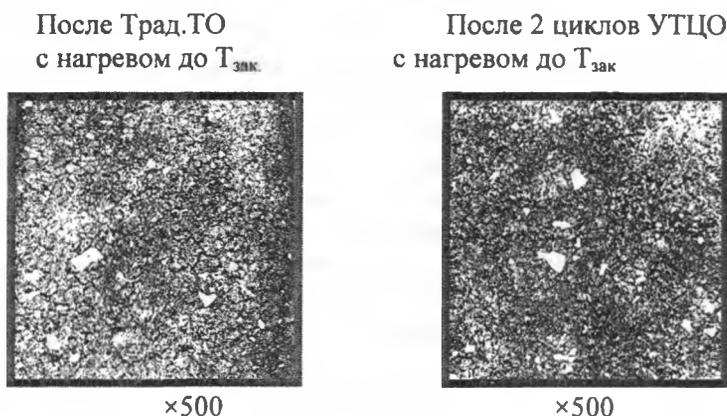


Рисунок 4- Микроструктуры термически упрочненных фрез из стали P18

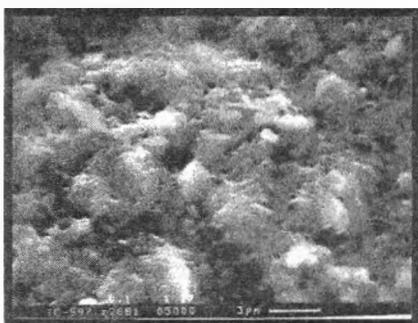


Рисунок 5. Микроструктура поверхности быстрорежущей стали P18 после НГХО

Кроме осаждения на поверхности стали, частицы наноразмерного карбида титана, наноалмаза и их комплексов проникают на глубину 1-2 мм по границам зерен и блоков мозаики; (б) последующая изотермическая выдержка разлагает эти комплексы до наноразмерного карбида титана, частицы которого со временем коагулируют в ультрадисперсные образования.

Объяснить положительные структурные изменения стали после НГХО можно также эффектом Ребиндера. Данный эффект носит адгезионный характер взаимодействия поверхности любого твердого тела с жидкой окружающей средой и осуществляется при взаимодействии твердых тел с поверхностно-активными веществами. В результате такого физико-химического влияния окружающей среды чаще всего наблюдается снижение прочности и пластичности твердых тел за счет уменьшения поверхностной энергии тела. Такое влияние носит обратимый характер, т.е. после удаления с поверхности твердого тела поверхностно-активных веществ механические свойства тел обычно полностью восстанавливаются. Однако имеется несколько примеров, когда в результате прекращения воздействия среды на материал его механические свойства, в т.ч. сопротивляемость разрушению и износу, не только восстанавливаются, но и возрастают [12].

Применение результатов исследований. Многочисленные промышленные и лабораторные испытания инструмента показали, что комбинирование разработанных методов объемного и поверхностного упрочнения (УТЦО и последующая НГХО) позволило повысить эксплуатационную стойкость только режущего инструмента из быстрорежущих сталей в 1,6 – 10,8 раза выше по сравнению со стандартным (табл.1). Причем использование только одного вида упрочнения инструмента (либо УТЦО, либо НГХО) не дает такого высокого результата в повышении износостойкости, как при оптимальном комбинировании этих методов.

Наибольшие показатели износостойкости поверхностно и объемно упрочненного инструмента достигаются при резании нержавеющей, жаропрочных, титановых и других труднообрабатываемых сплавов.

Таблица 1. Результаты испытаний режущего инструмента, комбинированно упрочненного УТЦО и НГХО

Вид инструмента	Марка быстрорежущей стали	Повышение стойкости инструмента, раз
фрезы	P6M5, S6-5-2, P18	1,8 – 6,3
резцы	P6M5	1,6 – 4,5
сверла	P6M5, S6-5-2, P18	1,9 – 4,2
развертки, зенкера	P6M5, P18, P9M4K8МП	1,8 – 4,0
метчики	P6M5, S6-5-2, P18, P9M4K8МП	2,0 – 10,8
протяжки	P6M5, P18	1,8 – 2,6
долбяки	P6M5	1,6 – 2,1

Процессы УТЦО и НГХО использованы на предприятиях Беларуси и России.

Выводы.

1. Разработан простой и экономичный способ объемного термоциклического упрочнения УТЦО, который одновременно повышает взаимно противоположные свойства: твердость (прочность) наряду с вязкостью быстрорежущих сталей, что положительно сказывается на износостойкости режущего инструмента.

Улучшение структурно-зависимых свойств быстрорежущих сталей, подвергнутых УТЦО, связано с измельчением зерен, уменьшением размера карбидных частиц, однородным распределением дисперсных карбидов, повышением степени легированности мартенсита и снижением содержания остаточного аустенита в структуре стали.

2. Предложен простой и высокопроизводительный метод поверхностного наногидрохимического упрочнения НГХО, который формирует на поверхности инструмента наноструктурные покрытия на основе упрочняющей фазы с высокими антифрикционными свойствами.

3. Комбинирование новых способов объемного и поверхностного упрочнения: УТЦО и НГХО позволяет в 1,6 – 10,8 раза повысить эксплуатационную стойкость режущего инструмента по сравнению со стандартным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чудина, О.В. Комбинированные технологии поверхностного упрочнения конструкционных сталей: дис. ... докт. техн. наук / О.В. Чудина. – Москва, 2004. – 336 с. 2. Федоров, С.В. Комбинирован-

ная поверхностная ионно-плазменная обработка инструмента из быстрорежущей стали: дис. ... канд. техн. наук / С.В. Федоров. – Москва, 2004. – 108 с. 3. Суханов, Р.С. Повышение износостойкости прорезных фрез на операции фрезерования пазов в язычковых иглах комбинированным ионно - лазерным упрочнением: дис. ... канд. техн. наук / Р.С. Суханов. – Иваново, 2003. – 108 с. 4. Власов, С.Н. Повышение работоспособности режущего инструмента путем комбинированной упрочняющей обработки: дис. ... канд. техн. наук / С.Н. Власов. – Ульяновск, 2000. – 294 с. 5. Федюкин, В.К. Научное обоснование и разработка технологий улучшающей термоциклической обработки металлических материалов: дис. ... докт. техн. наук / В.К. Федюкин. – Санкт-Петербург, 1993. – 323 с. 6. Гурьев, А.М. Экономнолегированные стали для литых штампов горячего деформирования и их термоциклическая и химико-термоциклическая обработка: дис. ... докт. техн. наук / А.М. Гурьев. – Томск, 2001. – 487 с. 7. Забелин, С.Ф. Основы технологии и кинетической теории процессов диффузионного насыщения сталей в условиях термоциклического воздействия на материал: дис. ... докт. техн. наук / С.Ф. Забелин. – Чита, 2004. – 219 с. 8. Лыгденев Б.Д. Фазовые превращения в сталях с градиентными структурами, полученными химико-термической и химико-термоциклической обработкой: дис. ... канд. техн. наук / Б.Д. Лыгденев. – Новокузнецк, 2004. – 226 с. 9. Федюкин В.К. Метод термоциклической обработки металлов. – Л.: ЛГУ, 1984, - 192с. 10. Термоциклическая обработка сталей, сплавов и композиционных материалов. / Под ред. М.Х. Шоршорова – М.: Наука, 1984, - 186 с. 11. Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989, - 255 с.: ил.. 12. Фридман, Я.Б. Механические свойства металлов. / Я.Б. Фридман - М.: Машиностроение, 1974. - Т.2 - 135 с.

УДК 621.94.084

Дечко Э.М., Колесников Л.А., Брилевский В.В.

ДЕПЛАНАЦИЯ ШНЕКОВЫХ СВЕРЛ

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Одно из важнейших преимуществ шнековых сверл, применяемых при глубоком сверлении сталей, заключается в интенсивном дроблении стружки в зоне резания. Мелкая стружка легко удаляется из зоны резания, что исключает необходимость вывода шнекового сверла при работе. Для интенсификации процесса глубокого сверления требуется учитывать факторы, влияющие на стабильность процесса дробления стружки при сверлении такими сверлами. При глубоком сверлении в системе СПИД наименее жесткое звено, сверло, испытывает крутильные, изгибные, продольные и радиальные колебания. При разработке принципов интенсификации процесса глубокого сверления отверстий возможно использовать особенности конструкций шнековых сверл и процесса резания, включающие сочетание следующих факторов:

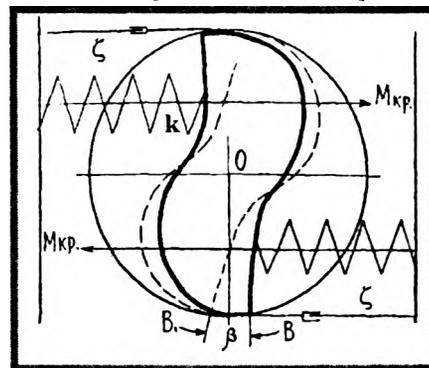


Рисунок 1 – Динамическая модель крутильных колебаний шнекового сверла

- а) возникновение самоустанавливающихся низкочастотных колебательных движений режущих кромок по винтовой линии за счет низкой крутильной жесткости транспортирующей части;
 - б) устойчивое дробление стружки за счет специальной заточки режущей части в сочетании с колебаниями частотой до 300 Гц;
 - в) отвод стружки из зоны резания по стружечным канавкам с углом $\omega = 60^\circ$.
- Ранее было установлено, что дроблению стружки способствуют интенсивные крутильные колебания сверла в процессе сверления, связанные с особенностями деформации шнековых сверл [1]:
- а) при врезании в заготовку наблюдается предварительное раскручивание спирали сверла на величину ϵ_0 , что приводит к удлинению сверла;

б) процесс снятия стружки сопровождается продольными и крутильными колебаниями лезвий сверла относительно их рабочего положения после раскручивания спирали на величину $\pm \Delta \varepsilon$;

в) при прекращении процесса резания режущие лезвия возвращаются в исходное положение.

Для анализа динамических процессов, возникающих при сверлении шнековыми сверлами, была использована математическая модель колебательного движения сверла при резании. При сверлении на сверло действуют крутящий момент $M_{кр}$, под действием которого винтовая стружечная канавка раскручивается на угол β , тем самым удлиняясь (рисунок 1). Одним из источников возникновения крутильных колебаний сверла служит мгновенное изменение фактической подачи на оборот из-за прохождения каждого режущего лезвия по следу от обработки парным лезвием. Рассмотрим математическую модель крутильных колебаний. Нелинейное дифференциальное уравнение имеет вид:

$$J \frac{d^2 \beta}{dt^2} + \zeta \frac{d\beta}{dt} + k\beta + M(t) = 0 \quad (1)$$

где: J – приведенный момент инерции системы «сверло – станок»; ζ – коэффициент демпфирования крутильных колебаний; k – коэффициент упругости сверла при кручении; $M(t)$ – момент сил резания, закручивающий сверло, как функция времени.

Момент сил резания при сверлении сталей шнековыми сверлами диаметром d при номинальной подаче на оборот S_0 и скорости резания V рассчитывается по формуле [1]:

$$M = C_M d^{1,6} (S_0 + \Delta S)^{0,9} V^{-0,24}, \quad (2)$$

где C_M – коэффициент, зависящий от диаметра d , длины L , шага спирали h сверла. Мгновенное увеличение подачи ΔS , вызванное изменением длины сверла из-за его деформации (раскручивании спирали), определяется по формуле:

$$\Delta S = \Delta S_L + \Delta S_S, \quad (3)$$

где ΔS_L – увеличение длины сверла из-за деформации; ΔS_S – отклонение текущего значения подачи от номинального, вызванное прохождением по следу, оставленному парным лезвием сверла.

Величина ΔS_S определяется как разница между значением номинальной подачи S_0 и ΔS , рассчитанного для момента времени, когда парное лезвие сверла проходило по текущему участку. Запаздывание Δt равно половине времени полного оборота сверла. Величина ΔS_L определяется из выражения [1]:

$$\Delta S_L = \frac{12 \times 10^{-4} \times M \times L}{d^{1,8} \times h} \quad (4)$$

Уравнение (1) решалось методом Рунге-Кутты. Шаг интегрирования принимался из расчета 1/3000 времени одного оборота сверла.

Некоторые результаты решения разработанной математической модели колебательного движения сверла при сверлении отверстий в стали 45 представлены на рисунке 3. Показано расчетное удлинение сверла, мм, от времени на различных режимах резания для сверла диаметром 12 мм. Скорость резания изменяется в диапазоне 3.8...29.3 м/мин при подачах от 0.065 до 0.22 мм/об.

Параллельно представлены диаграммы фракционного состава стружки, полученной в ходе эксперимента на этих же режимах резания. В рассмотренном диапазоне режимов резания величины частиц стальной стружки колебались в пределах 0.25...10 мм. При режимах, обеспечивающих наибольшую стойкость и производительность сверления, основная масса стружки (до 90%) имеет размеры 3...5 мм [1].

Во всех случаях при входе сверла в заготовку оно сначала закручивается на определенный угол, а затем возникают устойчивые автоколебания относительно этого рабочего положения. Например, при номинальной скорости резания 17 м/мин и подаче на оборот 0.22 мм/об начальное удлинение составляет порядка 0.237 мм, что соответствует углу закручивания до 2.7° (рисунок 3, б). Результаты расчета колебаний сверла при номинальной скорости резания 17 м/мин и подаче на оборот 0.065 мм/об представлен на рисунке 3, г. Начальное удлинение составляет величину порядка 0.07 мм, что соответствует углу закручивания до

0.8°. Рост деформаций сверла связан с тем, что при постоянной скорости резания с увеличением подачи возрастает крутящий момент.

При изменении скорости резания тенденция изменения удлинения и угла закручивания иная. Результаты расчета колебаний сверла при номинальной скорости резания 29.3 м/мин и подаче на оборот 0.11 мм/об представлены на рисунке 3, е. Начальное удлинение составляет порядка 0.11 мм, что соответствует углу закручивания до 1.3°.

При изменении условий резания подтверждено, что не при всех комбинациях подач и скоростей резания наблюдаются устойчивые колебания. Установлено, что для различных диаметрах шнекового сверла при скорости резания равной $V=3.8$ м/мин наблюдаются неустойчивые автоколебания. Как видно из рисунка 3, и, амплитуда удлинения сверла существенно увеличивается, а, следовательно, и амплитуда угла закручивания. Так же при малых диаметрах сверла, до $d=8$ мм, при подаче $S=0.22$ мм/об и скорости резания $V=29.3$ м/мин наблюдаются затухающие колебания. В этой связи можно предположить, что в данном случае возможно нарушение стабильного стружкодробления.

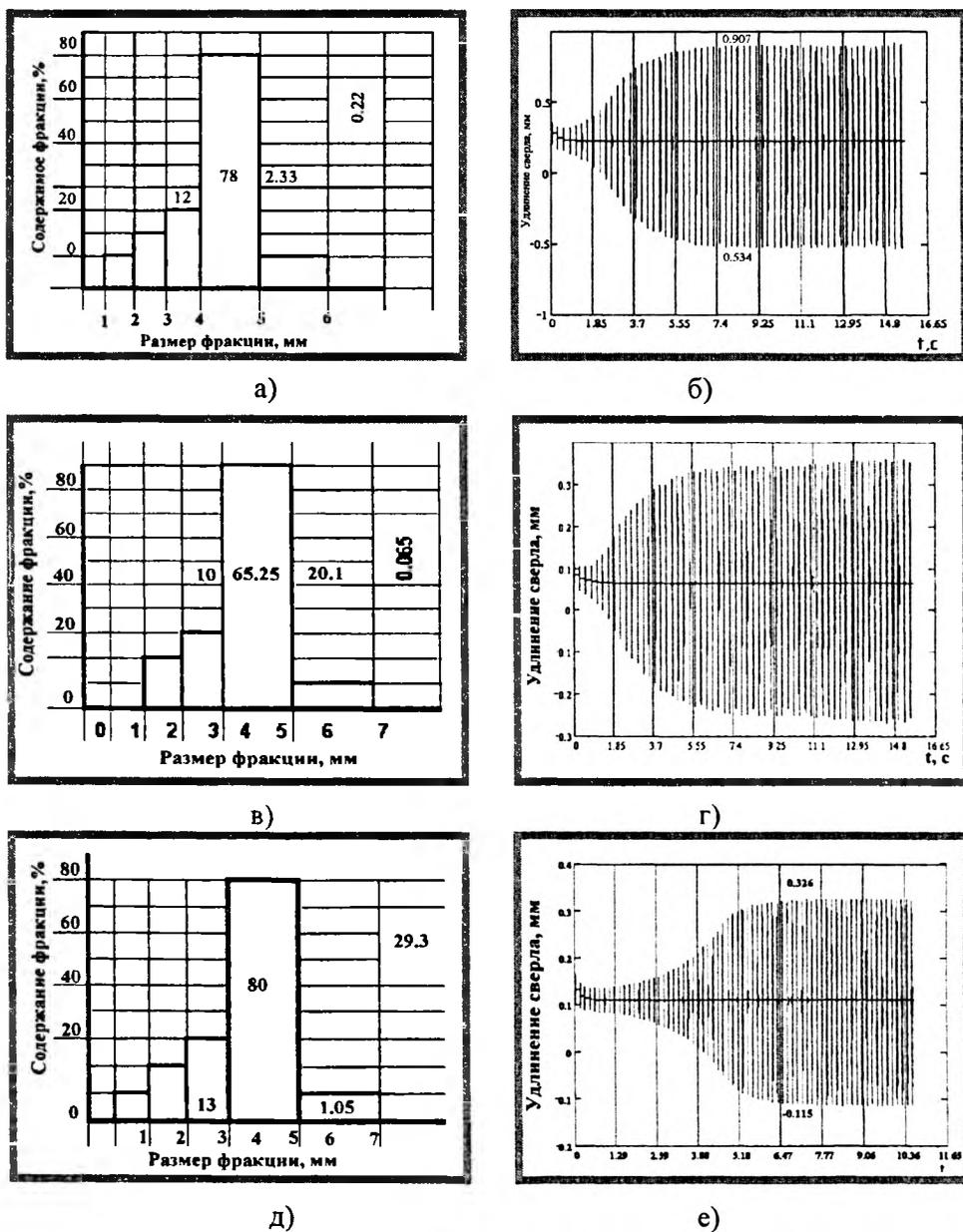


Рисунок 2 – Колебательные движения сверла и фракционный состав стружки

Об устойчивости колебаний можно судить по тому, что амплитуда удлинений сверла, а, следовательно, и амплитуда закручиваний, постоянна, и имеет ярко выраженную периодичность. Дополнительным подтверждением возникновения устойчивых автоколебаний при

скорости резания в диапазоне 15...30 м/мин может служить увеличение однородности фракционного состава стружки (рисунок 2, а, в, д) [3].

Исследования математической модели крутильных колебаний шнековых сверл на ЭВМ качественно совпадают с полученными ранее экспериментальными данными [1]. В частности, при моделировании наблюдаются: а) явление предварительного закручивания и удлинения сверла при врезании в заготовку; б) возникновение крутильных автоколебаний шнекового сверла относительно рабочего положения лезвий после предварительного закручивания. Таким образом, разработанная математическая модель в целом правильно отражает экспериментально наблюдаемые явления автоколебаний сверла в процессе резания, что дает основу для дальнейшего углубленного анализа работы не только сверл, но и других стержневых инструментов – метчиков, концевых фрез с большим вылетом и т.д.

В использованной модели колебательного процесса не учитывалось действие осевой силы, противодействующей удлинению сверла при раскручивании спирали. Поэтому величины углов раскручивания и удлинения сверл при врезании металл, рассчитанные на ЭВМ при принятых допущениях, отличаются от экспериментальных значений на 25...35%. Предварительных углы раскручивания, полученные при моделировании на ЭВМ, находятся в пределах от $0,8^\circ$ ($d=16$ мм, $S=0,065$ мм/об, $V=20,7$ м/мин) до $12,6^\circ$ ($d=8$ мм, $S=0,22$ мм/об, $V=3,8$ м/мин).

Математический анализ колебательного процесса также показал стабильность автоколебаний при скоростях резания $V>15$ м/мин для диаметров сверл $d=8...16$ мм и $S=0,065...0,22$ мм/об. Именно при этих параметрах процесса резания наблюдалось стабильное дробление стружки и, одновременно, наибольшая стойкость сверла [3]. При скоростях резания до 15 м/мин автоколебания не стабильны, что соответствует расчетам по критерию Рауса-Гурвица [2].

Анализ динамической модели и закономерностей процесса резания при работе шнековыми сверлами показывает, что одним из путей дальнейшей интенсификации процесса глубокого сверления является регулирование автоколебательного процесса путем изменения конструктивных параметров инструмента, приводящих к изменению жесткости системы за счет использования разного профиля сверла на различных участках, в том числе изменении углов наклона винтовой канавки, длины рабочей части и др. Возможно также применение устройств с регулируемым коэффициентом демпфирования. Этому способствует разделение рабочей части сверла на режущую и транспортирующую.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дечко Э.М. Сверление глубоких отверстий в сталях. – Мн.: Выш. школа, 1979. – 232 с.
2. Дечко Э.М. Автоколебания шнековых сверл // Машиностроение. – 2002. – Вып. 18. – С. 300...304.
3. Дечко Э.М. К оценке степени дробления стружки // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2003. – №6. – С. 27...29.

УДК 621.91

Бачанцев А.И., Туромша В.И.

СТРУЖКООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ТОЧЕНИИ С УВЕЛИЧЕННЫМИ ПОДАЧАМИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республики Беларусь*

В настоящее время многие ведущие фирмы в сфере производства инструментов в каталогах начали предлагать, для черновой и получистовой обработки, более высокие подачи. Связано это с тем, что подача оказывает на производительность наибольшее влияние. Но вместе с этим, для увеличения производительности, предлагается снимать припуск за один проход.

Разработанный на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» метод назначения режимов резания для предварительной обработки, при ограничении оборудования по

мощности, позволяет повысить производительность на 30 – 60 %, но в большинстве случаев подача превышает глубину резания.

На рисунке приняты следующие обозначения:

S, t – подача и глубина резания;

a, b – ширина и длина среза;

$N-N, N_1-N_1$ – нормально секущие плоскости;

ρ, ρ_1 – углы схода стружки относительно секущих плоскостей;

φ, φ_1 – главный и вспомогательный углы в плане.

Для чернового и получистового резания, при назначении режимов обработки по традиционной методике, то есть большие глубины и относительно малые подачи длина одной режущей кромки значительно меньше другой режущей кромки и её влияние несущественно, то есть процесс резания отождествляется с процессом свободного резания. Поэтому можно с некоторым допущением сказать, что вектор скорости резания лежит в плоскости перпендикулярной к главной режущей кромке, и можно утверждать, что направление схода стружки также лежит в этой плоскости. С увеличением подачи влияние вспомогательной режущей кромки начинает возрастать, то есть более полно проявляются закономерности процесса несвободного

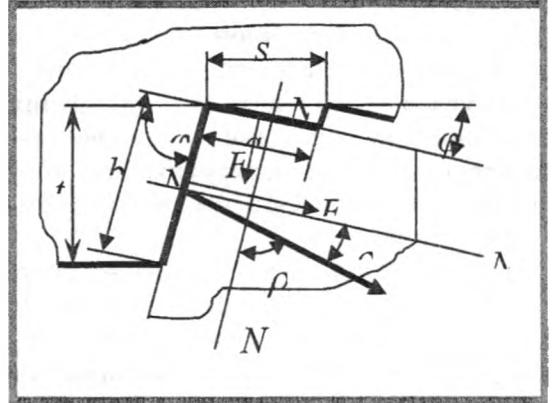


Рис. 1. Схема образования угла схода стружки при несвободном резании.

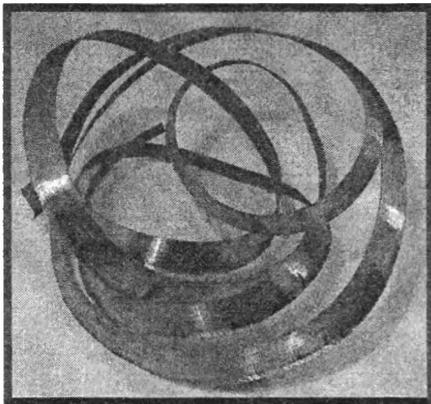


Рис. 2. Стружка снятая при подаче $S=0,1$ мм/об и глубине резания $t=5$ мм

резания. Для назначения режимов обработки по методике предлагаемой авторами, где подача соизмерима, а иногда больше глубины резания, процессы, происходящие при несвободном резании, очень важны.

Угол схода стружки, несовпадающий с главной секущей плоскостью, это одно из проявлений несвободного резания. На рисунке 1 показан простейший пример несвободного резания.

При несвободном резании во время стружкоотделения работают две режущие кромки a и b , но при их различных длинах они оказывают неодинаковое влияние. Соотношение сил F и F_1 определяет угол схода стружки. Эти же силы деформируют стружку, изменяя ее сечение по сравнению с сечением снимаемого металла. Каждая из совместно работающих кромок образует свою силу сдвига и соответствующую плоскость сдвига стружки. Так как соотношение сил F и F_1 соответствует соотношению длин режущих кромок, то можно предположить, что угол схода стружки зависит от соотношения длин режущих кромок.

На рисунке 1 видно, что сумма главного ρ и вспомогательного ρ_1 углов отклонения стружки есть главный угол в плане φ . Исходя из этого, можно вывести зависимость:

$$\sin 2\rho = \frac{l}{L} \sin \varphi,$$

где l и L - длины меньшей и большей режущих кромок.

Данное утверждение доказали опыты проведенные авторами. При резании с большими подачами стружка больше отклонялась в сторону необработанной поверхности. Подтверждение того, что стружка деформируется пропорционально воздействию рабочих кро-

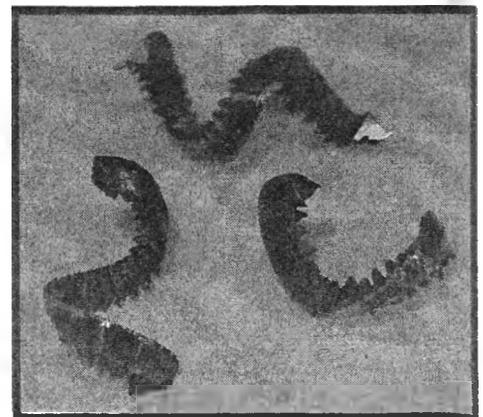


Рис. 3. Стружка снятая при подаче $S=1,6$ мм/об и глубине резания $t=1,6$ мм

мок, можно увидеть на рис. 3 и 4. На рис. 3. показана стружка, снятая при подаче $S = 1,6$ мм/об и глубине резания $t = 1,6$ мм – сечение стружки приняло вид равностороннего треугольника, что говорит об одинаковом воздействии силы деформирования, как со стороны главной режущей кромки, так и со стороны вспомогательной.

Кроме отклонения угла схода стружки от главной секущей плоскости, наблюдалось интенсивное дробление стружки. Например, при назначении режимов резания по традиционной методике (снятие припуска за один проход) наблюдалось образование сливной стружки, рис. 2.

Если же назначать режимы резания по методике, предлагаемой авторами (снятие припуска за несколько проходов, но с увеличенной подачей), то наблюдалось стружкодробление, рис. 3, 4.

На рис. 4. показана стружка снятая при подаче $S = 5$ мм/об и глубине резания $t = 1$ мм – сечение стружки приняло вид неправильного пятиугольника. Большая сторона которого прилегала к вспомогательной режущей кромке.

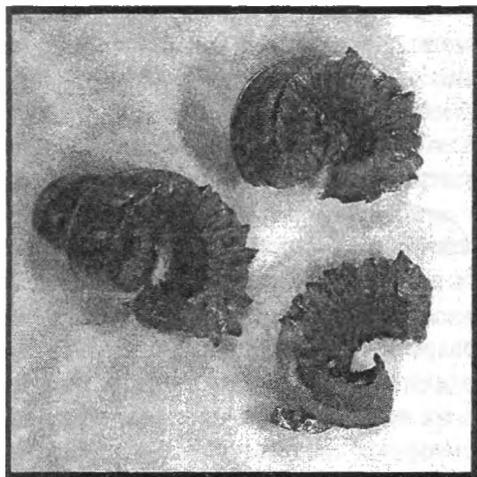


Рис. 5. Стружка снятая при подаче $S = 4$ мм/об и глубине резания $t = 1,15$ мм

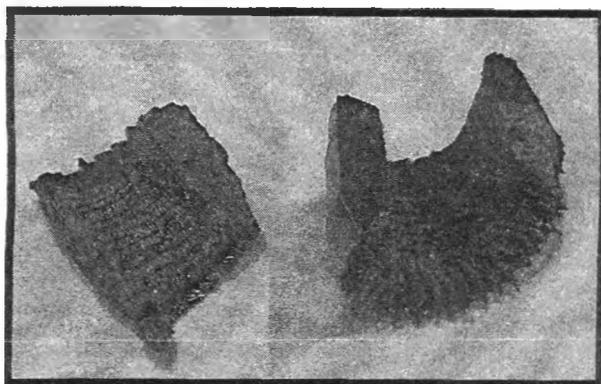


Рис. 4. Стружка снятая при подаче $S = 5$ мм/об и глубине резания $t = 1$ мм

На рис. 3–5 отчетливо видны характерные «гребешки», количество которых показывает сколько смещений происходило в плоскости сдвига при отделении стружки. Можно заметить, что этих смещений намного меньше, а их размер значительно больше, чем в стружке на рис. 2. Можно предположить, что величина смещения срезаемого слоя влияет на радиус завивания стружки и на ее дробление. Так как при малом радиусе завивания стружка непременно встретит препятствие во время ее схода и произойдет ее дробление. При большом радиусе стружка также при сходе встречает препятствие, но жесткость стружки уже мала и сила сопротивления только отгибает стружку а не дробит. В этом случае мы наблюдаем сливную стружку, рис. 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зорев, Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов / Зорев, Н.Н. – М.: Машгиз, 1956.
2. Ящерицын, П.И. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: учебник для вузов. – Минск: Выш. шк., 1990. – 512 с.
3. Грудов, П.П. Обработка металлов с увеличенными подачами / П.П. Грудов. под ред. проф. И.И. Семенченко. – М.: Машгиз, 1954. – 32 с.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ И СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 612.821.8:004.89:004.4

Колешко В. М., Хмурович Н. В., Воробей Е. А., Польшкова Е. В.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ БИОСЕНСОРНАЯ СИСТЕМА С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ КРОВИ. ЧАСТЬ 1

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Биосенсорная система экспресс-диагностики представляет собой базовую инновацию, находящуюся на стыке биохимии и микро-нанoeлектроники. Это новый класс интеллектуальных аналитических приборов и систем, соединяющих избирательность биохимии, интеллектуальную вычислительную производительность современной микро-нанoeлектроники и современное производство на основе микро-нанотехнологии проектирования экспресс-диагностических лабораторий на кристалле (лабораторий на чипе – lab on a chip), применение которых является исключительно важным в медицине, экологии, промышленной биотехнологии, пищевой промышленности, обороне и национальной безопасности. Данные «умные» лаборатории на кристалле не дорогостоящие, не требуют особых условий эксплуатации и высококвалифицированного персонала, позволяют, например, в результате биохимических тестов получить анализы экологического состояния производства, технологических процессов, немедленно и на месте взять пробы, позволяя избежать задержек и неточностей, связанных с пересылкой образцов в централизованную дорогостоящую исследовательскую лабораторию.

Биосенсорная система вместе с интеллектуальной микропроцессорной обработкой сигнала способна идентифицировать биохимические образы сложных веществ, сравнить их с эталоном и определить концентрации отдельных компонентов в них.

Одним из наиболее перспективных направлений в разработке интеллектуальных микро-наносенсорных лабораторий на кристалле является использование акустических свойств тонкопленочных наноструктурированных материалов и создание на их основе микро-наносистем на поверхностных акустических волнах (ПАВ) [1]. Работа таких сенсорных систем на ПАВ основана на влиянии физически или химически адсорбированных молекул на геометрические, электрические и акустические свойства чувствительного слоя ПАВ – наноструктуры, а также изменении упругих свойств или массовом нагружении поверхности пьезоактивной подложки.

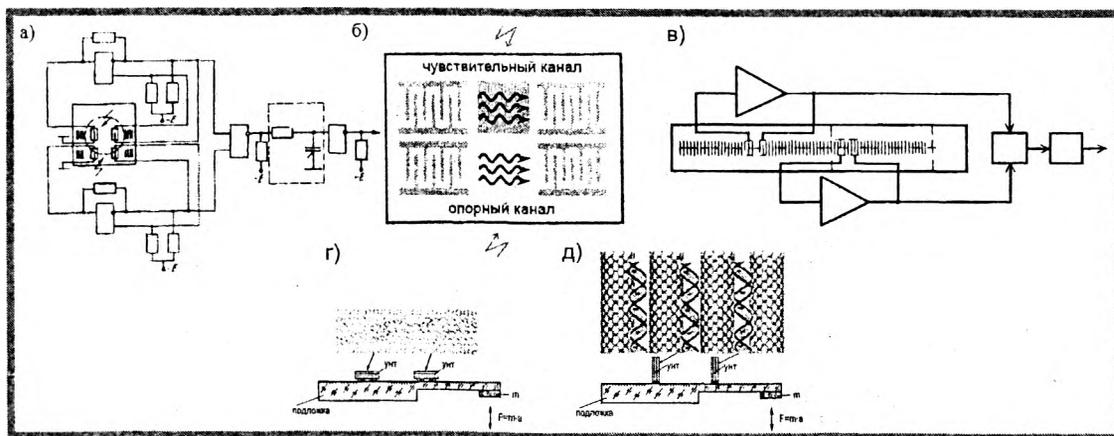


Рисунок 1 – Структурная схема е-языка и е-носа с сенсорной считывающей системой на ПАВ (а, б, в) и варианты размещения нанотрубок и двойных цепочек ДНК на ПАВ-линии задержки (г, д)

Лаборатория на кристалле типа «электронный язык и электронный нос» на ПАВ представляет собой тонкую пластину из пьезоэлектрического материала (например, кварц,

$LiNbO_3$, $LiTaO_3$, $GaAs$, $Si / SiO_2 / ZnO$, $Si / SiO_2 / AlN$), на которую нанесены напылением металла электроды для двух систем встречно-штыревых преобразователей (ВШП). Электроды связаны с генератором переменного тока с диапазоном частот до 10 ГГц. Напряжение переменного тока индуцирует в пьезоактивной подложке акустическую волну, распространяющуюся со скоростью ~ 3000 м/с. Длина акустической волны определяется расстоянием между электродами ВШП. Электронные языки и электронные носы на ПАВ структурах могут функционировать в нескольких режимах (резонатора, линии задержки, а также использовать дифференциальную схему, состоящую из двух резонаторов, двух линий задержки, одной линии задержки и одного резонатора [2-5]. Дифференциальная схема электронного языка позволяет одновременно измерить два механических (физико-акустических) и два электрических (электроакустических) параметра исследуемых газовых, жидких и / или гетерогенных сред.

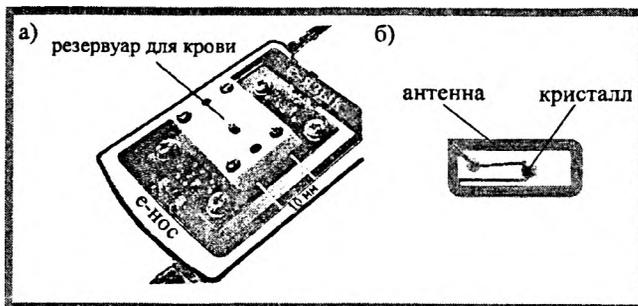


Рисунок 2 – Лабораторная мультисенсорная система на поверхностных акустических волнах с RFID идентификацией

На рисунке 1 представлена сенсорная система электронного языка (е-языка) и электронного носа (е-носа) с двумя линиями задержки [3]. Например, для е-языка одна линия задержки (металлизирована Au) измеряет механические параметры (вязкость, массу, импеданс), а вторая – измеряет диэлектрическую проницаемость и электропроводность среды. На металлизированную золотом линию задержки (чувствительный канал) помещен чувствительный элемент (ЧЭ): нанотрубки, цепочки ДНК или их комбинации (рис. 1, г, д). При взаимодействии этих элементов с исследуемой средой изменяется скорость и / или происходит затухание акустической волны – один из принципов считывания электрических свойств газовых, жидких и гетерогенных сред

ПАВ сенсорная система работает в двух режимах: лаборатория на кристалле типа электронный язык и лаборатория на кристалле типа электронный нос. При разработке сенсоров электронного языка учитывается несколько требований. Чувствительность и время срабатывания улучшаются с уменьшением размеров устройств. Звуковые волны конструктивно интерферируют, когда расстояние между смежными парами электродов ВШП равно половине длины волны, с максимально положительной интерференцией при резонансной частоте. При этой частоте эффективность преобразователя максимальна. Подбирая апертуру и число пар электродов можно, воздействуя на входную линию, снизить вносимые потери. Частота пропускания ПАВ-преобразователя также зависит от числа электродов: увеличение числа электродов уменьшает частоту пропускания. И наоборот, чтобы минимизировать емкостное сопротивление устройства количество электродов должно быть минимальным. Кроме того, для уменьшения потерь при преобразовании число электродов должно быть высоким, а уменьшение дифракционных потерь происходит при широкой апертуре. Принимая во внимание эти различные ограничения, были разработаны устройства на ПАВ, в которых оптимально подобраны параметры входных и выходных преобразователей. В таблице 1 представлены основные параметры ПАВ-сенсоров в зависимости от материала звукопровода.

Таблица 1 — Параметры ПАВ-микросенсоров для е-языка и е-носа

Материал звукопровода	$LiTaO_3$	$Si / SiO_2 / ZnO$	SiO_2	$Si / SiO_2 / AlN$	$GaAs$	$LiNbO_3$
Ширина электродов ВШП, мкм	17	3	3	3	2	2
Скорость ПАВ, м/с	4212,6	2943,82	3159	3679,93	2604	3488
Частота синхронизма, МГц	55-65	245,32	263,03	306,661	325,5	436
Число пар электродов ВШП	28	9	19	31	67	4
Апертура ВШП, мкм	30 λ	89 λ	46 λ	89 λ	4 λ	221 λ
Длина ПАВ, мкм	7513	12	12	12	8	8

Чтобы контролировать подачу исследуемого вещества, была разработана специальная печатная плата и элемент, который содержит вещество до начала анализа. Этот элемент имеет размеры 32мм x 20мм с резервуаром в центре 6,8 мм x 2,5 мм x 8 мм и объемом 136 микролитров. Проба помещается точно по центру между ВШП (рис. 2а). Разработан новый класс беспроводных микролабораторий на кристалле с радиочастотной идентификацией (рис. 2б).

При этом разработанная микролаборатория предназначена главным образом для экспресс-анализа биологических составляющих отдельной личности, которые могут включать данные состава слюны, мочи и, в частности, анализа крови человека. Особенно значимой и надежной считается экспресс-диагностика человека по анализу крови, поскольку показатели общего и биохимического анализов крови не только существенным образом коррелируют с присутствующей патологией в работе организма, но и тесно связаны с обработкой биоинформационных процессов в головном мозге человека, модулируют обработку информации индивидуальными нейронами. Поэтому кровь человека является не только очень чувствительным элементом при происходящих изменениях в организме, но и каждый отдельный ее показатель не уступает воде по информационным и акустическим характеристикам. Хотя коэффициент затухания в крови человека по сравнению с водой или плазмой крови в частотных диапазонах порядка нескольких мегагерц остается довольно таки высоким, однако изменяется более инертно и при значениях частот в сотни мегагерц имеет существенные различия по сравнению с другими указанными представителями (рис. 3а). Кроме того с увеличением частоты порядка мегагерц наблюдается замет-

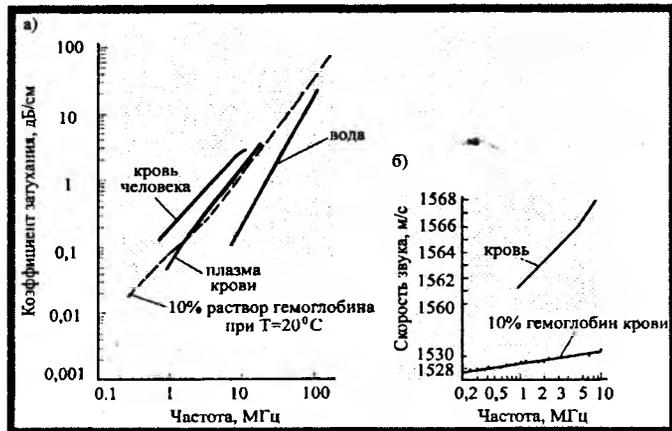


Рисунок 3 — Зависимость коэффициента затухания (а) и скорости звука (б) от частоты для эталонных сред

ный рост скорости звука в крови и ее обших, а также биохимических составляющих, что подтверждает значимость картины крови для анализа скрытых патологий (рис. 3б).

К тому же кровь способна не просто влиять на температуру мозговой ткани, затрагивающей нервную систему, но и вполне может быть использована для распознавания на основе эмоциональных, мозговых деятельностей, а также посредством регулирования потоков информации в мозге патологий в работе организма и лечения многих заболеваний. Важной характеристикой при описании физических характеристик крови является зависимость скорости звука от температуры для эталонных сред, потому что состояние организма контролируется возможностью передачи элементов состава крови в определенных отношениях внутренним органам и головному мозгу. Увеличение температуры сопровождается резким возрастанием скорости звука в крови, так что, например, характеристика зависимости для дистиллированной воды незначительно отстает по скорости распространения звука в крови (рис. 4).

Этим самым подтверждается способность крови отражать малейшие изменения в состоянии организма человека, а значит влиять на процесс нейроинформационного обмена в головном мозге, что естественно обуславливает в конечном счете проявление различных патологий. Таким образом, изменения, происходящие в кровотоке, затрагивают деятельность нейронов мозга, которые полностью регулируют поток информации по всему организму, а, следовательно, определяют возникновение сердечно-сосудистых, дыхательных, инфекционных, опорно-двигательных, пищеварительных, эндокринных, злокачественных и других видов заболеваний человека (рис. 5).

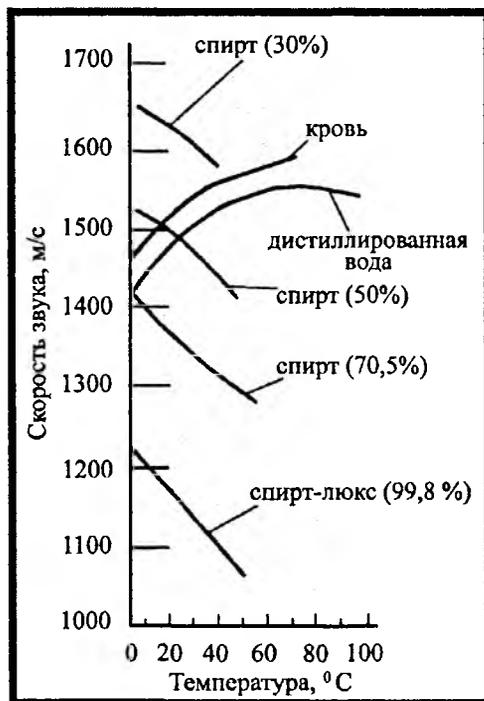


Рисунок 4 — Зависимость скорости звука от температуры для эталонных сред

Комплексная оценка сравнения характеристик крови человека с различными средами приведена в таблице 2, где на основании значений плотности среды и скорости звука в среде проводится расчет характеристического импеданса.

Таблица 2 — Плотность, скорость звука, характеристический импеданс крови

Вещества	Плотность ρ_0 ($\text{кг} / \text{м}^3$)	Скорость звука c (м/с)	Характеристический импеданс z ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$)
Кровь	1060	1530	$1,62 \cdot 10^{-6}$
Этиловый спирт	789	1119	$0,883 \cdot 10^{-6}$
Вода	993	1527	$1,516 \cdot 10^{-6}$
Воздух при нормальных условиях	1,2	330	$0,0004 \cdot 10^{-6}$
Алюминий	2700	6420	$17,3 \cdot 10^{-6}$

Е-язык и е-нос представляют комплексную систему, состоящую из функциональных узлов, работающих в режиме периодического восприятия вкусовых и пахучих стимулов: систему пробоотбора и пробоподготовки, линейку или матрицу сенсоров с заданными свойствами, блок процессорной обработки сигналов матрицы сенсоров и блок актуаторов для передачи сигнала на управление, и/или центр мониторинга, и/или спутник, и/или на автоматический шлагбаум, чтобы перекрыть дорогу к опасному объекту.

Проба засасывается воздушным микронасосом и/или турбинатором в термостатируемое кюветное отделение с установленной в ней матрицей сенсоров. На следующей стадии сенсоры экспонируются некоторое время в парах летучих веществ, составляющих вкус или запах. При этом пахучие вещества, взаимодействуя на поверхности и/или проникая в объем активного элемента сенсора, формируют суммарный отклик сенсорной системы. В течение измерительного интервала отклик сенсорной матрицы анализируется и передается на процессорный модуль. Затем в систему подаются пары промывочного газа (например, спирта), с тем чтобы удалить идентифицируемые вещества с поверхности и из объема активной части материала сенсора. Окончательно в ячейку подается газ-носитель, с тем чтобы подготовить сенсорную систему к проведению нового измерительного цикла.

Сенсоры должны быть технологичные в изготовлении, надежные в работе и обеспечивать проведение мониторинга объектов в течение длительного периода (часы, дни, недели, и даже месяцы и годы). Отмеченные свойства в настоящее время достижимы исключительно на базе современных микроэлектронных и нанотехнологий. С другой стороны, фундаментальным для е-языка и е-носа является представление о том, что каждый сенсор в матрице первичных приемников или сенсорной сети должен характеризоваться различными парциальными чувствительностями по отношению к пространству анализируемых вкуса и запаха. Каждый сенсор в сенсорной матрице и сенсорной сети имеет свой характерный профиль откликов в ответ на предъявление спектра тестируемых запахов. Результирующая картина откликов всех сенсоров является достаточно сложной и может быть использована для идентификации и/или описания данного вкуса или запаха в понятной для человека общепринятой терминологии только с применением современных компьютерных технологий.

В таблице 3 приведены основные параметры функционирования ПАВ сенсорной наносистемы е-языка и е-носа с ретранслятором сигнала. Для коэффициента сигнал-шум в антенне ридера, равном 100, максимальное расстояние взаимодействия ридера и ПАВ ретранслятора составит $r_{\text{max}} \approx 500 \mu$. В микросхеме измеряется фазовый набег ПАВ, зависящий от внешних параметров окружающей среды, и преобразуется в двоичный код, который далее с помощью антенны передается на ридер.

Для передачи информации используется амплитудная модуляция. Несущей является электромагнитная волна с частотой, равной резонансной частоте колебательного контура. Для генерации несущей частоты может использоваться накопленная энергия первичного электромагнитного

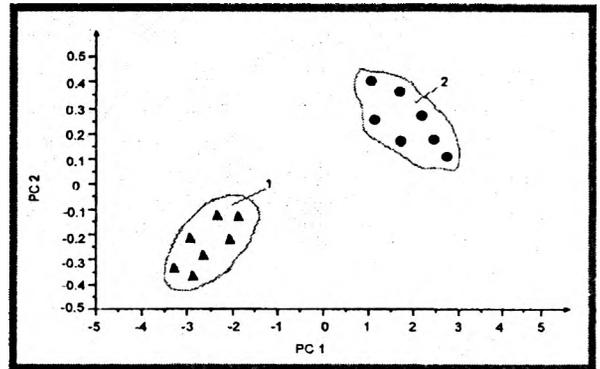


Рисунок 5 — Информационные образы идентифицируемой крови: 1- кровь человека без патологий, 2-кровь человека с сахарным диабетом

импульса, либо встроенный в микросхему источник энергии. Активная ПАВ сенсорная антенна позволяет увеличить максимальное расстояние $r_{max} \approx 50$ км.

Таблица 3 – Основные параметры функционирования 2.4 ГГц беспроводной пассивной ПАВ сенсорной наносистемы e-языка и e-носа с ретранслятором сигнала

Материал подложки ПАВ ретранслятора	$128^0 LiNbO_3$	
Рабочая частота ПАВ ретранслятора, f	2.4 ГГц	
Мощность, излучаемая ридером, P_p	10 Вт	
Коэффициенты усиления антенны ПАВ ретранслятора, $G_{\text{бвс}}$	6.3 (8 дБи)	
Коэффициенты усиления антенны ридера, G_p	6.3 (8 дБи)	
Входное сопротивление антенны ПАВ ретранслятора, $R_{\text{бвс}}$	50 Ом	
Входное сопротивление антенны ридера, R_p	50 Ом	
Расстояние между ридером и ПАВ ретранслятором, $r_{\text{бвс}}$	10 м	500 м
Ширина электрода ВШП, a	0.433 мкм	
Период ВШП, d	0.808 мкм	
Апертура ВШП, W	844.9 мкм	
Проводимость 4-х электродного ВШП, $Y_{\text{ВШП}}$	0.0017-0.0127 Ом ⁻¹	
Модуль Фурье преобразования от электростатической плотности зарядов на электродах ВШП при единичном приложенном напряжении, $\bar{p}_c(k_0)$	5.7596 · 10 ⁻¹⁰ Кл/м	
Напряженность электрической составляющей ЭМ волны на расстоянии $r_{\text{бвс}} = 10$ м, $E_{\text{ок}}$	6.1482 В/м	0.1230 В/м
Сила тока в цепи ПАВ ретранслятора, возбуждаемая ридером, $I_{\text{ок}}$	0.0025-0.0032i А	4.97 · 10 ⁻⁵ – – 6.37 · 10 ⁻⁵ i А
Напряжение, возбуждаемое на ВШП ридером, $U_{\text{ВШП}}$	0.2721 + 0.1592i В	0.0054 + 0.0032i В
Электрический потенциал ПАВ, возбуждаемый ридером, $\varphi_{\text{ок}}$	0.0871 + 0.0510i В	0.0017 + 0.0010i В
Мощность, излучаемая антенной ПАВ ретранслятора ридеру, $P_{\text{от}}$	1.5702 мкВт	6,281 · 10 ⁻¹⁰ Вт
Сила тока, наводимая ПАВ ретранслятором в ридере, I_p	1,5706 мкА	6,2823 · 10 ⁻¹⁰ i
Мощность, выделяемая ПАВ ретранслятором в нагрузке ридера, $P_{\text{взлп}}$	6,1668 · 10 ⁻¹¹ Вт	9,8669 · 10 ⁻¹⁸ Вт
Коэффициент ослабления по мощности, K_p	-112 дБ	- 180 дБ

ЛИТЕРАТУРА

1. Колешко В.М., Мешков Ю.В. Микроэлектронные преобразователи информации на поверхностно-акустических волнах — М.: Электроника, 9, 1985. — 116 с.
2. Колешко В.М., Гулай А.В. Способ контроля параметров газовой среды и устройство для его осуществления. А.с.СССР №1262317, 1983.
3. Колешко В.М., Мешков Ю.В., Скопич В.И., Трынов В.Г. Преобразователь информации на поверхностных акустических волнах. А.с.СССР №1648234, 1991.
4. Колешко В.М., Мешков Ю.В., Лозовский Э.И. Дифференциальный пьезоэлектрический преобразователь на поверхностных акустических волнах. А.с.СССР №1501867, 1989.
5. Колешко В.М., Мешков Ю.В., Лозовский Э.И. Стабильные высокочастотные генераторы на быстродействующих логических элементах с резонаторами на поверхностных акустических волнах // Приборы и техника эксперимента. — 1988. №3. — с. 119-122.
6. Колешко В.М., Дейнак Д.А., Хмурович Н.В. Электронный язык на поверхностных акустических волнах // Теоретическая и прикладная механика. — Мн., 2006, № 21. — с. 104-109.
7. Колешко В.М., Чашинский А.С., Хмурович Н.В. Сенсорные молекулярные микроанализаторы идентификации веществ // Теоретическая и прикладная механика: — Мн., 2007, № 22. — с. 131-139.
8. Колешко В.М., Полинкова Е.В. Сенсорные микро-наносистемы на ПАВ с RFID идентификацией // Сб. IV научно-практической конференции « Нанотехнологии производству 2007», г. Фрязино, ноябрь, 2007. — с. 126-132.
9. Колешко В.М., Полинкова Е.В., Паутинно А.А. Сенсорные микросистемы с RFID идентификацией // Теоретическая и прикладная механика, вып. 22. — Мн., 2007. — с. 51-62.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ БИОСЕНСОРНАЯ СИСТЕМА С ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ КРОВИ. ЧАСТЬ 2

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Многолетние исследования показали, что оптимизационные кластерные методы анализа позволяют решать сложные интеллектуальные задачи в различных научных направлениях. При этом наиболее яркий практический успех методов анализа в многомерном пространстве признаков в настоящее время достигнут при распознавании неявных процессов в медицине в условиях неполной информации, когда единственным источником информации являются биологические составляющие отдельной личности, которые могут включать данные о составе слюны, мочи и в частности анализа крови человека. Кластерные методы анализа прекрасно справляются с решением сложных задач диагностики, в частности, они определяют зависимость между общими, биохимическими параметрами крови и наличием патологии у человека, поскольку любое заболевание приводит к изменению биофизиологических процессов в организме. На основании этих предположений была разработана интеллектуальная программа для биосенсорной системы экспресс-диагностики крови, которая осуществляет распознавание состояния человека на наличие определенных патологий, связанных с заболеванием кожи, сердца, легких, почек, печени, поджелудочной железы, крови, суставов, головного мозга, обмена веществ, а также повреждений внутренних органов в результате травмы, интоксикацией организма, инфекционными заболеваниями и злокачественными новообразованиями. В качестве исходных данных для работы программы служили значения нормированных показателей клинического анализа крови, изменение которых от эталонных пределов сопровождается возникновением определенных заболеваний в организме человека. При этом крайне важным является осуществление ранней стадии диагностики состояния пострадавшего, так как под действием различных факторов клиническая картина анализов может сильно измениться (таблица 1). Поэтому разработанная биосенсорная система диагностики позволяет за считанные секунды провести обработку данных анализов крови больного с вероятностной гарантией обнаружения или отсутствия скрытых форм протекания заболеваний на этапе их возникновения.

Таблица 1— Изменение значений показателей крови у 22-летнего юноши в течение двадцати дней после травматических повреждений внутренних органов

Показатели анализа крови	Нормальные значения показателей крови	Значение до травмы	Значение после травмы
гемоглобин	130-160 г/л	165 г/л	148 г/л
эритроциты	$4,5 - 5 \cdot 10^{12} / \text{л}$	$4,5 \cdot 10^{12} / \text{л}$	$4,3 \cdot 10^{12} / \text{л}$
лейкоциты	$4 - 9 \cdot 10^9 / \text{л}$	$4,1 \cdot 10^9 / \text{л}$	$5 \cdot 10^9 / \text{л}$
тромбоциты	$160 - 390 \cdot 10^9 / \text{л}$	$320 \cdot 10^9 / \text{л}$	$280 \cdot 10^9 / \text{л}$
нейтрофилы палочкоядерные	до 4 %	8 %	5 %
нейтрофилы сегментоядерные	63-67 %	67 %	65 %
лимфоциты	19-37 %	22 %	21 %
моноциты	3-11 %	2 %	6 %
СОЭ	до 8 мм/ч	9 мм/ч	14 мм/ч
общий билирубин	5-21 мк.моль/ л	10,8 мк.моль/ л	13,6 мк.моль/ л
мочевина	1,7-8,3 м. моль/ л	2,9 м. моль/ л	4,1 м. моль/ л
креатинин	44-106 мк.моль/ л	32 мк.моль/ л	48 мк.моль/ л
общий белок	66-87 г/л	64 г/л	67 г/л
альбумин	34-48 г/л	64 г/л	56 г/л
глюкоза	3,05-6,38 м.моль/ л	6,2 м.моль/ л	5,2 м.моль/ л
АсАт	4-38 Е/Л	49 Е/Л	36 Е/Л

Показатели анализа крови	Нормальные значения показателей крови	Значение до травмы	Значение после травмы
АлАт	3-31 Е/Л	30 Е/Л	34 Е/Л
калий	3,84-5,12 м.моль/ л	4,2 м.моль/ л	5,8 м.моль/ л
натрий	130,5-174 м.моль/ л	141 м.моль/ л	147 м.моль/ л

Созданная программа проводит анализ таким образом, чтобы предотвратить возможность системы быть слишком чувствительной к характерным заболеваниям, которых вообще может не наблюдаться у испытуемого, и одновременно с этим на основании точной вероятностной картины распознавания избежать проведения дорогостоящих методов анализа. Поэтому программа может лишь с некоторой достоверностью обнаруживать или нет скрытые формы патологии в данных анализов крови человека.

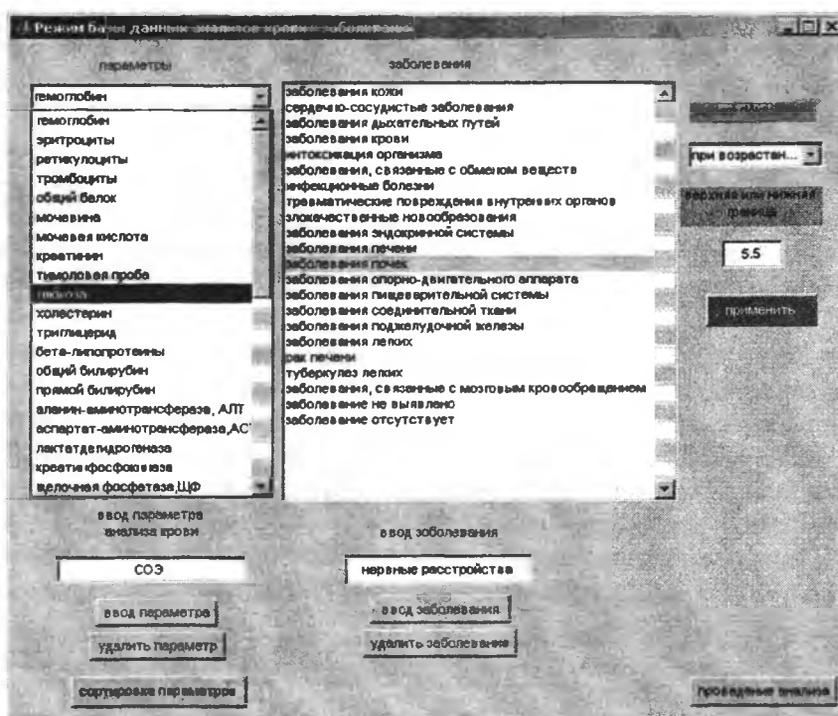


Рис. 1 — Режим заполнения базы данных анализов крови и заболевания

Для внесения данных общего и биохимического анализов крови человека с соответствующими показателями, а также определения характера протекающего заболевания в организме был разработан модуль, позволяющий осуществлять работу с базой данных анализов крови и ее признаками (рис. 1). При заполнении базы данных нужно лишь указывать показатель и соответствующую болезнь, которая проявляется при возрастании или снижении значения показателя анализа крови относительно эталонной величины. Поэтому значения анализов крови сохраняются в двух отдельных матрицах, соответствующих превышению или снижению показателя от нормы, так что общая размерность пространства признаков равнялась сорока одному. Первоначально основная база данных учитывала изменения величин показателей анализа крови по возрастному критерию и полу человека, однако созданный массив данных не мог быть использован для обработки из-за ограниченности размерности матрицы в MatLAB, в котором и была создана интеллектуальная программа для биосенсорной системы экспресс-анализа крови человека ("Био-ЭДК")¹.

¹ Организациям, заинтересованным в приобретении программного обеспечения "Био-ЭДК" для биосенсорной системы экспресс-анализа крови, просьба обращаться к авторам

Особенностью разработанного программного обеспечения является использование для распознавания не только картины анализа крови человека, но и возможность внесения дополнительных явных характеристик симптомов, присущих определенному виду заболевания. Для осуществления определения соответствия между симптомами и различными заболеваниями был дополнительно разработан программный модуль обработки факторов заболеваний, который сохранял внесенные изменения в базу данных симптомов для дальнейшего их использования на этапе распознавания с целью достижения максимальной точности прогнозирования заболевания (рис. 2).

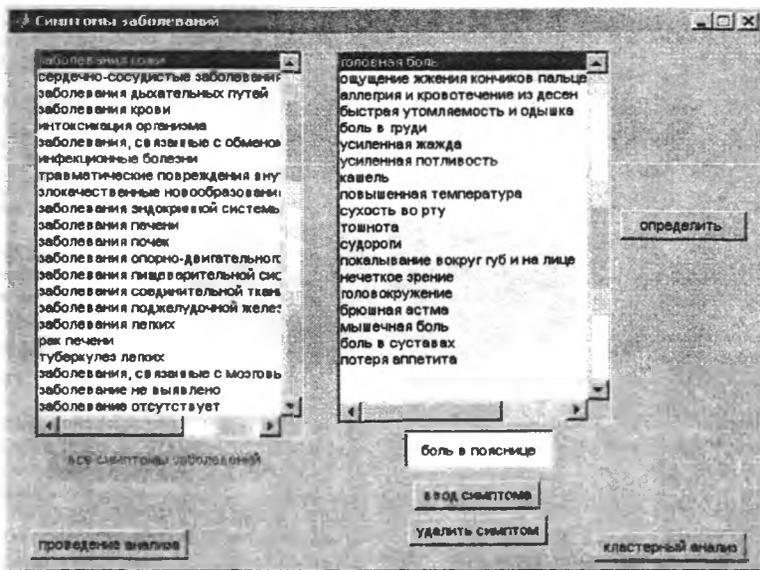


Рис. 2 — Экспертное окно симптомов заболеваний

Использование матрицы симптомов осуществляется на этапе распознавания заболеваний, который проводит модуль обработки данных анализа крови человека (рис. 3). На этом шаге вы-

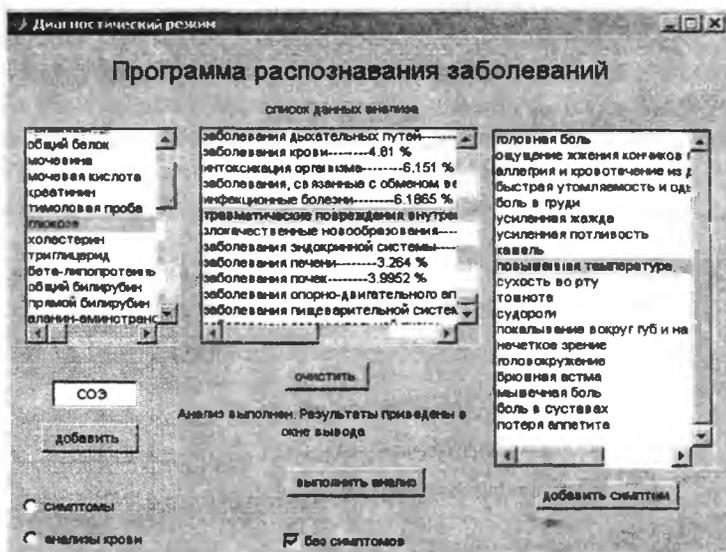


Рис. 3 — Модуль обработки и распознавания заболеваний

полняется последовательное занесение информации о значениях величин показателей крови с одновременным визуальным отображением внесенных данных, что позволяет избежать случайных ошибок при внесении данных для последующего распознавания. В этом модуле пользователь также сам выбирает симптомы, которые характерны для его самочувствия в настоящее время. Список симптомов позволяет провести выбор пользователем того или иного симптома последовательно, хотя при этом возможно появление ошибки из-за пропуска какой-либо синдрома. К тому же программа может быть использована для распознавания заболеваний на основании текущего состоя-

ния человека, а это означает, что симптомы заболеваний могут быть обработаны вместе или отдельно от анализов крови, что придает гибкость программе при экспресс-анализе крови. Результаты работы программы выводятся в окне вывода, представляются окончательно в виде круговой диаграммы с вероятностной картины отдельных заболеваний, а также сохраняются в файл формата .xls для последующих просмотров результатов анализов без запуска модуля обработки и распознавания патологий в организме человека (рис. 4).

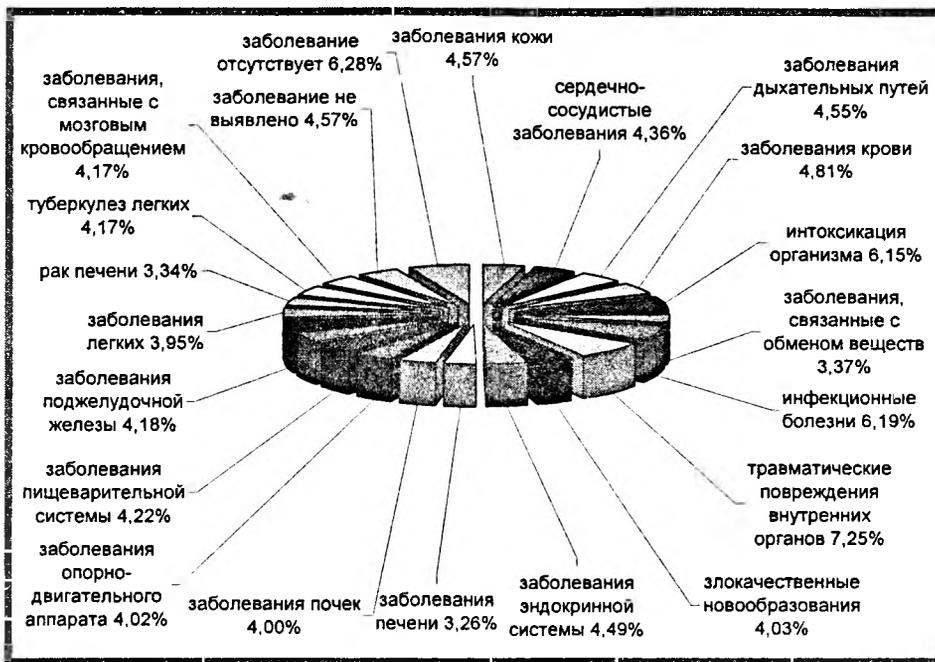


Рис. 4 — Результаты анализа для 22-летнего юноши с травматическими повреждениями внутренних органов

Из диаграммы на рисунке 4 становится очевидным, что распознанное заболевание отчетливо выделяется на фоне остальных патологий организма. При этом основная идея, лежащая в основе программы, основывается на кластерных алгоритмах распознавания, когда в многомерном пространстве признаков находится ближайшая точка, соответствующая определенному состоянию организма человека. Поэтому преимущество метода заключается в том, что все показатели крови, а также выделенные симптомы заболевания оказывают влияние на результат прогнозирования (рис. 5).

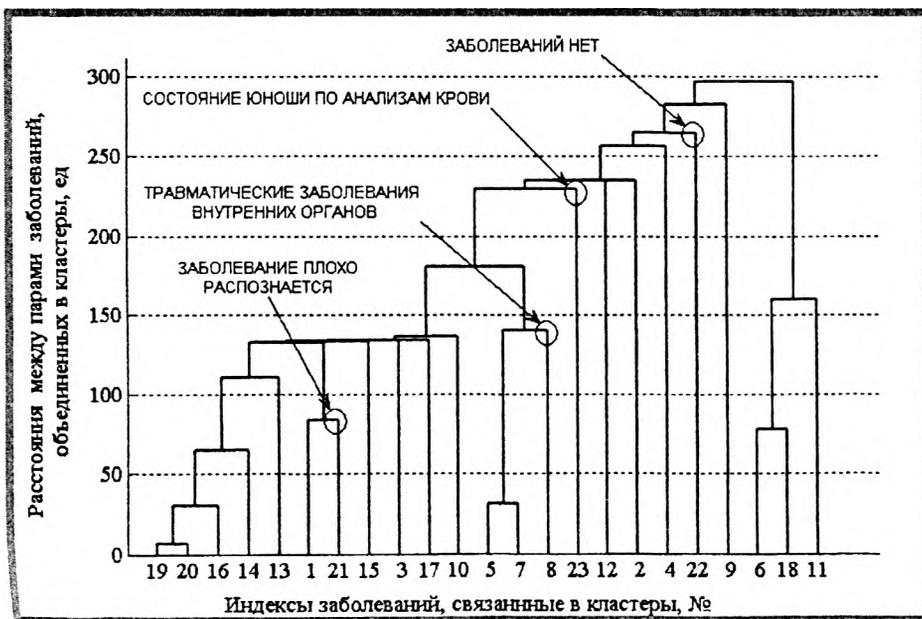


Рис. 5 — Кластерный анализ для распознавания травматических повреждений внутренних органов

Таким образом, структура кластерного анализа позволяет нам выявить характерное заболевание в многомерном пространстве признаков, представленных показателями общего и биохимического анализов крови. Поэтому указанная технология анализа, которая разработана как программное обеспечение для биосенсорной системы экспресс-анализа крови, может эффективно применяться для различных задач быстрого и точного диагностирования заболеваний. Точно также как и оптимизированные нейросетевые методы прогнозирования, «обучение без учителя» позволяет на начальном этапе обработки достичь хорошей эффективности распознавания.

При прогнозировании различных заболеваний количество информативных признаков играет важную роль в оптимальном диагностировании, поэтому разработанная программа будет в дальнейшем улучшаться в направлении привлечения для анализа заболеваний других биологических компонентов человека, как например слюна, моча, а также результатов исследований мозговых потоков информации, что позволит упростить методику проведения диагностики и одновременно раскрыть нейронную природу возникновения различных патологий в организме

УДК

Чижарев В.А., Чижарева Ю.А.

РАЗВИТИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ И МЕТОДОВ ИХ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

*Белорусский Национальный Технический Университет
Минск, Республика Беларусь*

За короткий период развития роботов произошли большие изменения в элементной базе, структуре, функциях и характере их использования. Это привело к делению роботов на поколения.

Роботы первого поколения (программные роботы) имеют жесткую программу действий и характеризуются наличием элементарной обратной связи с окружающей средой, что вызывает определенные ограничения в их применении.

Роботы второго поколения (очувствленные роботы) обладают координацией движений с восприятием. Они пригодны для малоквалифицированного труда при изготовлении изделий. Программа движений робота требует для своей реализации управляющей ЭВМ.

Неотъемлемая часть роботов второго поколения — алгоритмическое и программное обеспечение, предназначенное для обработки сенсорной информации и выработки управляющих воздействий. Роботы третьего поколения относятся к роботам с искусственным интеллектом. Они создают условия для полной замены человека в области квалифицированного труда, обладают способностью к обучению и адаптации в процессе решения производственных задач.

Появление роботов различных поколений не означает, что они последовательно приходят на смену друг другу. В процессе развития совершенствуются функциональные возможности и технические характеристики роботов различных поколений.

Наиболее востребованные в сегодняшних условиях являются роботы первого и второго поколения с автономным или автоматическим управлением. Они обычно подразделяют на производственные и научно-исследовательские роботы, которые после создания и наладки в принципе могут функционировать без участия человека.

Блок-схема производственного робота (ПР) представляет собой сложную конструкцию (рис.1), включающую ряд систем: механическую, приводов управления, связи с оператором, информационную, а также операционное устройство.

Созданные модели ПР представляют собой по существу многокоординатные манипуляторы с программным управлением, программируемые по первому циклу. Их системы управления помимо основных функций по управлению движением рабочих органов манипулятора обеспечивают выдачу сигналов на обслуживаемое оборудование, прием сигналов от простейших датчиков внешней информации, работающих по принципу Да—Нет, и использование этих сигналов в целях выбора той или иной подпрограммы работы из числа заданных оператором. Наличие внешнего контура управления существенно расширило области применения созданных ПР, так как позволило использовать их по отношению к автоматизированному процессу не только в качестве универсальных манипулирующих, но также и в качестве управляющих

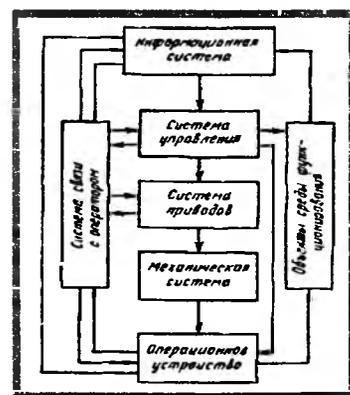


Рис. 1- Блок-схема промышленного робота.

устройств. Наличие датчиков и соответствующих электронных схем внешней информации придало этим ПР принципиально новую способность адаптации к изменяющимся условиям работы.

В настоящее время наиболее разработан типаж ПР первого поколения. Так, например, в станкостроительной и инструментальной промышленности по структуре типаж этих ПР подразделяют на следующие группы и подгруппы: универсальные ПР, обслуживающие различное технологическое оборудование и выполняющие различные основные технологические операции; целевые ПР подъемно-транспортной группы (многоцелевые), обслуживающие различное технологическое оборудование, выполняющие транспортно-складские и специальные работы; целевые ПР производственной группы (многоцелевые) для выполнения различных технологических операций сварки, очистки и подготовки деталей, окраски и нанесения покрытий, разборки, контроля, измерения, отбраковки, разметки и сборки.



Рис.2 – офлайн метод интерактивного программирования

В ходе эволюции роботов первого поколения наибольшее распространение получил 6-координатный робот, конструкция которого позволяет приспособлять его под широчайший спектр операций. По сути меняется только операционное устройство и управляющая программа.

Программирование ПР, а именно, создание программы-алгоритма для управления им представляет наибольшую сложность во всем производственном процессе с участием роботов. Программирование ПР намного сложнее чем программирование станков с ЧПУ, т.к. помимо траектории движения инструмента необходимо так же запрограммировать его положение в пространстве.

Используемыми методами программирования роботов являются :

- 1) Play-back - метод обучения. Первый цикл рабочий непосредственно руководит инструментом;
- 2) Teach-in – метод основанный на задании оператором способа движения инструмента посредством джойстика;
- 3) Off-line – метод интерактивного программирования.

Два первых метода классифицируют как один метод - *онлайн*, третий же *офлайн*, как не требующий присутствия оператора. С развитием вычислительной техники и повышением требований к технологическим процессам *офлайн* метод стал наиболее дешёвым и перспективным методом. На данный момент он стал доминирующим методом в развитых странах.

Офлайн МЕТОД, а точнее программирование и симуляция движений ПР компьютерными средствами, находится на переднем крае исследований в области робототехники.

Хотя на рынке и представлены автоматизированные инструменты для графического моделирования траекторий манипуляторов, тем не менее, программирование роботов в режиме *офлайн* на десятилетие отстает от других процессов автоматизации производства, таких как программирование станков с ЧПУ. Сейчас в мире функционирует более 500 000 промышленных роботов, и это число ежегодно увеличивается на 30 000. При этом с использованием графических средств программируется менее 1% роботов. Для сравнения с помощью *CAD/CAM* создаются УП более чем для 70% станков с ЧПУ.

Программированием роботов в режиме *офлайн* (*Robot off-line programming – OLP*) называют метод, объединяющий средства компьютерной симуляции и графики (рис. 2) для разработки желаемых траекторий без физического доступа к манипулятору или его окружению.

В *OLP* могут входить вычисления конфигураций манипулятора и соответствующих коррекций его движений. Эти движения могут демонстрироваться с помощью компьютерной графики, а фактическое программирование может выполняться на удаленном компьютере.

В отличие от *онлайн*-программирования методом обучения, применение языка программирования и другого программного обеспечения позволяет обрабатывать команды для промышленных роботов на компьютере. С помощью имеющихся *OLP*-языков могут быть легко описаны сложные траектории и последовательности движений, например, аналитические *3D*-траектории. Язык программирования необходим для того, чтобы дать команду переместить манипулятор в определенное положение. Такой язык дает роботу возможность выполнять поставленные с периферийными устройствами (датчики, конвейеры), а также принимать решения. Язык определяет пределы способностей и гибкости робота.

Отметим следующие из наиболее очевидных преимуществ программирования промышленных роботов в режиме *офлайн*:

- робот освобождается для производительной работы;
- обеспечивается более быстрое программирование более сложных траекторий;
- траектории точнее соответствуют форме детали;
- программы для роботов генерируются автоматически;
- появляется возможность генерировать такие траектории, которым невозможно обучить робота, используя онлайн-методы.

Несмотря на то, что у метода офлайн-программирования имеется масса преимуществ, количество доступных в настоящее время *OLP*-решений весьма невелико. Большинство из них стоит очень дорого и при этом проработано сравнительно плохо.

Чаще всего *OLP* системы разрабатываются как дополнительные модули (*add-on*) к популярным *CAD/CAM*-системам. *OLP* модуль математически преобразует траектории, созданные в *CAD/CAM*-системах, в управляющие коды робота.

Современные *OLP*-системы обладают следующими компонентами:

- *CAD*-среда: Для управления роботом можно использовать *3D*-модель детали, созданную в *CAD*-системе, либо полученную методом обратного инжиниринга.
- Графический интерфейс: Программирование траектории осуществляется графически путем выбора на экране компьютера геометрии (линий, дуг, граней и *3D*-элементов). Когда геометрия выбрана, пользователь задает параметры в диалоговых окнах, которые проводят его через весь процесс ввода необходимой информации. Программное обеспечение автоматически генерирует траекторию для робота, основанную на вышеупомянутых данных. Такой высокий уровень автоматизации особенно необходим при обилии конструктивных элементов в обрабатываемом изделии.
- Интеграция *CAD* и *CAM*: Для достижения более высокого уровня автоматизации программирования роботизированных процессов создаются специальные прикладные модули. Они автоматизируют программирование таких процессов, как покраска изделия при помощи распылителя, трехмерная механическая обработка, дуговая сварка, обрезка. Такие модули значительно повышают производительность программирования и предлагают высокий уровень функциональности, необходимый для специфических нужд.
- Средства анализа и верификации: Для анализа сгенерированных траекторий, для их оптимизации с целью повышения производительности и для проверки целостности (в особых точках) создаются специальные модули. Реализуется и алгоритм итерационной самокоррекции траекторий.
- Постпроцессоры: Постпроцессор – это модуль, который преобразовывает траектории в команды на специальном *OLP*-языке. Каждый производитель промышленных роботов разрабатывает для них свой язык программирования; некоторые языки являются более развитыми, чем другие.

Постпроцессирование – это завершающая стадия программирования робота, которая позволит ему понимать и обрабатывать созданные средствами *OLP* траектории.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Попов Е.П., Письменный Г.В. Основы робототехники: Введение в специальность: Учеб. для вузов по спец. “Робототехнические системы и комплексы” – М.: Высш. шк., 1999. – 224 с., ил. 2. Шахинпур М. Курс робототехники: Пер. с англ. – М.; Мир, 1998. 527 с., ил. 3. Интернет-сайт <http://www.camelot.dk>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЯЗЫКА ТЕКСТА В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Разработка интеллектуальных лингвистических систем синхронизированных многоязычных систем является перспективной задачей XXI века. Это обусловлено, во-первых, тем, что не каждый человек обладает лингвистическими талантами, во-вторых, даже талантливый затрачивает много усилий и времени по изучению «литературно-разговорных» иностранных языков. В-третьих, XXI век требует от каждого цивилизованного человека успешно владеть не одним иностранным языком, не говоря уже о родном языке. Особенно необходимы такие лингвистические системы студенту, поэтому задачу, которую мы поставили перед собой – разработка интеллектуально-лингвистической системы синхронного многоязычного перевода, является сложной, но решаемой, особенно с участием профессорских и студенческих интеллектуальных усилий. Увеличивает данную уверенность то, что в последнее время сеть Интернет стала широко распространена во всем мире и содержит в себе гигантское количество информации на различных языках. Данная программа может быть использована для классификации этой информации, кроме того, она может быть использована как модуль в других пакетах программного обеспечения, например, при проверке орфографии и прочей обработке естественных языков.

Несколько ученых из Амстердамского университета заметили интересную вещь[1]: если взять текст на некотором языке, скажем английском, заархивировать его обычным популярным архиватором WinZip, затем взять этот же текст, только прибавить к нему какой-то фрагмент тоже на английском языке, и вновь запаковать, то размеры файлов будут практически одинаковыми. Но если добавить текст на другом языке, скажем, немецком, то размер конечного архива значительно возрастает. Было проведено несколько тестов для различных языков, причем были получены удивительно хорошие результаты: такая ситуация наблюдалась в 100% случаев для всех языков Евросоюза; минимальный размер добавляемого текста должен был быть около сотни символов.

Алгоритм архивации. Если вникнуть в суть работы алгоритма, то такая картина становится неувидительной. WinZip использует алгоритмы LZW (Lempel-Ziv-Welch) - усовершенствованный Уэлшем алгоритм LZ, имеющий разные варианты исполнения LZ77, LZ78. Это алгоритмы сжатия без потерь, опубликованные в статьях Абрама Лемпела (Abraham Lempel) и Якоба Зива (Jacob Ziv) в 1977 и 1978. [2] Эти два алгоритма являются наиболее известными вариантами в семействе LZ, которое также включает в себя LZW, LZSS, LZMA и другие алгоритмы. Основной принцип работы алгоритмов этого семейства в следующем: в соответствии с поступающими на вход словами-символами алгоритм заносит специальным образом построенные фразы в свой словарь, и затем, когда встречает во входном потоке эти фразы, то заменяет их на индекс в словаре. Почти все существующие алгоритмы этого класса отличаются в основном лишь способом ведения этого словаря.

По сути, данный алгоритм формирует словарь, который содержит набор характерных для языка сочетаний символов. Как показали эксперименты, для разных языков эти словари значительно отличаются, что и объясняет незначительный прирост размера архива при добавлении к тексту фрагмента на таком же языке, т.к. уже сформированный словарь отлично подходит для архивации добавленного фрагмента.

Рассмотрим более подробно сам алгоритм, точнее его часть, в которой формируется словарь. Давайте сначала определим нечто, называемое "текущим префиксом". Обозначим его как "prefix". Изначально текущий префикс ничего не содержит. Давайте также определим "текущую цепочку", которая образуется текущим префиксом и следующим символом в потоке символов. Обозначим текущую цепочку как "prefix+C", где C - некоторый символ.

Теперь посмотрим на первый символ в потоке символов. Назовем его P. Сделаем prefix+P текущей цепочкой. Теперь выполним поиск в таблице кодовых слов, чтобы определить входит ли в нее prefix+P. Конечно, сейчас это не произойдет, поскольку наша таблица пустая. В этом случае

мы добавляем текущую цепочку в таблицу, а префикс делаем пустым. Снова делаем prefix+P текущей цепочкой, где P – следующий символ потока. Через несколько шагов текущая цепочка найдется в кодовом словаре. Тогда значение текущей цепочки присваивается префиксу: prefix = prefix +P, где P – очередной символ. А текущая цепочка вновь формируется с уже новым префиксом и очередным символом потока. При архивировании словарь кодовых слов является динамичным, т.е. по мере наполнения словаря, новые слова вытесняют старые. Т.к. у нас стоит задача лишь сформировать словарь некоторого заданного размера, то по достижении этого размера мы прекращаем работу алгоритма.

Стоит отметить, что для формирования словаря нужен некоторый текст минимальной длины, который позволил бы заполнить весь словарь полностью, а также то, что нет необходимости обучать систему на больших объемах текста. Необходим такой размер текста, который обеспечил бы лишь полное формирование словаря.

Алгоритм работы системы. Работу с системой в данной работе можно разделить на два этапа: 1. Обучение; 2. Непосредственно распознавание.

Обучение подразумевает собой то, что мы формируем словари для всех языков, которым нам нужно обучить систему. Способ формирования словаря был приведен выше. Следует заметить, что системе нет необходимости обучаться на образцах очень больших размеров, т.к. в системе используется не статистические показатели наподобие частоты встречаемости отдельных символов, а характерные для языка буквосочетания.

Распознавание заданного текста происходит следующим образом: поочередно используя каждый словарь из уже сформированного на 1 этапе набора словарей, имитируется процесс кодирования заданного текста. Реального сжатия текста не происходит, т.к. это не является целью данного этапа разработки. Как уже упоминалось выше, алгоритм кодирования пытается заменять фрагменты текста ссылками на кодовые слова из словаря.

Данная система подсчитывает неудачные попытки замены фрагментов текста на ссылки. На выходе мы получаем массив размерности, равный количеству словарей (т.е. языков распознавания), отсортировав который по возрастанию мы получим очередность того, насколько введенный текст «похож» на языки из нашей коллекции словарей. Т.е. наименьшее число неудачных попыток замены соответствует наибольшей степени похожести.

Тестирование. Для тестирования разработанная программа была обучена трем языкам: английский, немецкий и португальский. Далее на каждом языке были созданы по 10 текстов размером от 1Кб. Источником текстов для английского и португальского послужил сайт www.bbc.com, для немецких – новостной сайт www.magazine-deutschland.de. Все тексты были распознаны правильно, т.е. программа показала 100% вероятность определения языка. Также на

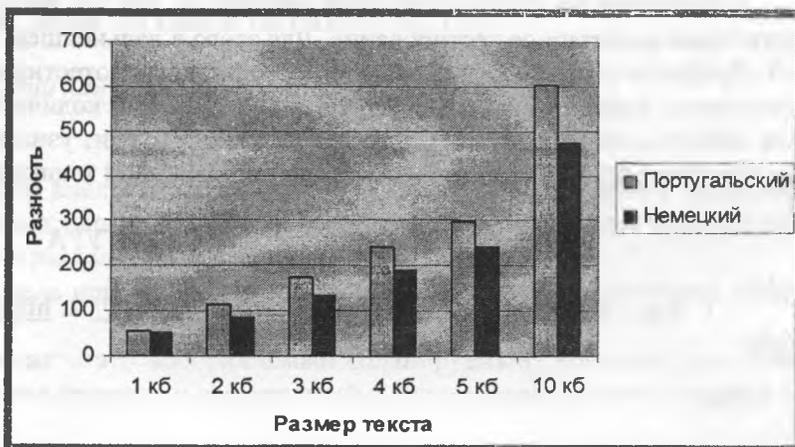


Рисунок 1. Разность между английским и немецким/португальским словарями.

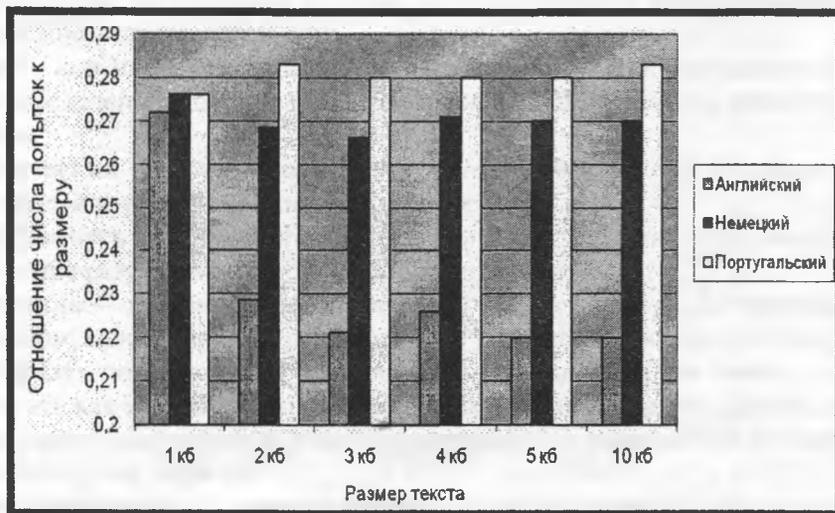


Рисунок 2. Отношение числа попыток к размеру текста.

примере текста на английском программа была протестирована для разных размеров текста (от 1кб до 10кб). На рисунке 1 приведена диаграмма разности неудачных попыток между английским словарем с немецким и португальским словарем.

Как можно видеть, этот показатель зависит практически линейно от размера текста. Отношение числа попыток ко всему размеру текста для всех 3-х словарей приведено на рисунке 2.

Можно видеть, что результаты становятся довольно надежными при размере текста около 2Кб и более.

Несмотря на обнадеживающие результаты для 3-х языков и 30 текстов все же стоит провести более масштабное тестирование. Для этого в дальнейшем нужно добавить поддержку пакетной обработки текстовых файлов, что позволило бы протестировать разработанную программу на значительно больших массивах файлов и для большего количества языков. Это поможет исследовать особенности работы алгоритма и возможно позволит узнать другие интересные закономерности, что будет приближать нас к решению поставленной многоэтапной задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.computerra.ru/news/2003/4/14/38987/> 2. <http://en.wikipedia.org/wiki/Lempel-Ziv-Welch>

**ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА**

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Освоение новых технологий, внедряемых на предприятиях, предусматривает разработку инвестиционных проектов, в которых наряду с проработкой технических вопросов, производится экономическое обоснование. В этом разделе

будем различать понятие «цель или целевой результат» и понятие «экономическая эффективность».

Цель или целевой результат – это воображаемый (планируемый) конечный результат, достигаемый за определенный период времени и выражаемый в натуральных количественных показателях.

В современных условиях цель инвестирования может быть сформулирована исходя из решения следующих важнейших задач:

- реализация мероприятий ресурсосбережения, прежде всего энергетических ресурсов, что особенно актуально для Беларуси в условиях повышения цен на газ и нефть;
- производство продукции, конкурентоспособной как на отечественном, так и на мировых рынках, что особенно важно с учетом перспективы вступления Беларуси в ВТО;
- освоение выпуска импортозамещающей продукции, ведущее к экономии валютных средств, что жизненно важно при наличии отрицательного платежного баланса.

Наряду с определением целевого результата, инвестиционный проект требует расчета показателей экономической эффективности.

Дадим определения некоторым терминам и понятиям.

Экономия – сокращение затрат конкретного ресурса за определенный период времени, определяется в натуральном или стоимостном выражении.

Экономический эффект – конечный результат инвестиционного проекта, сокращение затрат совокупности ресурсов за определенный период времени, абсолютный показатель, рассчитывается в стоимостном выражении.

Интегральный экономический эффект – сокращение затрат совокупности ресурсов за ряд лет, в данном случае за расчетный период инвестиционного проекта.

Экономическая эффективность (ЭЭ) – понятие, выражающее результативность, показатели ЭЭ определяется как отношение результата к затратам, вызвавшим результат.

Критериальный показатель – показатель экономической эффективности не имеющий ограничений и используемый лицом, принимающим решения (ЛПР) в качестве основного довода для принятия решения. Характеризуя показатель как не имеющий ограничений, это значит, что данный показатель может достигать как максимальных, так и минимальных значений. Другие показатели, в отличие от критериальных, выступают в роли ограничений, т.е. должны быть заданы пределы их значений «не больше» или «не меньше».

Целевая функция. Для количественного расчета критериального показателя формируется целевая функция. Во многих случаях она представляет собой непрерывную функцию переменных. Если эта функция имеет экстремальное значение (минимум или максимум), тогда можно ставить задачу нахождения оптимального решения.

При решении конкретной задачи на практике, когда анализируется один, два или более проектных вариантов решения этой задачи, принимается вариант по принципу «лучший из рассмотренных».

При обосновании целесообразности создания или приобретения технологий, цель задается в виде конкретного количественного значения объема выпуска, которая должна быть достигнута

любым из вариантов. Поэтому при обосновании варианта в качестве критериального может быть рассмотрен показатель **минимум затрат за расчетный период**.

При использовании этого критерия суммирование единовременных затрат (на этапе инвестирования), и текущих затрат, (осуществляемых в разные годы периода эксплуатации), необходимо осуществлять на основе приведения разновременных денежных потоков к одному моменту времени.

Этот метод требует сравнения двух или более альтернативных вариантов, результаты которых одинаковы, но различны капитальные вложения и различны текущие затраты за каждый год расчетного периода. К реализации принимается вариант, который обеспечивает минимальные совокупные затраты за расчетный период.

Рассмотрим два варианта: 1-й - приведение разновременных затрат к началу шагу расчетного периода (дисконтирование); 2-й - приведение затрат к конечному шагу расчетного периода (компаундирование).

1-й вариант.

Расчет совокупных затрат за расчетный период проекта ведется по формуле:

$$Z_{\Sigma}^a = I_{t_0} + \sum_{t=t_0}^{t=t_k} Z_{Tt} \cdot \frac{1}{(1+r_d)^t} - \Phi_{ост,t_k} \cdot \frac{1}{(1+r_d)^k}$$

где I_{t_0} - инвестиции в создание или приобретение технологий, руб.;

Z_{Tt} - текущие затраты за период t , руб.;

$\Phi_{ост,t_k}$ - остаточная стоимость активов, необходимых для реализации технологии в конце расчетного периода, руб.;

$\frac{1}{(1+r_d)^t}$ - коэффициент дисконтирования (приведения) для года t ;

r_d - выбранная ставка дисконта, в долях единицы.

t_0 - год начала осуществления капитальных вложений (внедрения технологии);

t_k - год окончания расчетного периода;

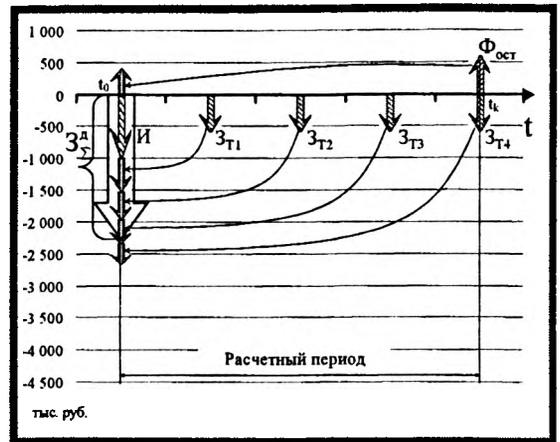


Рисунок 1. - Принципиальная схема приведения денежных потоков по шагам к началу расчетного периода

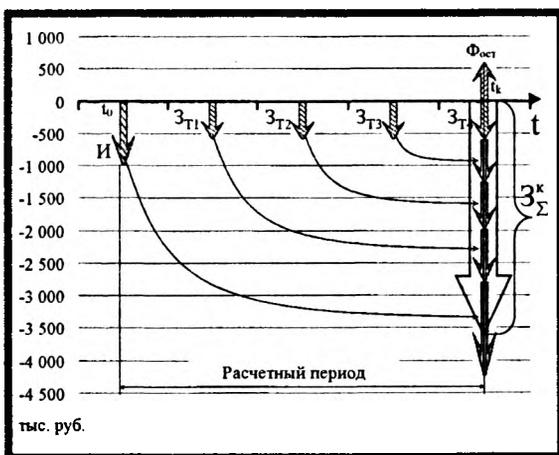


Рисунок 2. - Принципиальная схема приведения денежных потоков по шагам к окончанию расчетного периода

Расчеты денежных потоков производятся по каждому альтернативному варианту. Принципиальная схема расчетов приведена на Рисунке 1.

При использовании данной схемы приведения и наличии информации о величине и сроках денежных поступлений от реализации продукции имеется возможность определить показатели экономической эффективности инвестиционного проекта, направленного на внедрение новых технологий или освоение производства новой продукции на предприятии.

2-й вариант.

Расчет совокупных затрат за расчетный период проекта ведется по формуле:

$$H_{\Sigma}^k = \Phi_{t_0} \cdot (1+r_k)^{t_k} + \sum_{t=t_0}^{t=t_k} H_{Tt} \cdot (1+r_k)^{t_k-t} - T_{\xi_{PS} t_k}$$

где $(1+r_k)^{t_k-t}$ - коэффициент компаундирования (приведения) для года t ;

r_k - выбранная ставка приведения, в долях единицы.

Принципиальная схема расчетов приведена на Рисунке 2.

Нормативные документы, которыми следует руководствоваться при разработке экономического обоснования внедрения новых технологий, предлагают использовать методику дисконтирования.

Методика компаундирования может применяться в случаях, когда требуется оценить стоимость технологии по истечении некоторого времени после начала ее разработки или использования. Например, когда организация планирует реализовать разработанную и апробированную технологию в качестве объекта интеллектуальной собственности, а также при необходимости оценки стоимости нематериальных активов организации затратным методом.

УДК 657.312

Гребенников И.Р.

ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ БИЗНЕС-ПЛАНА ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В современных условиях для ведения успешной деятельности коммерческими организациями различных форм собственности и сфер деятельности большое внимание должно уделяться вопросам планирования. Ошибки в планировании могут привести к весьма нежелательным последствиям вплоть до банкротства. Из множества видов планов, разрабатываемых на предприятиях особо можно выделить бизнес-планы, относящиеся к категории среднесрочных планов (т.е. горизонт планирования составляет 3...7 лет).

Бизнес-план – общепринятая в мировой практике форма представления деловых предложений и проектов, наглядно демонстрирующая возможность их реализации при условии соблюдения баланса интересов всех участников проекта.

Во многих случаях бизнес-план разрабатывается для обоснования проектов и мероприятий, направленных на повышение эффективности использования имеющихся средств предприятий либо средств его учредителей. В зависимости от выбранного направления развития можно выделить следующие **виды бизнес-планов**:

- Бизнес-план создания нового предприятия
- Бизнес-план производства новой продукции
 - в дополнение к существующему товарному портфелю
 - с заменой существующего товарного портфеля
- Бизнес-план технического перевооружения
 - без изменения объемов производства и структуры производимой продукции
 - с изменением объемов производства и структуры производимой продукции
- Бизнес-план развития предприятия

В Республике Беларусь принят ряд нормативных документов, регламентирующих содержание бизнес-планов. Основными документами являются:

- Правила по разработке бизнес-планов инвестиционных проектов (утв. постановлением Министерства экономики РБ от 31.08.2005 N 158) [1]
- Рекомендации по разработке прогнозов развития коммерческих организаций на пять лет
- Рекомендации по разработке бизнес-планов развития коммерческих организаций на год (утв. постановлением Министерства экономики РБ от 30.10.2006 N 186) [2]

Указанные документы регламентируют содержание основных разделов бизнес-планов. Также в них приведены формы таблиц обязательных для заполнения. Однако данные документы не дают четкого представления о порядке разработки бизнес-плана.

В работе [3] процесс разработки бизнес-плана описан с применением стандарта IDEF0, однако данный стандарт еще не получил широкого распространения в республике.

В представленной работе предлагается схема разработки бизнес-плана инвестиционного проекта в виде блок-схемы. Графическая интерпретация схемы представления на рис.1.

Прежде чем приступить к разработке бизнес-плана, необходимо определиться с направленностью проекта. Идея проекта может быть взята из стратегического плана развития организации, либо в основе проекта может лежать принципиально новая идея. В общем, процесс разработки бизнес-плана можно разбить на 6 основных стадий:

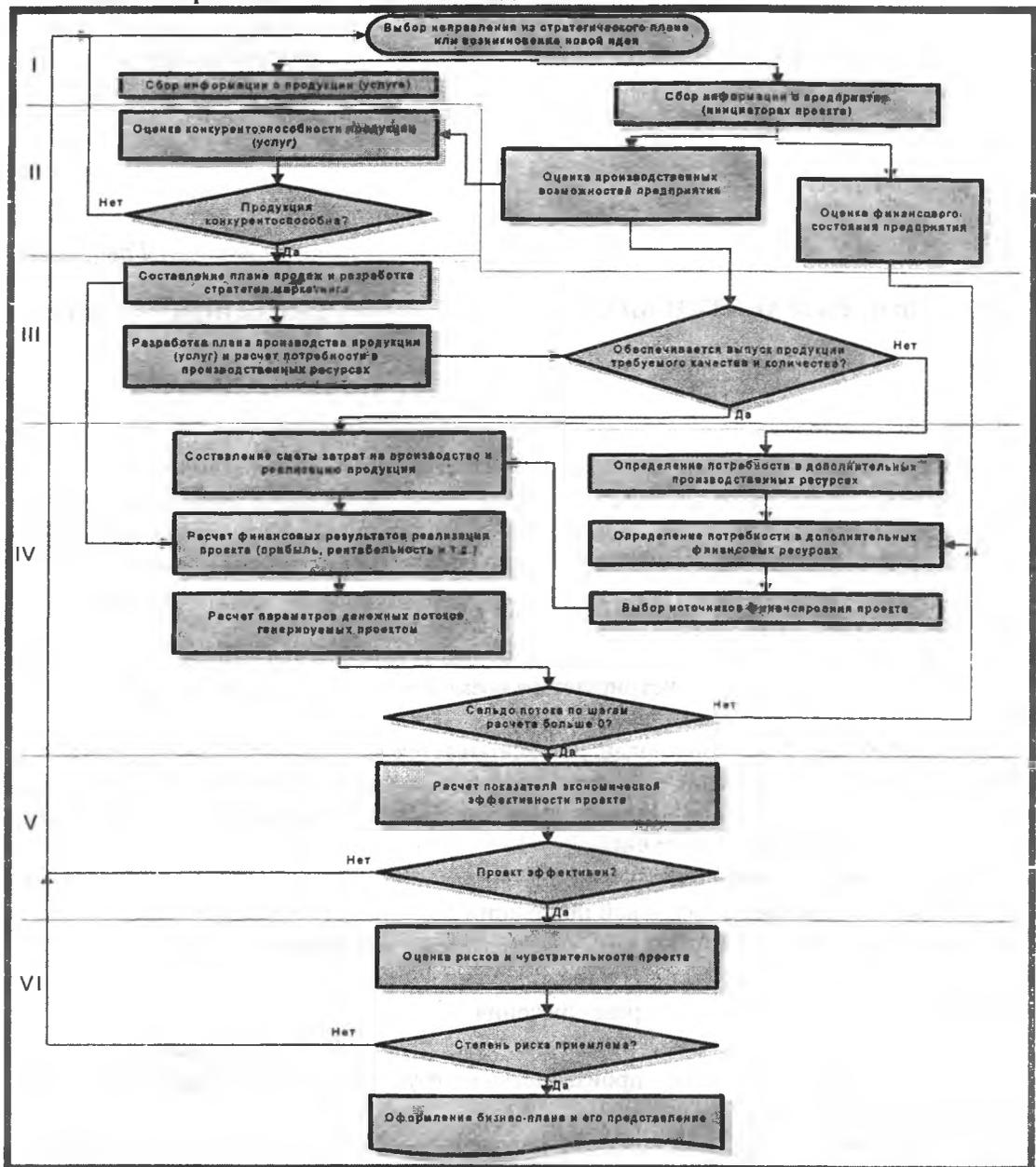


Рисунок 1 – Схема разработки бизнес-плана инвестиционного проекта

I-я стадия – определение направленности проекта и сбор информации, необходимой для разработки бизнес-плана.

На данной стадии осуществляется сбор информации о продукции либо услугах, которые планируется производить в рамках проекта (технические характеристики, уровень цен, дополнительные факторы, влияющие на потребительский выбор); о самом предприятии либо инициаторах проекта, в случае, если планируется создание нового предприятия (статистические отчеты, финансовая отчетность и т.п.). На основании собранной о предприятии информации проводится оценка его производственных возможностей и финансового состояния.

II-я стадия – оценка конкурентоспособности продукции либо услуг, которые планируется производить в рамках рассматриваемого проекта. Если продукция оказывается неконкурентоспособной, то дальнейшая разработка проекта является лишней экономической смысла. Необходимо предусмотреть мероприятия, направленные на повышение конкурентоспособности либо пересмотреть концепцию проекта. Оценку конкурентоспособности необходимо провести для каждо-

го шага расчета, с учетом изменения расчетных показателей как для собственной продукции, так и для продукции конкурентов.

III-я стадия – оценка объемов продаж и планирование объемов производства по периодам реализации проекта.

Данная стадия предусматривает составление прогноза продаж продукции, на основании которого составляется план производства. При составлении плана производства необходимо рассчитать наиболее эффективные размеры партий запуска-выпуска продукции, а также оптимизировать использование производственных мощностей предприятия. Также необходимо оценить соответствие имеющихся производственных мощностей планируемой производственной программе.

IV-я стадия – планирование финансово-хозяйственной деятельности в рамках предлагаемого проекта.

На данной стадии производится расчет требуемых производственных ресурсов (оборудование, материалы, комплектующие, рабочая сила и т.д.), определяются затраты на производство и реализацию продукции. Если для реализации проекта требуется дополнительное привлечение ресурсов, то проводится определение потребности в данных ресурсах и определяется величина финансовых ресурсов, необходимых для реализации проекта. После определения величины необходимого финансирования необходимо определить, из каких источников возможно привлечение финансовых ресурсов. При выборе источников финансирования необходимо учесть, то что начальное финансовое положение предприятия может ограничить возможности предприятия по привлечению заемных средств.

Далее на основании прогнозируемой выручки и величины затрат определяются показатели финансовой эффективности, влияющие на величину налогов, базой для расчета которых является прибыль. и формируются денежные потоки по инвестиционной, операционной и финансовой деятельности. С использованием прогнозируемых денежных потоков проверяется финансовая реализуемость проекта. Условием финансовой реализуемости является положительная либо равная нулю величина сальдо денежного потока по всем видам деятельности. Если сальдо потока по нескольким шагам расчета является отрицательным, то необходимо предусмотреть дополнительное финансирование проекта.

V-я стадия – оценка экономической эффективности проекта. Рассчитываются показатели, характеризующие эффективность финансово-хозяйственной деятельности на каждом шаге расчета (такие как величина прибыли, рентабельность, коэффициенты ликвидности, платежеспособности, обеспеченности собственными оборотными средствами и т.п.), и показатели экономической эффективности инвестиционных вложений (такие как «Чистый дисконтированный доход» (ЧДД), «Внутренняя норма доходности» (ВНД), «Индекс доходности» (ИД), «Дисконтированный срок окупаемости» (ДСО)) характеризующие проект в целом.

VI-я стадия – оценка рисков и чувствительности проекта. Степень риска считается приемлемой, если при изменении ряда параметров по проекту (обычно оценивается изменение объемов реализации, величины инвестиционных вложений, величины текущих затрат) в заданных пределах проект остается экономически эффективным. Если степень риска по проекту признается приемлемой, то осуществляется оформление бизнес-плана в соответствии с принятыми нормами и его представление заинтересованным сторонам (руководству предприятия, потенциальным инвесторам, кредитный отдел банка, в органы государственного управления).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Постановление Министерства экономики РБ N 158 от 31.08.2005. 2. Постановление Министерства экономики РБ N 186 от 30.10.2006. 3. Технология бизнес-планирования. Кузнецов А.И., Омельченко И.Н. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2005. – 192 с.

ВЕБ-САЙТ И ОСОБЕННОСТИ ЕГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В современных условиях одним из важнейших факторов, влияющих на развитие общества как информационного, выступает сеть Интернет, которая является не только общедоступным и кратчайшим путем в мир информации, но и привлекательным направлением для ведения бизнеса. Именно коммерция в настоящее время становится движущей силой развития сети Интернет. Сеть Интернет привлекательна для ведения бизнеса не только информационной насыщенностью, но и невысокой себестоимостью передачи данных, возможностью организации эффективной обратной связи. Интернет оказывает существенное влияние как на внешние отношения компаний с их партнерами и клиентами, так и на внутреннюю структуру самих компаний. Практически все компании для ведения бизнеса активно используют веб-сайты.

Веб-сайт, или просто сайт (англ. website, от web — паутина, и site — «место») — это одна или совокупность веб-страниц, доступных в сети Интернет через протоколы HTTP/HTTPS. Количество веб-сайтов в сети Интернет измеряется миллионами, но с точки зрения разработчиков выделяют следующие наиболее общие типы сайтов:

- **Сайты-визитки или презентационные сайты.** Представляют собой небольшой набор веб-страниц информационного содержания, в основном предназначены для фирм малого и среднего бизнеса и являются, в первую очередь, элементом имиджа фирмы. Не требуют особо больших капиталовложений, однако приносит ощутимый результат. На сайтах такого размера размещается вся необходимая информация, рассказывается о компании, сфере ее деятельности, размещается прайс-лист.
- **Представительские или корпоративные сайты.** Это сложные по структуре и функциональным возможностям веб-сайты с большим количеством информации, может предоставлять возможности коммуникационного взаимодействия с клиентами и партнерами.
- **Интернет-магазин.** Данный тип веб-сайтов предоставляет покупателям возможность быстро узнать о товаре все, что им требуется. Интернет-магазины позволяют так же заказать и получить товар, не выходя из дома. Они дают возможность содержать достаточно небольшой штат работников и при этом торговать и работать как полноценный магазин.
- **Информационный портал.** Предназначен для публикации и управления большими объемами информации в сети Интернет. Разрабатывается для компаний, которые предоставляют услуги, связанные со значительными информационными потоками (разнообразные СМИ, контент-проекты и т.д.).

Для современных предприятий и организаций наиболее привлекательным является создание корпоративного сайта, что дает возможность целенаправленного и эффективного осуществления маркетинговых мероприятий. Веб-сайт компании в сети Интернет выполняет, как правило, следующие основные функции:

- **реклама** (по сравнению с другими видами, реклама с помощью сайта несравненно дешевле и содержательнее; кроме того, она более целенаправленна, избирательна и охватывает более широкую аудиторию);
- **принятие участия в реализации продукции** (хорошо оформленный сайт побуждает потенциальных клиентов к совершению покупок и/или размещению заказов);
- **активизация продаж** (у компании появляется возможность предоставлять развернутую информацию о продукции, делать торговые предложения, демонстрировать внешний вид продукции, консультировать покупателей и т.д.);
- **оказание помощи в установлении долгосрочных двусторонних коммуникаций** между предприятием и его партнерами по бизнесу.

Полнота выполнения веб-сайтом основных функций зависит от качества его разработки. Качество веб-сайта формируется на каждом этапе его создания. В настоящее время наиболее предпочтительным и эффективным является метод создания веб-сайта с позиции его жизненного цикла (рисунок 1).



Рисунок 1 – Этапы жизненного цикла сайта

На этапе определения целей и задач происходит зарождение идеи сайта.

Создание сайта – это процесс непосредственной реализации идеи сайта. На этом этапе разрабатывается интуитивно понятная организация материала и продуманная навигация, продумывается и создается проект дизайна. На основании технического задания и утвержденной концепции дизайна разрабатывается оптимальная структура базы данных, создаются действующие шаблоны всех разделов сайта, а также разрабатываются и настраиваются интерактивные сервисы, параллельно ведется разработка механизмов и интерфейсов системы администрирования сайта, которая позволит сотрудникам компании оперативно обновлять материалы сайта и настраивать сервисные функции. После создания соответствующих шаблонов и механизмов все тексты, файлы для скачивания и необходимые иллюстрации переносятся через административный интерфейс в

базу данных и публикуются на сайте. Готовое решение тестируется и переносится на хостинговую платформу.

Продвижение сайта – работа по привлечению посетителей (потенциальных клиентов, партнеров и т.п.) включает целый спектр мероприятий:

- регистрация в поисковых системах и оптимизация сайта. Большинство пользователей Интернет, для поиска информации, пользуются поисковыми системами. Поэтому, как правило, большая часть посетителей, приходит на сайт с них. Но, простого наличия сайта в индексе поисковых систем не достаточно. Чтобы обеспечить максимальный приток посетителей, необходимо, чтобы ссылка на сайт была как можно ближе к началу результата поискового запроса по определенным ключевым словам или фразам. Поэтому, необходимо регулярно следить за позициями сайта в поисковых запросах и работать над их улучшением, т.е. выполнять работы по оптимизации сайта под поисковые системы. На положение в поисковых запросах, влияет целый ряд факторов, которые необходимо учитывать при оптимизации сайта. Также важно учитывать, что исключение сайта из основных поисковых систем – равносильно его закрытию. Поэтому, необходимо использовать только "белые" (разрешенные) способы оптимизации сайта;
- регистрация сайта в каталогах веб-ресурсов. Обеспечить наличие сайта в большинстве значимых каталогов целесообразно по нескольким причинам. Во-первых, есть категории пользователей, предпочитающих пользоваться различными каталогами и их не нужно игнорировать. Во-вторых, каталоги так же проиндексированы поисковыми системами (зачастую очень удачно) и их содержимое (следовательно, и ссылка на сайт) попадает в результаты поисковых запросов. В-третьих, наличие ссылки на сайт с других ресурсов повышает индекс цитируемости сайта, который является немаловажным фактором, влияющим на позиции сайта в результатах поисковых запросов;
- регистрация в рейтинговых системах. Целесообразно по тем же причинам, что и в каталогах. Помимо этого, многие рейтинговые системы могут предоставлять интересную статистическую информацию о посещаемости сайта. Хотя, как правило, абсолютные показатели, выдаваемые рейтинговыми системами, далеко не точны, тем не менее, анализ динамики по относительным показателям может быть весьма полезен при оценке работы сайта;
- размещение информации о предприятии и сайте на тематических ресурсах. В настоящее время, существует множество тематических ресурсов ("Отраслевых порталов") по различным сферам деятельности. Наличие информации о предприятии и его сайте на таких ресурсах способно привлечь именно целевую аудиторию. Помимо этого, они выполняют те же полезные функции, что и каталоги;
- поисковая реклама. Это сравнительно новый способ рекламы в Интернет, но в некоторых случаях, весьма перспективный. В зависимости от того, какая перед вами стоит задача, могут применяться различные форматы поисковой рекламы. При грамотной организации поисковой рекламы можно в кратчайшие сроки добиться хороших результатов при относительно минимальных затратах на рекламную компанию;
- баннерная реклама. В отличие от поисковой, это самый старый и популярный способ рекламы в Интернет. Но, несмотря на это, использовать ее нужно максимально осторожно. Иначе, при больших затратах, можно получить минимальный или нулевой результат. Т.к. стоимость размещения баннеров на популярных ресурсах с большой посещаемостью достаточно высока, также высока и вероятность ошибок, сводящих к минимуму их эффективность. Например, если сам баннер сделан неудачно, или не правильно настроен его таргетинг (параметры показа: время, частота, аудитория и т.п.), то на него отреагирует минимальное количество пользователей. Кроме того, у большинства пользователей Интернет уже выработалось подсознательное неприятие баннеров (автоматическое игнорирование). Поэтому организация баннерной рекламы достаточно сложная и ответственная задача.

Как и при создании сайта, так и при его продвижении важно учитывать задачи, которые планируется решать с помощью веб-сайта. Поэтому, при продвижении сайта, как правило, не нужно ограничиваться применением какого-либо одного способа. Для достижения максимального эффекта важно не только привлечь, но и удержать определенный объем аудитории.

Обслуживание сайта - это не просто поддержание его стабильной работы, но и постоянное усовершенствование с целью поддержания интереса к нему. Обслуживание сайта выполняет три основные функции:

- поддержка актуальности и развитие. Корпоративный сайт должен развиваться вместе с компанией. На нем должны, в первую очередь, отражаться все изменения, происходящие в процессе деятельности компании (новости, акции, изменения ассортимента, цен и т.п.). Если на сайте длительное время ничего не меняется, то он не способен сохранять стабильную аудиторию, т.к. становится просто неинтересным и устаревшим для посетителей. Кроме того, наличие на сайте устаревшей информации может отрицательно повлиять на имидж самой компании. Регулярное обслуживание сайта позволяет поддерживать его актуальность и формирует положительный образ ресурса и компании в целом;
- оптимизация для поисковых систем. Сайт нуждается в регулярной оптимизации под поисковые системы. Причем, для успешной оптимизации недостаточно однажды насытить страницы сайта ключевыми словами. Поисковые системы "чувствительны" к частоте обновления сайта. Если сайт однажды был успешно проиндексирован и попал на хорошие позиции результатов поисковых запросов, это не гарантирует, что он сохранит эти позиции навечно. При прочих равных условиях, сайты с более актуальной информацией будут находиться на более выгодных позициях;
- продвижение. Регулярно в сети появляется масса новых ресурсов, многие из которых могут быть использованы для увеличения посещаемости сайта. При обслуживании сайта, необходимо регулярно отслеживать появление ресурсов, способных оказаться полезными для продвижения сайта и использовать предоставляемые ими возможности. Причем, этот процесс может быть практически бесконечным, т.к. чем больше информации о сайте будет в сети, тем больше шансов поддерживать его стабильную посещаемость.

Процесс **оценки эффективности работы сайта** складывается из нескольких этапов:

- оценка экономической эффективности (маркетинговый аудит и анализ аудитории сайта);
- оценка интеграции сайта с бизнес-процессами компании;
- выявление возможных причин снижения посещаемости и «смерти» сайта.

Глобальной целью создания коммерческого веб-сайта является получение прибыли. До того, как сайт полностью сформирован и приобретает действительную работоспособность, он проходит множество этапов, которые требуют значительных затрат. Когда сайт начинает работать, он приобретает целевую аудиторию, представители которой являются потенциальными клиентами компании. Даже случайных посетителей, которые изначально не были заинтересованы в посещении именно этого сайта, можно заинтересовать и превратить в целевую аудиторию. Именно заказы целевой аудитории становятся важным источником формирования прибыли от работы веб-сайта.

Прибыль, которую приносит сайт, можно оценить как сумму заказов, приходящих с сайта (1).

$$П = \sum P_i, \quad (1)$$

где P - прибыль,

P_i - величина (в денежном выражении) i -ого заказа, пришедшего с сайта.

Экономический эффект работы веб-сайта представляет собой разницу между прибылью, и теми затратами, которые уже понес и еще понесет владелец сайта (2).

$$E = П - (C + П_r + O + Э), \quad (2)$$

где E - экономический эффект работы сайта,

C - стоимость создания сайта,

P_r - стоимость продвижения сайта,

O - стоимость обслуживания сайта,

$Э$ - стоимость проведения аудита сайта.

Экономическая эффективность может быть определена как отношение полученной прибыли к затратам. (3).

$$E_f = П / (C + П_r + O + Э). \quad (3)$$

Таким образом, на экономическую эффективность работы веб-сайта влияет стадия жизненного цикла, на которой он находится. Для успешной работы веб-сайта необходимо на каждом этапе его жизненного цикла тщательно прорабатывать и отслеживать все мероприятия, быстро реагировать на изменения в сфере информационных технологий, так как только такой комплекс-

ный подход превратит веб-сайт в инструмент недорогой рекламы, новую сферу продвижения товара на рынок, расширенную клиентскую базу и долгосрочные партнерские соглашения, а в целом полностью оправдывает затраты, на создание и развитие веб-сайта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Имери В. Как сделать бизнес в Internet. Пер с англ. –К.: Диалектика, 1998. –464с. – 2. Оценка эффективности работы сайта - <http://www.ru-web.com/index.php?id=24> – 3. Создание Web-сайтов без посторонней помощи / под ред. В. Н. Печникова. —М.: Технический бестселлер, 2006. — 464 с.: ил. 4. Гейтс Б. Бизнес со скоростью мысли. Изд. 2-е, испр. –М.: Изд-во ЭКСМО-Пресс, 2001. -480с., илл. 5. Эймор Д. Электронный бизнес: эволюция и/или революция. Пер. с англ. –М.: «Вильямс», 2001. -752с.

УДК 621.75.002:658

Миланович Д.Ю., Лавренова О.А.

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ИНТЕРНЕТ-ТРЕЙДИНГА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА БРОКЕРА

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Существуют различные способы использования относительно свободных денег — от хранения их дома до покупки недвижимости. Каждый вариант имеет как свои достоинства, так и недостатки. Между тем, миллионы людей в промышленно-развитых странах полагают, что наилучшим способом вложения денег является покупка ценных бумаг. Таким образом, деньги пускаются в оборот с целью получения хорошей отдачи либо в форме регулярного дохода от дивидендов, либо в форме прибыли от совершения с ними активных торговых операций.

Доходность банковских вкладов с учетом возрастающей инфляции никак не может конкурировать с доходностью на фондовом рынке, который в последние годы демонстрирует устойчивый рост — за последние годы рынок вырос более чем на 200%. Это подтверждает и оборот сделок с ценными бумагами Фондовой биржи «ММВБ» за период 2000-2006 гг. (рисунок 1).

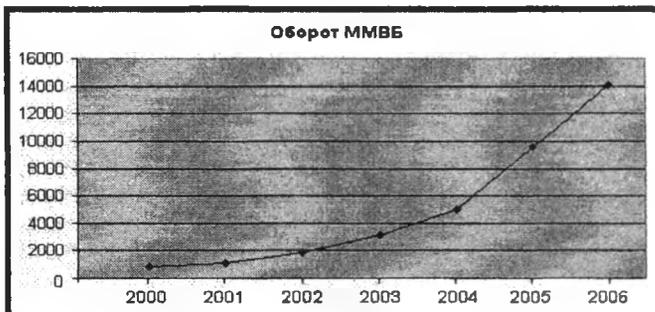


Рисунок 1— Оборот суммарных сделок с ценными бумагами ММВБ (2000-2006гг)

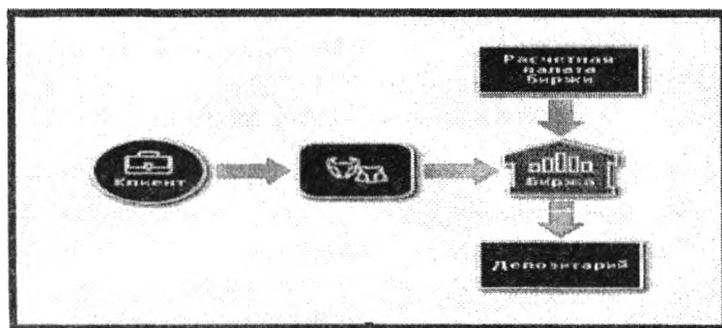


Рисунок 2 – Процесс покупки ценных бумаг

Такой стремительный рост активности операций на фондовой бирже можно объяснить увеличением числа трейдеров, что свидетельствует о доступности ведения операций с ценными бумагами огромному числу потенциальных инвесторов.

Одной из основных причин такого бурного роста является проникновение сети в инвестиционный бизнес и развитие Интернет-трейдинга.

Интернет-трейдинг — современная технология, позволяющая упростить и ускорить процесс приема заявок от инвесторов на операции с ценными бумагами. В общем случае под термином «Интернет-трейдинг» понимается возможность получения удаленного доступа к торгам через Интернет посредством специально

созданного для этих целей программного обеспечения. Это позволяет участвовать в биржевых торгах, находясь в любой точке мира: на даче, в кафе или даже на яхте в открытом море. Единственное техническое требование заключается в том, чтобы был доступ в Интернет. Сделки заключаются через программу, с помощью которой заявки в доли секунды попадают на биржу. Таким образом, инвестор, использующий систему Интернет-трейдинга в режиме реального времени имеет возможность видеть всю информацию о ходе торгов и самостоятельно управляет процессом заключения сделок.

Одной из причин привлекательности Интернет-трейдинга является простота функционирования его механизма (рисунок 2). Основными элементами его являются:

- Инвесторы
- Брокер (посредник между инвестором и биржей)
- Интернет (как коммуникационная составляющая)
- Биржа.

При покупке ценных бумаг Инвестор через Интернет направляет Интернет-брокеру заявку на покупку ценных бумаг, последний размещает заявку на бирже. После заключения на бирже сделки на покупку ценных бумаг денежные средства списываются со счета инвестора в расчетной палате биржи в пользу продавца ценных бумаг. В депозитарии, где ведется учет и хранение ценных бумаг, происходит перерегистрация прав собственности купленных ценных бумаг в пользу трейдера.

Анализ технологии Интернет-трейдинга позволяет выявить некоторые особенности (таблица 1).

Таблица 1 – Достоинства и недостатки Интернет-трейдинга

Достоинства	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> • Оперативность совершения сделок • Самостоятельное управление собственными активами • Реальная возможность достаточно быстро значительно увеличить свои активы • Удобство и круглосуточность доступа • Низкая начальная (входная) стоимость деятельности • Низкие комиссионные электронных брокеров • Простота технологии осуществления транзакций • Отсутствие необходимости знать язык в полном объеме для совершения сделок • Широкие возможности самостоятельного исследования (бесплатные исследовательские материалы, бесплатные инвестиционные консультанты, дополнительные инструменты мониторинга акций, обзоры аналитиков, диаграммы и графики акций). • Простота хранения денег на счету у брокера. 	<ul style="list-style-type: none"> • Наличие рисков: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Брокерский риск Риск сбоя, перегрузки или отключения сервера брокера, что может вызвать невозможность ликвидации позиции вовремя и, следовательно, привести к убыткам. ✓ Провайдерский риск Риск обрыва связи с провайдером в самый неподходящий момент. В общем, обычные проблемы подключения к Интернет и его стоимость. ✓ Технологический риск Риск нечаянного осуществления действий, противоположных желаемым. Например, ошибка в букве тикер-символа компании и случайная сделка не с той акцией. • Возможность нарушения конфиденциальности информации брокера • Проблема выбора брокера

На сегодняшний день аналитики отмечают, что возможность возникновения одного из рисков сводится к минимуму, как в связи с улучшением качества работы Интернет-провайдеров, так и благодаря наличию у большинства Интернет-брокеров запасного шлюза-подключения к бирже.

В целях повышения уровня безопасности информации в программном обеспечении Интернет-трейдинга применяется сразу несколько методов защиты. Так например, одна из самых популярных систем QUIK реализует комплекс мероприятий по защите:

- Аутентификация пользователя по технологии «открытый/закрытый ключ»
- Применение технологии двухфакторной аутентификации RSA SecurID
- Электронная цифровая подпись (ЭЦП) транзакций с применением сертифицированных средств криптографической информации «Верба-OW», «КриптоПро CSP» или «Message/PRO» (компания «Сигнал-КОМ»)

- Шифрование трафика как сертифицированными СКЗИ, так и встроенными средствами собственной разработки
- Фиксирование диапазона IP-адресов, доступных для подключения определенного терминала
- Индивидуальные настройки средств безопасности для каждого пользователя, возможность выборочного применения
- Протоколирование всех транзакций и текстовых сообщений пользователей.

Такое сочетание способов защиты позволяет свести к минимуму угрозу нарушения конфиденциальности информации. Одним из главных условий успешного Интернет-трейдинга является правильный выбор брокера. Основными критериями выбора по мнению экспертов должны быть:

- Сумма стартового капитала
- Надежность брокера
- Комиссионные брокера
- Ограничения на ведение торговли
- Надежная связь с брокером и технической поддержкой
- Дополнительные сервисные продукты для клиентов
- Удобство работы с программным обеспечением.

При выборе брокера необходимо учитывать начальные условия задачи выбора. В первую очередь необходимо определить, какой суммой инвестор предполагает оперировать (размер торгового капитала) и к какому типу инвесторов он себя относит. А также, каков предполагаемый срок удержания открытой позиции. Это весьма важные параметры, которые позволяют сразу отсеять неподходящих брокеров.

Одним из наиболее важных критериев является размер *комиссионных брокера*. Брокерские комиссии исчисляются в процентах от суммы операции. Диапазон комиссионных онлайн-брокеров включает в себя цифры 0.01-0.3% от суммы каждой сделки в зависимости от тарифного плана и месячного оборота торгов клиента. Уровень комиссионного вознаграждения не должен являться единственным определяющим критерием при выборе брокера для начинающего инвестора. Тарифы имеют свойство меняться время от времени и, возможно, брокер с менее выгодным тарифом сегодня, предложит лучший тариф завтра. Кроме тарифов на сделки нужно обратить внимание на следующие обстоятельства:

- включены ли биржевые сборы в комиссию брокера или будут списываться отдельно;
- включает ли тарифный план ежемесячную абонентскую плату;
- каков уровень комиссий за депозитарное обслуживание;
- готов ли брокер предложить более низкий индивидуальный тариф.

Следующий важный критерий – это *программное обеспечение*, используемое брокерами. Существует два способа вывода клиентских заявок на рынок через Интернет. Первый, самый простой и надежный способ – это торговля посредством интерфейса, основанного на использовании стандартного Интернет-браузера. Этот доступ к рынку использует стандартные Web-технологии, которые не требуют установки дополнительного программного обеспечения. Удобство, надежность и простота осуществления операций, сделали такие системы исключительно привлекательными для непрофессиональных и начинающих инвесторов. Другой способ вывода заявок на рынок состоит в использовании в качестве интерфейса специальной программы, устанавливаемой на компьютер пользователя. Устанавливаемая программа, называемая торговым терминалом, позволяет через сервер брокера подключаться к торговому шлюзу биржи. Такие торговые платформы предназначены для активных биржевых игроков и требуют специальной установки и настройки и определенного уровня подготовки инвестора.

Критерий надежности брокера и риск, который на себя берет инвестор, открывая счет у брокера позволяют значительно сократить список возможных претендентов. Как показывает российская практика 90-х годов, величина компании-брокера и ее обороты не могут являться критерием надежности. Многие российские банки, занимавшие первые места в табелях о рангах по величине активов или в рейтингах надежности, исчезли после банковского кризиса 95-го года, другие были разорены в результате кризиса 98-го года. Примером также служит коллапс инвестиционной компании «Пролог» в мае 2003 года и случай с брокером "Гута-Банк". Последний до остановки своих операций в июне 2004 года входил в десятку крупнейших банков и операторов рынка акций на фондовой площадке ММВБ. Поэтому в этом случае лучше воспользоваться другими критериями. Более точными параметрами выбора могут быть *открытость и прозрачность компании, а также возможность страховки*. Обязательным признаком

уважающего себя брокера является публикация двух последних балансов, которые должны быть представлены на корпоративном сайте компании.

При выборе брокера необходимо учитывать *наличие дополнительных лицензий на депозитарную деятельность*. Брокер, не имеющий депозитарной лицензии, не может хранить у себя бумаги клиентов. Бумаги в этом случае хранятся в независимом депозитарии. Независимый депозитарий, с одной стороны, снижает риски клиента, поскольку подвержен меньшим рискам, чем сам брокер, ибо как коммерческое предприятие, по определению, ведет менее рискованный бизнес, чем брокер, и в меньшей степени подвержен влиянию рыночной конъюнктуры. Кроме этого, независимый депозитарий полностью устраняет риск возможного произвола брокера в отношении ценных бумаг его клиентов. Таким образом, хранение бумаг «на стороне» позволяет клиенту чувствовать себя более защищенным относительно возможности банкротства брокера и несанкционированного использования клиентских бумаг. Однако, с другой стороны, в качестве платы за такую надежность инвестор будет нести более высокие накладные расходы по хранению и перерегистрации ценных бумаг.

Несколько слов необходимо сказать о *предоставлении возможности торговли на маржинальной основе*. Большинство брокеров предоставляет кредитные средства своим клиентам для проведения торговых операций. Это так называемая маржинальная торговля. Важным параметром здесь служит «плечо» или «рычаг», который предоставляет брокер. Использование плеча - вещь довольно рискованная. Можно значительно увеличить прибыльность своих операций, а можно и понести значительные убытки. Причем риск многократно возрастает при увеличении доли заемных средств. Поэтому следует избегать брокеров, которые декларируют возможность использования плеч больших чем, скажем, 1:2. Так как это значительно повышает риск потери средств для начинающего инвестора.

Следующим значимым критерием при выборе брокера является *информационная и аналитическая поддержка*, которую он оказывает своим клиентам. Любой уважающий себя брокер бесплатно предоставляет для клиентов ленту новостей какого-либо информационного агентства, а иногда и нескольких. Такие ленты, собранные в одном месте на сайте брокера, достаточно удобны. Информационные агентства делят новости на платные и бесплатные. Наибольшую ценность имеет именно платная информация, поступающая без задержек по времени. С аналитической поддержкой дело обстоит сложнее. Как правило, брокер содержит штат аналитиков, которые анализируют рынок и представляют свое видение развития рыночной ситуации, свои прогнозы и рекомендации. Здесь нужно обращать внимание, во-первых, на объем предлагаемых материалов, а во-вторых, на качество содержания.

Практически все брокеры предлагают своим клиентам несколько видов инвестиционных счетов в зависимости от капитала инвестора, его опыта игры на бирже и стратегий. Большинство брокеров предлагает открыть, так называемый демо-счет, который позволят совершать операции на реальных биржах, с реальными ценными бумагами и их котировками, только с виртуальными деньгами. Такая услуга позволяет начинающему инвестору почувствовать в реальности работу биржи и ее законы без денежных потерь. Так трейдер приобретает огромный опыт, который позволяет ему избежать многих ошибок в будущем при открытии реального счета.

Благодаря Интернет-технологиям приобретение ценных бумаг, признанное во всем мире наилучшим способом вложения свободного капитала, доступно сегодня всем желающим. Оперативно можно сформировать инвестиционный портфель, а затем управлять активами, получая без промедления всю необходимую информацию (котировки, анализ, прогнозы) в любой точке земного шара. Спрос на интерактивную торговлю акциями, опционами, фьючерсами растет с каждым днем. Все больше банков и брокерских компаний осваивают новое перспективное направление своей деятельности. Трейдинг в сети Интернет привлекает потенциального инвестора прежде всего внешней простотой совершения сделок и низкими тарифами на услуги онлайн-брокеров. При этом, инвестор может воспользоваться как полнофункциональным сервисом (full service brokerage), всецело полагаясь на квалифицированные консультации брокера, так и дисконтным сервисом (discount brokerage), когда вся ответственность за принятие торгового решения перекладывается на плечи инвестора.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Выбор брокера: немного здравого смысла». <http://finance.rambler.ru/articles/148641/>
2. «Интернет-трейдинг: виртуальный рынок ценных бумаг». <http://www.osp.ru/cw/2003/02/1127/> 3. Евгений Соломатин. «Интернет-трейдинг: тенденции, концепции, технологии». <http://www.osp.ru/cw/2000/04/2829/>

ОСОБЕННОСТИ ТОРГОВЫХ ПЛОЩАДОК И УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ РАБОТЫ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В связи со стремительным развитием информационных технологий, увеличением роли глобальной сети Интернет и комплексной автоматизацией отраслей экономики использование электронной коммерции для предприятий стало важно не только для сохранения, но и для расширения позиций на рынке. В сложившихся условиях категория электронного бизнеса B2B (business-to-business) является одной из наиболее перспективных. Уже в 2004 году доходы B2B электронной коммерции в мире достигали примерно 7 триллионов долларов. B2B электронная коммерция развивается в форме онлайн-овых B2B торговых площадок.

Онлайновая торговая площадка – это место, где заключаются сделки между продавцом и покупателем, и осуществляется проведение финансово-торговых транзакций. Она представляет собой сложноорганизованную систему со своей инфраструктурой, функционирование которой обеспечивает группа специалистов в данной предметной области, служба технической поддержки и другие сервисные службы. Работа на торговой площадке является, как правило, платной. На некоторых торговых площадках взимается комиссия в размере нескольких процентов или долей процента от проводимых транзакций, на других площадках доступ оплачивается фиксированной суммой, не зависящей от проводимых операций.

Технология функционирования B2B торговой площадки следующая: поставщики и покупатели регистрируются в системе, заключают договора с банками-участниками системы и получают электронные цифровые сертификаты для работы в системе. Поставщик выставляет товар в каталоги, покупатель выбирает товарные позиции, формирует заказ, через специальный модуль получает электронный счет, формирует платежное поручение. Затем исходящие платежи отправляются в банк поставщика, где тот уже через свой модуль видит поступление денежных средств, после чего отгружает покупателю оплаченный товар. Аналогичным способом, но в рамках одного банка, проводят между собой расчеты клиенты других банков, самостоятельно разработавших B2B-площадки.

Компании-участники B2B торговых площадок получают преимущества в виде снижения издержек и роста доходов – двух ключевых условий увеличения прибыли. Есть и множество других достоинств, которые немаловажны для бизнеса:

- *Минимизация издержек.* Новые технологии позволяют компаниям значительно сократить затраты на полный процесс сделки. Это связано с возможностью адекватной оценки складских запасов и повышения точности прогноза сбыта. Например: снижение затрат на закупку материалов составляет 5–10 %, на складские расходы – 25–50 %, а на административные расходы по закупкам до 70 %.
- *Возможность работать 24 часа в сутки.* Это самое большое преимущество онлайн – бизнеса, т.к. продажи осуществляются круглосуточно.
- *Возможность глобализации.* Интернет дает возможность выйти на глобальный уровень бизнеса с минимальными инвестиционными вложениями. Существует ряд торговых площадок, позволяющих за номинальную плату получать доступ к большой аудитории потенциальных клиентов со всех уголков света.
- *Новый канал сбыта.* Становясь участником B2B торговой площадки, предприятие получает низкозатратный, высокофункциональный и легкий в использовании канал сбыта для своей продукции или услуг. Появляется новая целевая аудитория, которая в иной ситуации не была бы задействована.
- *Качество выбора поставщиков.* Традиционная компания-покупатель часто бывает ограничена во времени и средствах, которые может затратить на изучение всех возможностей поставщиков, поэтому выбор не всегда бывает оптимальным. Автоматизация процесса поиска приемлемого варианта повышает эффективность выбора на 40–45 %.

Торговые площадки отличаются формой владения, функциональными возможностями, направленностью деятельности, выбором партнеров и преимуществами, предоставляемыми участникам. Поэтому с целью правильного выбора торговой площадки важно классифицировать их по различным признакам (рисунок 1).

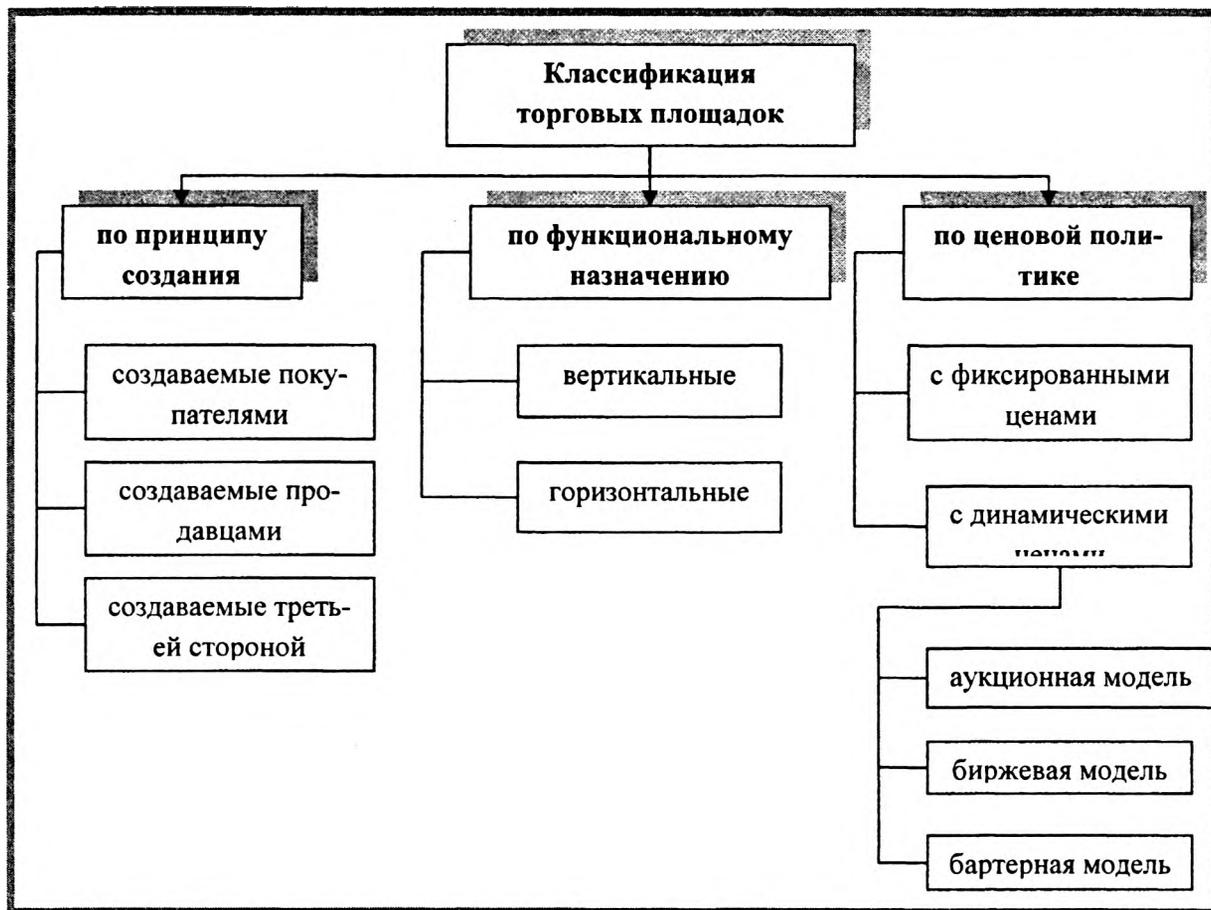


Рисунок 1 - Классификация B2B торговых площадок

В зависимости от принципа создания принято деление торговых площадок на три типа:

- создаваемые покупателями (buyer-driven);
- создаваемые продавцами (supplier-driven или seller-driven);
- создаваемые третьей стороной (third-party-driven).

Обычно возникновение тех или иных видов торговых площадок зависит от степени влияния покупателей и продавцов в данной области промышленности.

Площадки типа *buyer-driven* создаются одной или несколькими крупными компаниями для привлечения множества компаний-поставщиков с целью оптимизации процесса закупок, расширения торговых контактов и сети поставок.

Площадки типа *supplier-driven* создаются продавцами для увеличения числа клиентов и снижения затрат по сбыту продукции или предоставлению услуг.

Площадки типа *third-party-driven* призваны свести вместе покупателей и продавцов. Обычно такие площадки создаются теми, кто хорошо ориентируется в данном секторе бизнеса и происходящих в нем бизнес-процессах.

По функциональному назначению торговые площадки делятся на:

- вертикальные;
- горизонтальные.

Вертикальные торговые площадки обслуживают вертикальные рынки (машиностроение, металлопрокат, нефтепродукты). Они предоставляют специфическую для данной отрасли информацию и учитывают специфику взаимоотношений, сложившихся в ней.

Основной проблемой вертикальных узлов является затрудненность расширения бизнеса за счет выхода на другие рынки, т.к. они приспособлены именно к той рыночной нише, в которой

они создавались. Для эффективной работы вертикальные торговые площадки должны стремиться охватить как можно большее количество продавцов и покупателей данной отрасли бизнеса.

Горизонтальные торговые площадки сфокусированы на выполнение определенных функций или автоматизацию определенного процесса (логистика, страхование, проведение платежей, юридическое сопровождение сделок, транспортные услуги и т.п.) для различных отраслей. Их опыт обычно сосредоточен вокруг определенного бизнес - процесса, который является горизонтальным, т.е. легко трансформируемым на различные вертикальные рынки.

Главная проблема горизонтальных узлов - это существующий риск, что клиент уйдет на соответствующий вертикальный узел, поскольку он более специализирован в его отрасли, а горизонтальным узлом станет пользоваться только как вспомогательным. Для успешного функционирования горизонтального узла он должен иметь дело с бизнес-процессом, отличающимся высоким уровнем стандартизации (общими принципами и подходами для различных отраслей).

Исходя из ценовой политики, можно выделить торговые площадки:

- с фиксированными ценами;
- с динамическими ценами.

Площадка с фиксированными ценами характерна для систем, в которых продажи осуществляются по каталогам, и является точкой концентрации продавцов и покупателей, объектом которых являются относительно недорогие товары. Покупателю эта модель удобна тем, что можно ознакомиться с предложениями сразу нескольких поставщиков, выбрав оптимальное. Продавцу эта модель выгодна при наличии явных преимуществ перед конкурентами, в первую очередь ценовыми.

Площадка с динамическим ценообразованием может быть организована по аукционной, биржевой или бартерной модели.

Аукционная модель обеспечивает пространственное сведение продавцов и покупателей. Она хорошо работает в случаях, когда нестандартные, единственные в своем роде или скоропортящиеся товары или услуги продаются или покупаются компаниями, которые имеют различные подходы к определению стоимости товара.

Биржевая модель привлекательна для рынков, где спрос и цены нестабильны. Она позволяет участникам рынка управлять избытками или пиками спроса. Источниками дохода для бирж главным образом служат комиссии за транзакции и членские взносы участников. Эта модель является наилучшей для продукции, имеющей несколько легко стандартизируемых характеристик. В случае Интернет - биржи участники торгов получают прямые выгоды от увеличения общего количества продавцов и покупателей за счет появления у них более широкого выбора, возможности найти наилучший вариант, не затрачивая на его поиск значительных средств.

Бартерная модель позволяет свести две стороны, владеющие взаимно - привлекательными ресурсами. Хотя бартер традиционно использовался в инфляционной экономике, испытывающей нехватку в наличности, как инструмент минимизации финансовых рисков, существуют такие новые применения, как бартерный обмен производственными ресурсами, услугами и технологиями.

Несмотря на то, что участие в B2B торговой площадке имеет огромные преимущества, следует быть осторожным при ее выборе. Задача заключается в выборе правильной B2B торговой площадки, которая могла бы удовлетворить потребности, соответствующие конкретной цели участия. Многие существующие B2B площадки не всегда имеют все необходимые параметры и функции, поэтому хорошим решением является *создание собственной площадки*.

Первым этапом создания такой торговой площадки является разработка стратегии. Прорисованные на этой стадии, могут впоследствии дорого обойтись, ведь в зависимости от целей, которые преследует компания, происходит выбор реализуемых компонент и соответствующих технологий.

Чтобы создать эффективную B2B торговую площадку, необходимо интегрировать в нее следующие элементы:

- **Торговая площадка**, как Web- представительство,- это место, где компания-владелец будет выставлять на продажу свою продукцию. Таким образом, покупатели, ищущие определенные товары, с легкостью могут найти лучших поставщиков, им подходящих. Часто посещаемая площадка можно легко стать эффективным каналом сбыта. Выставленные на продажу товары будут напрямую соотноситься с функцией контроля складских запасов поставщиков.

- **Электронная витрина для участников** отражает сферу деятельности компании, ассортимент предлагаемых товаров и другую информацию, которой участники торговой площадки могут воспользоваться.
- **Электронный каталог** — список товаров и услуг, сформированный в иерархическом порядке. Все товары и услуги, включенные в сферу деятельности компании-владельца, должны быть объединены в каталог.
- **Каталог компаний** — это список всех зарегистрированных участников, сформированный либо по категориям, либо по алфавиту. Можно также внедрить поисковую систему, чтобы найти компанию на основе предоставленных данных.
- **Аукцион**, при помощи которого можно легко и быстро распродать имеющиеся складские остатки. Проведение аукционов — это прекрасный способ продаж товаров через Интернет.
- **Обратный аукцион** позволяет автоматизировать электронные закупки, когда поставщики делают ставки на заключение сделки в режиме реального времени.
- **Управление цепочками поставок** является ключевым решением площадки и способно значительно повысить эффективность существующих систем. Внедрение этого решения поможет достичь необычайно высокого уровня возврата вложенных в разработку средств. Автоматизация бизнес-процессов этого элемента площадки включает в себя возможность работы как продавцов, так и покупателей — установление цены сторонами, заявка, заказ на покупку.
- **Форум, или отдел дискуссий** — организованное интерактивное место для обмена посланиями, где участники могут вести дискуссии по ряду тем, помещая вопросы, комментарии и ответы.

B2B торговая площадка — мощная структура, включающая в себя значительную часть бизнес-процессов компании. Это больше похоже на деловую экосистему, которая может изменяться по желанию компании, управляя предприятием и принося серьезные прибыли своим владельцам. Но для успешной работы B2B-площадки, по мнению специалистов в области электронной коммерции, необходимо соблюдать ряд важных условий (таблица 1).

Таблица 1- Условия эффективной работы торговых площадок

Условие	Пояснения
1	2
Доступность для новых участников	Необходимо привлечь на виртуальную площадку как можно больше участников и обеспечить им доступ ко всей информации и услугам. Этому может в значительной мере способствовать создание простого интуитивного пользовательского интерфейса, продуманная навигация по сайту и несложный процесс регистрации новых пользователей.
Масштабируемая и надежная платформа	Появление в системе новых участников и добавление новых приложений не должны влиять на функционирование площадки в целом— технологическая платформа должна обладать достаточными возможностями масштабирования, так как расширение деятельности и увеличение количества участников прямо пропорционально росту доходов площадки.
Управление информацией	Успех B2B-площадки зависит от качества организации управления каталогами, от оперативности добавления новой и изменения старой информации, от удобства поиска в каталоге. Такое информационное наполнение, как отраслевые новости, консультации экспертов или детализированные товарные спецификации, может сделать ее более привлекательной для участников.
Возможности интеграции	Виртуальная торговая площадка должна поддерживать все виды электронной коммерции— от систем транзакций до поддержки сети поставок и делового сотрудничества между компаниями. Интеграция позволяет упростить документооборот и делопроизводство, увеличить прибыли участников. Очень важным аспектом интеграции является обеспечение взаимодействия бизнес-процессов на электронной бирже с ERP-системами участников. Характерной тенденцией последнего времени является стремление к интеграции B2B-площадок, что позволяет компаниям одновременно участвовать в деятельности нескольких онлайн-торговых площадок.
Обеспечение безопасности	Через торговую площадку проходят важные сведения, касающиеся платежных средств компании, другая информация, имеющая стратегическое значение. Следовательно, создателям B2B необходимо обеспечить безопасность проведения платежей и передачи ценной информации. Основной задачей для разработчиков в

Условие	Пояснения
1	2
	этом случае является создание механизма идентификации и поддержки различных форм кодирования.
Аналитика	B2B-площадка должна не только снабжать участников необходимой бизнес - информацией, но и проводить ее анализ. Помимо предоставления сервисов по мониторингу деловой активности на торговой площадке, следует составлять на их основе разного рода отчеты, позволяющие участникам яснее понять ситуацию, выявить новые тенденции на рынке и оперативно реагировать на возникновение спроса.
Дополнительные сервисы	В целях получения дополнительной прибыли и привлечения новых клиентов B2B-площадка может предлагать ряд дополнительных услуг: аукционы, различные финансовые услуги (например, депонирование или объединение платежей за месяц), услуги по логистике, страхованию и др.
Повышение качества обслуживания клиентов	Постоянное взаимодействие посредством B2B торговой площадки дает возможность лучше обслуживать клиентов. Можно проследить весь процесс заказа от платежа до доставки, что дает большую эффективность при обслуживании клиентов. Встроенные функции площадки, такие, как управление продажами, служба внутренних сообщений, управление торговыми предложениями и т.д., также способствуют эффективному управлению процессом обслуживания клиентов.
Управление бизнес-процессами	Одна из ключевых целей использования торговых площадок B2B должна выражаться в их способности обслуживать, управлять и регулировать различные бизнес-процессы. Эти решения помогают оптимизировать управление предприятием, уменьшить накладные расходы и снизить количество ошибок в документах

Электронная коммерция категории B2B развивается очень быстро. Компании в своем стремлении сократить расходы на проведение торговых операций все шире используют онлайн-технологии. B2B торговые площадки являются способом создания доступной инфраструктуры электронного бизнеса, создающей конкретные и ощутимые преимущества в бизнесе для участников. Развитие торговых Интернет - площадок в перспективе (и, судя по всему, очень недалекой) позволит обеспечить более эффективный и свободный поток информации, товаров, платежей и других B2B услуг.

ЛИТЕРАТУРА

1. "E-MARKETPLACE или виртуальные торговые площадки". - <http://www.proms.ru/book-emarketplaces.html/> 2. Я. Вахитов. «B2B-площадки». - <http://bankir.ru/analytics/it/3/3144/> 3. Ю. Варлакова. «Системы электронной коммерции». - <http://getinfo.spb.ru/article454.html/> 4. "Основы построения виртуальных торговых площадок" - http://www.e-commerce.ru/biz_tech/implementation/b2b/building_emarket_places.html#1/

УДК 339.137.2

Плясунов А.В., Криволапова В.В.

СУЩНОСТЬ ПОНЯТИЯ “КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ”

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Относительно понятия “конкурентоспособность предприятия” среди исследователей не существует единого мнения.

В общем виде конкурентоспособность предприятия может быть определена как ее сравнительное преимущество по отношению к другим предприятиям данной отрасли внутри страны и за ее пределами.

Начало создания теории сравнительных преимуществ относят к концу XVIII - началу XIX в., когда в трудах Д. Рикардо были изложены основные положения теории сравнительных издержек, в основе которой лежит идея о том, что в обмене преимущество получают те страны, которые производят продукцию с меньшими издержками. Благодаря этому они выигрывают на мировом

рынке, что и приводит к специализации стран на производстве товаров с относительно меньшими, чем у других стран, издержками.

Модификацию теории сравнительных издержек в теорию сравнительных преимуществ связывают с трудами шведского экономиста Э.Хекшера (1919г.) и его ученика Б. Олина (1935г.). Существо выводов, полученных ими, получивших название "теоремы Хекшера-Олина", сводится к следующему: страна экспортирует товары, в производстве которых наиболее эффективно использованы избыточные факторы производства, и импортирует товары с дефицитными факторами производства. Математическое описание этой теории принадлежит П.Самуэльсону и В.Столперу (40-е годы XXв.).

Дальнейшее развитие теории сравнительных преимуществ дано в трудах В.Леонтьева (70-е годы XX в.) [1, с.84]. Его выводы, получившие название "парадокса Леонтьева", были прямо противоположны выводам Хекшера-Олина. Леонтьев показал (на статистических материалах 1947 года), что несмотря на бытовавшее в то время мнение об избыточности в США капитала, в экспорте преобладали трудоемкие товары.

Новые тенденции в развитии мировой торговли в последние десятилетия потребовали пересмотра ряда ортодоксальных взглядов. Наиболее значительными в 90-е годы были исследования М. Портера, который разработал теорию конкурентного преимущества. М. Портер подробно анализирует различные подходы к объяснению причин конкурентоспособности отдельных фирм и национальной экономики страны, и он приходит к заключению, что конкурентное преимущество фирмы как на внутреннем, так и на мировом рынке, во многом зависит от факторов, сформировавшихся в стране базирования фирмы. Рассматривая такие факторы, как наличие рабочей силы, обилие природных ресурсов, протекционистская политика правительства по отношению к отечественным фирмам, различия в практике управления фирмами и др., М. Портер приходит к выводу, что ни один из этих факторов, взятый в отдельности, не позволяет достаточно убедительно ответить на вопрос, что же именно определяет успех или неуспех фирмы в конкуренции. Отвечая на этот вопрос, он исходит из основополагающего принципа — конкурентоспособность отражает продуктивность использования ресурсов. Принцип справедлив как на уровне отдельной фирмы, так и на уровне экономики страны в целом. Исходя из него, можно утверждать, что для обеспечения конкурентоспособности фирмы должны постоянно заботиться о наиболее полном и эффективном использовании имеющихся в их распоряжении, а также приобретаемых для будущего производства всех видов ресурсов [2, с.27]. Таким образом, М. Портер определяет конкурентоспособность предприятия на основе производительности: «Национальные компании должны постоянно повышать производительность в существующих отраслях посредством повышения качества продукции, придания ей новых потребительских свойств, совершенствования технологии изготовления продукции или же повышения эффективности производства» [3, с.168]. Плюсы и минусы данного определения следующие: оно описывает тенденции развития предприятий или способы достижения им конкурентоспособности, но не определяет содержания понятия «конкурентоспособность предприятия» [4, с. 26].

В.Д. Андрианов считает, что конкурентоспособность товаропроизводителя - один из уровней, на котором может рассматриваться конкурентоспособность как многоплановая экономическая категория. По его мнению, «...конкурентоспособность любого хозяйствующего субъекта складывается из целого ряда конкурентных преимуществ, которые выявляются ...путем сопоставления с соответствующими показателями ...конкурентов. К важнейшим конкурентным преимуществам следует отнести: рентабельность производства, характер инновационной деятельности, уровень производительности труда, эффективность стратегического планирования и управления фирмой, адаптивность и др.» [5, с.8]. Таким образом, В.Д. Андрианов предлагает оценивать конкурентоспособность фирмы по ряду ее организационно-экономических параметров. К достоинствам данного подхода следует отнести то, что в его рамках создана определенная структура количественных показателей, которыми, по мнению исследователя, можно охарактеризовать конкурентоспособность предприятия.

К недостаткам упомянутого подхода относится то обстоятельство, что на товарном рынке конкурируют не показатели производительности труда различных компаний, а их конкретная продукция. Если продукция предприятия не будет реализована, доказав этим самым свою конкурентоспособность, то все затраты на ее производство вне зависимости от их размера не будут возмещены и станут, таким образом, экономически бессмысленными.

В.Д. Андрианов приводит и другой подход к оценке конкурентоспособности предприятия, использованный американским инвестиционным банком «Morgan Stainly». В соответствии с этим

подходом одним из основных критериев при проведении исследования по оценке конкурентоспособности предприятия был удельный вес фирмы на мировом рынке определенного товара или услуг. По мнению Воронова А.А., такой подход более корректен и точен, поскольку показатель удельного веса продукции предприятия на определенном товарном рынке прямо связан с ее конкурентоспособностью, поэтому такой метод оценки позволяет с высоким уровнем точности определять состояние дел на рынке. Кроме того, понятие «конкурентоспособность фирмы» в данном случае в достаточной мере формализовано, т. е. поддается количественному исчислению. На схожем принципе основан предлагаемый Вороновым А.А. метод оценки конкурентоспособности предприятия (которая оценивается через совокупность выпускаемой им продукции).

Однако и у данного метода есть свои недостатки. Рассмотрение предприятия как совокупности выпускаемых им видов продукции в какой-то мере упрощено. Такой подход не учитывает других сфер функционирования предприятия, таких как управление персоналом, разнообразные инновации, НИОКР, производимые предприятием и т.д. Вместе с тем он позволяет дать с наибольшей точностью (по сравнению с другими подходами) представление о возможности предприятия конкурировать на рынке, т. е. о его конкурентоспособности [4, с 25].

Свое определение конкурентоспособности предприятий приводит О.В. Михайлов: "Предприятие мирового уровня становится гибкой системой экономической мобилизации ресурсов на лучшее обеспечение созидательных процессов ускоренного удовлетворения меняющихся потребностей" [6, с 517]. Данное определение довольно точно описывает современные тенденции развития предприятия. Однако к его недочетам, по мнению Воронова А.А., относится недостаточный уровень его формализации. Возникают вопросы о том, что считать гибкой системой, а что - нет, как оценить количественно, а значит, объективно лучшее обеспечение процессов созидания и т.д. В конечном итоге мы приходим к выводу, что в основе конкурентоспособности предприятия лежит в определяющей мере конкурентоспособность продукции, которая наиболее точно характеризует все области функционирования предприятия [4, с.25].

Иное мнение относительно конкурентоспособности предприятия приводит Г.В. Куликов, ссылаясь на П. Кругмана: «...Для каждой компании есть предельная черта, ниже которой компания не может дальше проводить свою деятельность. ...Поэтому, говоря о снижении конкурентоспособности компании, мы подразумеваем, что ее позиции на рынке пошатнулись, и если компания не улучшит свою продуктивность и эффективность, она прекращает свое существование» [7, с. 33]. Таким образом, в данном определении упор сделан на производительность без учета других факторов и особенностей деятельности предприятия. Кроме того, рассматриваемое определение не содержит указания на методы расчета предела, за которым предприятие перестает быть конкурентоспособным. Данное определение весьма абстрактно отражает содержание понятия «конкурентоспособность предприятия».

По мнению Воронова А.А., наибольшими достоинствами обладает метод оценки конкурентоспособности предприятия американского банка «Morgan Stainly», основанный на изучении и оценке конкурентоспособности совокупности продукции, выпускаемой предприятием. Этот метод в наибольшей мере по сравнению с другими отражает содержание понятия «конкурентоспособность предприятия» и с наибольшей точностью его оценивает. В соответствии с проведенным этим банком исследованием, из 238 крупнейших и наиболее конкурентоспособных на мировом рынке транснациональных компаний более половины (125) пришлось на американские фирмы. За ними со значительным отрывом следовали компании Великобритании (21), Японии (19), Германии (10). Ни одна российская компания в указанный список не вошла. Воронов считает, что это исследование позволило наиболее точно оценить конкурентоспособность компаний на мировом рынке, что не мешает использовать данный метод и при оценке на уровнях национального и регионального рынков [4, с.26].

Согласно Гайдаенко Т.А конкурентоспособность предприятия – это комплексное понятие, дающее относительную характеристику отличий процесса развития данного предприятия от предприятий-конкурентов как по степени удовлетворения своими товарами (услугами) конкретной потребности, так и по эффективности производственной деятельности [9, с. 164].

Следует отметить одно важное обстоятельство: конкурентоспособность не является имманентным качеством предприятия. Это означает, что конкурентоспособность предприятия может быть обнаружена (оценена) только в рамках группы предприятий, относящихся к одной отрасли, либо предприятий, выпускающих товары (услуги) - субституты. Конкурентоспособность можно выявить только сравнением между собой этих предприятий как в масштабе страны, так и в масштабе мирового рынка. Таким образом, конкурентоспособность предприятия - понятие относи-

тельное: одно и то же предприятие в рамках, например, региональной отраслевой группы может быть признано конкурентоспособным, а в рамках отраслей мирового рынка или его сегмента — нет [2, с. 27].

Таким образом, на основе анализа вышеизложенного материала под конкурентоспособностью предприятия предлагается понимать комплексное понятие, характеризующее способность предприятия быть лучше предприятий-конкурентов данной отрасли внутри страны и за её пределами как по степени удовлетворения своими товарами (услугами) конкретной потребности, так и по эффективности производственно-хозяйственной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонтьев В.В. Межотраслевая экономика. — М.: Экономика, 1997. — 479 с.
2. Головачёв А.С., Горбачевич С.Л. Конкурентоспособность страны, предприятия и товара: Научно-методическое пособие. — Мн.: Академия управления при Президенте РБ, 2001. — 113 с.
3. Конкуренция/ Майкл Портер. — М.: Изд. Дом “Вильямс”, 2000. — 495 с.
4. Конкурентоспособность предприятия в современных условиях хозяйствования/ А.А. Воронов. — Краснодар: КГУ, 2000. — 194 с.
5. Андрианов В.Д. Конкурентоспособность России в мировой экономике// Маркетинг. — 1999. — № 2. — с. 6.
6. Основы мировой конкурентоспособности/ О.В. Михайлов. — Москва, 1999. — 590 с.
7. Японский менеджмент и теория международной конкурентоспособности/ Г.В. Куликов. — Москва: Экономика, 2000. — 246 с.
8. Международная экономика: Пер. с англ./ Пол Р. Кругман, Морис Обстфельд. — 5-е. междунар. изд. — СПб.: Питер принт, 2004. — 831 с.
9. Гайдаенко Т.А. Маркетинговое управление. Полный курс МВА. Принципы управленческих решений и российская практика. — М.: Эксмо, 2005. — 480 с.

УДК 631.3.002:339.138

Торская И.В.

ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОЙ СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ УСИЛЕНИЕ КОНКУРЕНТНОЙ ПОЗИЦИИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Обострение конкурентной борьбы как на внутреннем, так и на внешних рынках, изменчивость рыночной конъюнктуры, возрастающие риски функционирования в силу удорожания производственных ресурсов — все это требует от современного промышленного предприятия стратегического мышления и использования наиболее эффективных методов обоснования и реализации стратегических планов. Накопленный в сфере стратегического менеджмента опыт доказывает, что успешно функционируют на рынке именно те предприятия, которые в полной мере используют разнообразный инструментарий стратегического анализа и стратегического позиционирования. К сожалению, не все отечественные предприятия в полной мере овладели этими приемами и навыками, особенно в сфере комплексного обоснования наиболее эффективной рыночной стратегии.

Предлагаемый подход, апробированный на ряде промышленных предприятий (ИУПП «Белкэпс», ПРУП «МЗОР», СП «Беккер-систем») помогает на основе набора определенных методик вначале оценить сегодняшнее состояние предприятия, а затем определить возможности для перехода его в долгосрочной перспективе к наиболее успешному и устойчивому состоянию.

На первом этапе анализа предлагается осуществлять построение конкурентной карты рынка с целью выявления конкурентной роли предприятия (лидер, фирма с сильной позицией, со слабой позицией, аутсайдер рынка) и тенденций изменения положения предприятия на рынке (ухудшающаяся либо улучшающаяся конкурентная позиция с оценкой масштаба этого изменения). В основе построения конкурентной карты рынка лежат такие показатели, как доля предприятия на рынке и темп ее изменения.

В табл. 1 представлен результат построения конкурентной карты, определяющей конкурентную позицию на рынке Российской Федерации (РФ) ИУПП «Белкэпс», работающего в свободной экономической зоне «Гомель-Ратон» и преимущественно реализующего свою продукцию на данном рынке.

Таблица 1 – Конкурентная карта рынка РФ по специальным видам укупорочных продуктов

Темп изменения рыночной доли	Классификационные группы			
	Лидер рынка	Фирмы с сильной конкурентной позицией	Фирмы со слабой конкурентной позицией	Аутсайдеры рынка
	Рыночная доля, %			
	36,2	36,1 – 26,7	26,6-17,2	17,1-7,7
Фирмы с быстро улучшающейся конкурентной позицией		Белкэпс (РБ)		Меркурий
Фирмы с улучшающейся конкурентной позицией				
Фирмы с ухудшающейся конкурентной позицией				
Фирмы с быстро ухудшающейся конкурентной позицией	Омега (РФ)			Сигма Виктория

При этом с точки зрения обеспечения качества оценки стратегической конкурентной позиции предприятия, в качестве критерия оценки доли целесообразнее использовать не объем продаж (что является традиционным подходом), а сумму создаваемой предприятием добавленной стоимости. Ведь уменьшение в определенный период времени объемов продаж далеко не всегда свидетельствует об ослаблении позиции предприятия, так как в данный период времени оно может заниматься реконструкцией, техническим перевооружением, освоением выпуска новой продукции. Растущая же сумма создаваемой добавленной стоимости (в сравнении с конкурентами) может свидетельствовать о следующих достижениях, предприятия, обеспечивающих поддержание и даже укрепление его конкурентной позиции на рынке в долгосрочной перспективе:

- повышение качества и наращивание трудового потенциала, что может следовать из увеличения фонда оплаты труда;
- повышение качества и наращивание научно-производственного потенциала, что может следовать из увеличения суммы амортизации основных средства и нематериальных активов;
- наращивание финансового потенциала, что может следовать из увеличения суммы полученной прибыли.

К сожалению, информация о создаваемой добавленной стоимости не всегда доступна всем участникам рынка, однако на уровне анализа, проводимого министерствами и ведомствами, такой подход является наиболее объективным.

На втором этапе диагностика состояния предприятия продолжается на основе не традиционного SWOT-анализа, а с применением SWOT/TOWS -анализа [1], позволяющего систематизировать проблемные ситуации, а также лучше осознать структуру именно тех ресурсов, на которые следует опираться в совершенствовании деятельности и развитии предприятия. Методика анализа включает специальные процедуры аналитической работы: определение перечня шансов (возможностей), опасностей (угроз), сильных и слабых сторон предприятия, параллельное исследование связей между сильными и слабыми сторонами, а также между шансами и опасностями и, наконец, интерпретация полученных результатов с учетом количества выявленных взаимодействий этих факторов.

При анализе TOWS («снаружи вовнутрь») пользуются следующей группой вопросов: «Ослабляют ли данные опасности имеющиеся сильные стороны? Усилят ли данные шансы определенные сильные стороны? Усилят ли данные опасности имеющиеся слабые стороны? Позволят ли данные шансы преодолеть существующие слабые стороны?», а при анализе SWOT («изнутри наружу») группа вопросов такова: «Позволят ли сильные стороны использовать шансы, которые могут появиться? Будут ли слабые стороны препятствием для использования возможных шансов? Позволят ли сильные стороны преодолеть опасности, которые могут появиться? Будут ли слабые стороны содействовать усилению воздействия потенциальных опасностей?».

Полученные результаты заносятся в сводную таблицу, в которой комбинация факторов, сумма произведений для которых является максимальной, показывает, какую из четырех предлагаемых в этом методе нормативных стратегий должно выбрать предприятие.

В ходе проведенного анализа для РУП «МЗОР, к которому были привлечены и ведущие специалисты данного предприятия, было выявлено, что основными сильными сторонами, на которых должно строиться стратегическое преимущество, являются:

- возможность предприятия обеспечить высокое качество продукции;
- наличие собственной технической и конструкторско-технологической базы;
- умеренный уровень цен на продукцию предприятия.

Инвестирование в эти области может позволить эффективным образом использовать самые существенные (с точки зрения будущего развития отраслевого рынка) шансы, а именно:

- появление новых технологий;
- широкий, растущий рынок станкостроительной продукции.

Но в случае появления таких угроз со стороны внешнего рынка, как усиление конкуренции среди производителей станочного оборудования и появление новых конкурентов, выявленные сильные стороны предприятия потеряют свое значение как основа создания стратегического преимущества.

В среднесрочной перспективе предприятие должно защищать повышение степени диверсификации производства и наличие собственной технической и конструкторско-технологической базы, которые, как показывает анализ, являются существенно сильными сторонами, относительно слабо ощущаемыми имеющиеся опасности. Поэтому их следует считать основанием и долгосрочной стратегией.

Основными опасностями, способными усилить существующие слабости предприятия, являются:

- появление на внешнем рынке новых клиентов;
- возможность обострения политических и экономических отношений с государствами, являющимися основными рынками сбыта станочной продукции предприятия.

При двустороннем анализе шансов и слабых сторон предприятия было установлено, что основными слабостями предприятия, в наибольшей степени препятствующими использованию потенциальных шансов и усилению степени воздействия угроз со стороны внешнего рынка, являются:

- высокий износ станочного парка;
- недостаток финансовых ресурсов и собственных оборотных средств.

Оценив все шансы и угрозы, сильные и слабые стороны, с учетом выявленного числа взаимодействий анализируемых факторов, становится возможным выбрать одну из четырех нормативных стратегий, которая в наибольшей степени отвечает целям и задачам предприятия. Результат проведенного SWOT/TOWS анализа представлен в табл.2.

Таблица 2 – Матрица выбора нормативных стратегий деятельности для ПРУП «МЗОР»

Окружение	Шансы	Опасности
Силы	Агрессивная стратегия Число взаимодействий - 60	Консервативная стратегия Число взаимодействий - 58
Слабости	<u>Конкурентная стратегия</u> Число взаимодействий - 68	Оборонная стратегия Число взаимодействий - 52

Выбранная конкурентная стратегия заключается в исключении слабых сторон функционирования предприятия и в создании его конкурентной силы посредством максимального использования существующих шансов, способствующих развитию. К деятельности, отвечающей такой стратегии, можно отнести наращивание финансового потенциала, повышение производительности, снижение затрат, инвестирование в сохранение существующего конкурентного преимущества или создание нового, необходимого для того, чтобы сравняться с основным конкурентом.

С целью уточнения имеющихся стратегических инициатив целесообразно на третьем этапе применение такого инструмента, как SPACE-анализ [2]. В методе SPACE (Strategic Position and Action Evaluation — оценка стратегического положения и действий) выделяют четыре группы критериев оценки предприятия:

- 1) финансовый потенциал предприятия;
- 2) конкурентные преимущества предприятия;

- 3) привлекательность отрасли, где действует данное предприятие;
- 4) стабильность отрасли, в которой функционирует данное предприятие.

При этом:

- сочетание наивысших баллов в комбинации «финансовый потенциал предприятия - привлекательность отрасли, в которой оно работает», порождает выбор агрессивной стратегии;
- сочетание наивысших баллов в комбинации «привлекательность отрасли, в которой работает предприятие - стабильность отрасли» порождает выбор конкурентной стратегии;
- сочетание наивысших баллов в комбинации «конкурентные преимущества предприятия - финансовый потенциал предприятия» порождает выбор консервативной стратегии;
- сочетание наивысших баллов в комбинации «привлекательность отрасли, в которой работает предприятие - стабильность отрасли» порождает выбор оборонительной стратегии.

При формулировании критериев оценки необходимо принимать во внимание специфику конкретного предприятия, стоящие перед ним задачи, имеющиеся у него производственные возможности и умения, а также принятую им систему ценностей.

Перечень основных факторов, учитывающих специфику ПРУП «МЗОР» и результаты их взвешенной экспертной оценки приведены в табл. 3. При этом использовалась шкала оценки от 1 до 6 баллов, а в экспертизе, результаты которой оценивались с точки зрения согласованности мнений экспертов на основе коэффициента конкордации, принимали участие 8 ведущих специалистов предприятия.

Таблица 3 – Структура и оценка показателей, определяющих вариант стратегического развития в SPACE -матрице для ПРУП «МЗОР»

Факторы стабильности отрасли (балл 2,59)	Факторы привлекательности отрасли (балл 3,27)
<ul style="list-style-type: none"> • Степень инновационности отрасли • Темпы инфляции • Изменчивость спроса • Диапазон цен конкурирующих продуктов • Препятствия для выхода на рынок • Давление конкурентов • Степень зависимости отрасли от конъюнктуры 	<ul style="list-style-type: none"> • Потенциал роста • Потенциал прибыли • Финансовая стабильность • Уровень технологии • Степень использования ресурсов • Степень применения изделий данной отрасли в других отраслях • Легкость выхода на рынок
Факторы конкурентных преимуществ (балл 2,65)	Факторы финансового потенциала (балл 2,49)
<ul style="list-style-type: none"> • Доля предприятия на рынке • Качество (надежность) продукции • Ассортимент продукции • Рекламная политика • Связи с потребителями • Возможность активного воздействия на уровень цен и затрат • Рентабельность продаж 	<ul style="list-style-type: none"> • Производственные затраты • Финансовая зависимость • Финансовая ликвидность • Отношение необходимого капитала к имеющемуся • Поток денежных средств • Стабильность получения прибыли • Риск производственной деятельности

Сочетание факторов подтверждает выбор конкурентной стратегии, которая осуществляется в привлекательной отрасли, где предприятие способно реализовать свои конкурентные преимущества в нестабильной обстановке. При этом критическим фактором является финансовый потенциал. В условиях данной стратегии предприятию необходимо парировать угрозы, связанные с потерей финансирования. Основные механизмы действий - это поиск финансовых ресурсов и развитие сбытовых сетей. Стратегический вектор SPACE-матрицы указывает также более конкретный сценарий действий - использование концентрической диверсификации. В рамках данной стратегии ПРУП «МЗОР» рекомендуется искать и использовать дополнительные возможности производства новой продукции, которая соответствовала бы существующим возможностям пред-

приятия, даже если оно сегодня еще не ориентировано на другие группы потребителей. В этом случае существующее производство останется основным в деятельности анализируемого предприятия, а новое возникнет исходя из его возможностей (технологических, маркетинговых и других.). Цель данной стратегии – добиться эффекта синергии и расширить потенциальный рынок предприятия, снизить риски производственно-сбытовой деятельности.

Эффективным инструментом обоснования стратегии предприятия, входящим в группу моделей стратегического позиционирования, является также матрица МакКинзи. Ее определенные модификации [3] позволяют обосновать направление развития как всего предприятия, так и отдельных входящих в товарный портфель номенклатурных позиций. Для этого необходимо оценить привлекательность и конкурентоспособность товарного портфеля (либо его составных частей) и воспользоваться разработанными рекомендациями. При этом оценка каждого из параметров позиционирования осуществляется не менее чем по 9 критериям.

Проиллюстрируем возможности матрицы МакКинзи на примере СП «Беккер-систем». Результат анализа параметров позиционирования представлен в табл. 4.

Таблица 4 – Обоснование стратегий по номенклатурным позициям СП «Беккер-систем»

Параметры позиционирования		Конкурентоспособность товарного портфеля (его отдельной позиции)		
		Высокая	Средняя	Низкая
Привлекательность товарного портфеля (его отдельной позиции)	Высокая	Стратегия захвата позиций	Стратегия развития (позиции 1 и 2)	Стратегия усиления конкурентных позиций
	Средняя	Стратегия выборочного роста	Стратегия выборочного развития (позиция 3)	Стратегия сбора урожая (позиция 4)
	Низкая	Стратегия получения максимальной выгоды	Стратегия сбора урожая	Стратегия элиминации

Из анализа табл. 4 можно сделать вывод о том, что оптимальной стратегией для позиции 1 (окна из ПВХ) и позиции 2 (окна из дерева) является стратегия развития, предполагающая инвестиции в расширение производства, стремление к лидерству на рынке, укрепление наиболее уязвимых мест. Для позиции 3 (профиль из ПВХ) оптимальной стратегией является стратегия выборочного развития, которая предполагает поиск путей для поддержания конкурентных преимуществ и концентрацию инвестиций на данном направлении, характеризуемом высокой доходностью и относительно низкой степенью риска. Для позиции 4 (окна из алюминия) рекомендуемой стратегией является стратегия сбора урожая, которая предполагает минимальные инвестиции, поиск возможностей расширения с низкой степенью риска, а если они отсутствуют, то ограничение объема выпуска и отказ от производства.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Облой К. Стратегия успешной компании.- М.: Из-во деловой и учебной литературы, 2005. – 472 с.
2. Маркетинг: Учебное пособие /Под ред. А. М. Немчина, Д.В. Минаева. – СПб.: Издательский дом «Бизнес-пресса», 2001.- 512с.
3. Мак-Дональд М. Стратегическое планирование маркетинга.- Спб.: Москва-Харьков-Минск, 2000.- 266 с.

УДК 681.3.01:339.138

Повжик М.И., Торская И.В.

РОЛЬ БРЕНДИНГА В РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Общепризнанно, что бренд способен оказать существенное влияние как на текущее состояние организации, так и на перспективы ее развития в будущем. При этом важно понимать основной смысл понятия «бренд». В первую очередь, бренд – марка, обладающая устой-

чивыми положительными ассоциациями у большей части целевого рынка, обеспечивающая компании дополнительную прибыль. Часто не отделяют понятия «бренд» и «торговая марка», считая эти термины синонимами. Однако они отличаются друг от друга. Можно выделить 4 основных отличия:

- Брендированный товар способен завоевать большую долю рынка, чем аналогичный товар, продвигаемый под торговой маркой, которая не является брендом. Это является предпосылкой реализации стратегических целей организации по укреплению ее позиций на рынке.
- Спрос на продукцию, продвигаемую под ведущими брендами, растет более высокими темпами, чем спрос на товары, продвигаемые под торговыми марками, не являющимися брендами. Тем самым повышается конкурентоспособность организации и обеспечивается возможность реализации ею стратегий роста.
- Брендированный товар в рамках своего сегмента можно позиционировать в более высоких ценовых диапазонах, чем аналогичный товар, продвигаемый под обычной торговой маркой, не являющейся брендом. Это усиливает внешнее конкурентное преимущество организации, улучшая ее финансовое состояние.
- У брендов существенно большая часть (от 25 до 50%) потребителей являются абсолютно лояльными марке, т.е. готовыми скорее отказаться от покупки или отложить ее, чем пойти на замену брендированного товара. В свою очередь у "обычных" торговых марок уровень абсолютной лояльности не превышает 10-15%. Это обеспечивает, как минимум, устойчивость рыночной доли организации и ее конкурентной позиции.

Таким образом, брендом можно назвать далеко не каждую торговую марку, а только ту, которая способна создать нечто важное и ценное для своих потребителей, выразить это в атрибутах и коммуникациях, добиться желаемого распознавания и долговременного покупательского предпочтения, т.е. лояльности.

В зависимости от адресата, бренд выполняет различные функции. Для клиентов бренд выполняет следующие три основные функции: коммуникативную, минимизации рисков покупки и самоидентификации.

Для производителей бренд выполняет следующие пять основных функций: возможности продавать товар по более высокой цене; стимулирования лояльности потребителей; минимизации рисков продажи; увеличения марочного капитала; сокращения рекламно-маркетинговых издержек.

Можно выделить следующие базовые подходы в исследовании феномена бренда: экономико-маркетинговый (бизнес-ориентированный), исторический и социокультурный. Бизнес-ориентированный подход является доминирующим направлением и реализуется в рамках теории брендинга. Эта теория изучает принципы управления брендом как инструментом увеличения добавленной стоимости и роста нематериальных активов компании [1].

Нематериальные активы принимают разнообразные формы, и все же главной из них во многих отраслях является капитал, формируемый брендами компаний. «Брендовый» капитал – это чистая приведенная стоимость будущих денежных потоков, генерируемая брендом компании, своеобразный излишек над ценностью. «Брендовый» капитал возникает из уверенности в ценности торговой марки. Покупка компании с брендом означает приобретение положения в умах потенциальных потребителей. Осведомленность о бренде, имидж, доверие и репутация гарантируют будущий доход, оправдывающий значительные средства. В течение многих десятилетий стоимости компании определялись сначала с точки зрения принадлежности ей земли, зданий, а затем по ее материальным активам. Однако затем появилась концепция стоимости, лежащая в умах потребителей. На волне слияний и поглощений рыночные сделки подняли цены выше ожидаемого уровня. Таким образом, ценность бренда заключается в его способности создавать денежные потоки. Бренд способен приносить большие доходы бизнесу компании и влиять на его капитализацию.

Очевидно, что грамотное управление нематериальными активами, в том числе формирование и поддержание брендов, способно существенно повлиять на рыночную капитализацию компании. Отсюда - необходимость уделять управлению нематериальными активами существенно большее внимание, чем это было принято ранее.

Величину нематериальных активов, которую принято называть марочным капиталом (brand equity), определяют следующие характеристики: осведомленность потребителей о

бренде; восприятие потребителями качества и репутации; ассоциации бренда; лояльность потребителей бренду; прочие запатентованные ценности бренда (товарные знаки, патенты, ноу-хау). В табл. 1. представлены данные, отражающие роль марочного капитала в различных отраслях.

Таблица 1 – Структура активов предприятий различных отраслей [2, 298]

Отрасли	Материальные активы, %	Нематериальные активы, %	
		торговые марки, %	другие, %
Тяжелая промышленность	70	5	25
Фармацевтика	40	10	50
Розничная торговля	70	15	15
Информационные технологии	30	20	50
Автомобилестроение	50	30	20
Продукты и напитки	40	55	5
Предметы роскоши	25	70	5

Важным этапом в процессе брендинга является оценка бренда. Оценка осуществляется с целью:

- обнаружения негативных и позитивных возможностей последствия принимаемых стратегических решений;
- обоснования эффективности текущих расходов с точки зрения как краткосрочных, так и долгосрочных результатов;
- принятия правильных решений при планировании и распределении бюджета;
- оценки собственного вклада специалистов маркетинга в успехи компании;
- разработки уникальных для каждой компании программ увеличения стоимости бренда;
- определения рыночной стоимости бизнеса.

Оценка стоимости бренда – это обычно сочетание прямых и непрямых оценок.

Прямые оценки делаются на основе денег, потраченных на коммуникационные вложения в развитие бренда.

Один из прямых методов - метод суммарных издержек. Он состоит в подсчете всех издержек по созданию и продвижению бренда: расходов на исследования и разработку, художественное решение и упаковку, юридическую регистрацию и защиту, вложений в рекламу, продвижение и связи с общественностью. Метод хорош тем, что доступен каждому производителю - свои собственные издержки может посчитать каждый. Метод плох тем, что эта оценка является сугубо внутренним делом компании.

Другим более интересным, но не столь часто используемым методом прямого измерения является оценка известности. Используются уравнения, которые позволяют переводить рекламный бюджет в известность, известность в пробы, а пробы – в результирующий объем потребления. Оценочный механизм использует такой же путь рассуждений, но только в обратном направлении.

Непрямые методы оценки основаны на том, что может бренд добавить к стоимости небрендируемого товара из той же категории.

Метод избыточных накоплений пытается определить, насколько возрастает доход от того, что его приносит определенный бренд. Сначала определяется поток денег, которые обеспечивает обычный товар в течение 10 лет (стандартный жизненный цикл товара), после чего проводится анализ. Этот анализ заключается в том, что для каждого года рассчитывается поток денег из расчета рисков инвестиций в бренд. Сумма этих потоков для каждого года, приплюсованная к остаточной стоимости бренда на сегодняшний день дают оценку стоимости бренда за весь промежуток времени.

Метод «освобождение от отчислений» основан на предположении, что, если компания не использует сама свой бренд, она может отдать его в пользование другим фирмам за определенную сумму (роялти). Эти отчисления обычно рассчитываются на основе объема продаж. С помощью

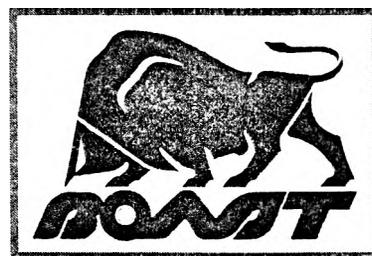


Рис. 1 – Торговая марка РУП «МЗКТ»

этого метода рассчитывается сумма таких отчислений за год, которая потом пролонгируется на предполагаемый период жизни бренда.

Самый популярный метод носит название "дополнительный доход". "Предполагается, что брендированный товар можно продать дороже, чем небрендированный. Разница в цене умножается на прогнозируемые объемы продаж (в натуральном выражении) под брендом за время жизненного цикла товара. Полученная цифра и будет составлять стоимость бренда. Главный недостаток данного метода - сложность нахождения небрендированного аналога, а также вариации цен в разных регионах, сезонные изменения и т. п.



Рис. 2 – Торговая марка ОАО «МПЗ»

К "методу поступлений" чаще всего прибегают для подтверждения суммы, полученной первыми методами. Прежде всего, определяют, за какую часть дохода компании ответственны материальные, а за какую - нематериальные активы. Затем оценивается та часть "нематериального дохода", за которую ответственен именно бренд. Эту величину в свою очередь умножают на отношение рыночной цены акции компании к "чистой" прибыли в расчете на одну акцию, а результат, по мнению аналитиков, должен с высокой точностью соответствовать рыночной цене бренда. Недостаток метода заключается в крайней сложности вычисления той доли дохода компании, которая обеспечивается нематериальными активами, и той части этих активов, которая приходится на бренд [3].

Особый интерес представляет метод оценки компании Interbrand. В 2007 году по расчетам Interbrand лидирующими брендами стали: Coca-Cola (65 млрд.дол), Microsoft (59 млрд.дол.), IBM (57 млрд.дол.), General Electric (52 млрд.дол), Nokia (34 млрд.дол), Toyota (33 млрд.дол), Intel (30 млрд.дол), McDonald's (29 млрд.дол), Disney (29 млрд.дол), Daimler AG (Mercedes-Benz) (24 млрд.дол) [4].

Рассмотрим методику оценки стоимости марочного капитала, разработанную в этой международной консалтинговой компании. В основе оценки рыночной стоимости брендов, согласно методике Interbrand Group, применяются следующие параметры:

- вес бренда, под которым понимается влияние на конкурентов или доминирование над ними на рынке;
- длина бренда - успешное расширение за пределы первоначальной товарной категории;
- ширина бренда - количество охваченных региональных рынков, процент потребителей бренда среди всех потребителей товарной категории;
- глубина бренда - степень лояльности потребителей данному бренду.

Главное ноу-хау компании Interbrand – предложенная ею формула для вычисления некоторой величины (бренд-мультипликатора), которая, будучи умножена на усредненную по трем последним годам прибыль фирмы, и дает цену ее бренда.

Мультипликатор отражает силу бренда и зависит от:

- рыночной доли
- устойчивости объемов продаж
- продолжительности деловой и рекламной активности
- стабильности продуктовой категории
- правовой поддержки.

Метод Interbrand состоит из 3-х последовательных этапов:

1. прогнозирование денежного потока; выделение в денежном потоке, созданном нематериальными активами, доли, созданной именно брендом;
2. анализ бренд-риска, позволяющего определить норму, по которой прогнозируемый доход дисконтируется к его чистой текущей стоимости;
3. собственно расчет стоимости бренда как произведения бренд-мультипликатора на добавленную стоимость бренда.

Главным достоинством методики компании Interbrand является то, что она предлагает финансовую оценку стоимости бренда. Interbrand сумела выразить абстрактную силу бренда в денежной форме, за что ее оценки, впервые опубликованные в 1989 году, были признаны и приняты менеджерами многих компаний.

В Республике Беларусь в последнее время также уделяется большое внимание брендингу. В результате проведения конкурса «Бренд года» ежегодно составляются рейтинги наиболее силь-

ных брендов. При этом технологии брендинга наиболее распространены в маркетинге товаров потребительского назначения. Последние годы ознаменовались укреплением позиций национальных марок, которые конкурируют с зарубежными брендами: Савушкин продукт, Санта-Бремор, Гоша, Слодыч, Серж, Conte и др.

И хотя отличительной особенностью брендинга в Беларуси является широкое брендование товаров народного потребления, тем не менее, возрастает интерес к деятельности по созданию эффективных брендов товаров машиностроительной отрасли, что призвано обеспечить повышение их конкурентоспособности как на зарубежных, так и на отечественных рынках.

В качестве примера белорусских брендов отрасли машиностроения можно привести корпоративные персонажи РУП «МЗКТ» и ОАО «МПЗ».

На РУП «МЗКТ» торговая марка, представленная на рис. 1, была зарегистрирована 4 августа 1998 года.

Под товарным знаком МЗКТ могут производиться товары и/или оказываться услуги (автомобили, прицепы и полуприцепы, печатная продукция), осуществляться реклама, проводиться научно-исследовательские и конструкторские разработки.

Содержание работ по укреплению бренда на предприятии включает:

- осуществление рекламных акций;
- регулярное участие в тендерах;
- активное участие в различных выставках;
- повышение качества выпускаемой продукции.

На торговой марке ОАО «МПЗ», представленной на рис. 2., изображён подшипник, внутри которого находится белочка, символизируя быструю и качественную работу сотрудников завода, которые «крутятся, как белки в колесе».

Движущей силой высокотехнологичного брендинга является информация, а не продвижение, его успех заключается в эффективности информационной системы, которая поддерживает и укрепляет опыт пользователей высокотехнологичной продукции. На первый взгляд, слова "брендинг" и "высокие технологии" кажутся несовместимыми, так как большинство традиционных методов продвижения бренда не подходят для работы с высокотехнологичными товарами. Тем не менее, высокая скорость смены высокотехнологичных товаров, сложность самого товара, а также неуверенность потребителя в преимуществах одного подобного товара перед другим делают концепцию брендинга особенно привлекательной. Для технологически сложных товаров одним из основных факторов, влияющих на принятие решения о покупке того или иного продукта, является тот риск, который берет на себя потребитель, так как в момент приобретения товара он должен полагаться только на слова поставщика, поскольку сам не в состоянии оценить преимущества и недостатки предлагаемого товара.

В нашей стране также актуальна также задача правильной оценки стоимости бренда при постановке его на бухгалтерский учет в составе нематериальных активов. Существует несколько методик подсчета стоимости бренда, однако выбрать одну универсальную весьма сложно. Недостаток опыта в этом плане не позволяет предприятиям в полной мере воспользоваться теми преимуществами, которые вытекают из постановки на бухгалтерский учет этого особого вида нематериальных активов по его рыночной стоимости, что призвано содействовать росту создаваемой хозяйствующим субъектом добавленной стоимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бекетов Н.В. Брендинг: к социокультурному анализу понятия // Маркетинг в России и за рубежом. - №5. -2007. 2. Дойль П. Маркетинг, ориентированный на стоимость: Маркетинговые стратегии для обеспечения роста компании и увеличения ее акционерной стоимости / Пер. с англ.; Под ред. Ю.Н. Каптуревского. СПб.: Питер. 2001 – 479 с. 3. Goodchild John, Callow Clive Brands: Visions & Values: John Wiley & Sons – 2001. - 289 с. 4. Interbrand World's Most Valuable Brand's 2007 Methodology. – Interbrand [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.interbrand.com, свободный. – Загл. с экрана.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАТРИЦЫ МАРКЕТИНГОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Исследования проблемы эффективности маркетинговых коммуникаций, проводимые отечественными и зарубежными специалистами, показали, что основной причиной снижения эффективности маркетинговых коммуникаций является несогласованность и порой противоречивость сообщений, передаваемых субъектами маркетинговой системы. Возникновение данной ситуации, в свою очередь, вызвано отсутствием согласованности между внутренними и внешними коммуникациями компании, а также внутри комплекса средств маркетинговых коммуникаций. Для повышения эффективности маркетинговых коммуникаций, представляется необходимым применять интегрированный подход к их планированию и осуществлению. Основой данного подхода является обеспечение согласованности действий всех средств маркетинговых коммуникаций в рамках единой стратегии для достижения поставленных маркетинговых и корпоративных целей. Применение интегрированного подхода к планированию маркетинговых коммуникаций позволяет достигать высокого уровня удовлетворения покупателей, создавать существенные преимущества для компании перед конкурентами, способствуя увеличению объемов продаж и росту прибыли при условии, что все источники коммуникаций компании с рынком передают согласованные сообщения. Этому аспекту придавал большое значение Т. Левитт, который сделал в своих работах вывод о том, что несогласованность сообщений, передаваемых компаниями в различных средствах маркетинговых коммуникаций, а также создаваемых разными функциональными подразделениями компании, снижает эффективность маркетинговых коммуникаций и оказывает негативное влияние на конкурентоспособность компании на рынке.

Современное состояние промышленности характеризуется сокращением рентабельности продукции. В связи с этим, основные усилия направляются на решение двух ключевых задач экономики и управления хозяйством: сокращение издержек и обеспечение развития предприятий. Для успешного решения этих задач необходимо смоделировать эффективную комплексную матрицу маркетинговых коммуникаций, в рамках которой будут определены наиболее результативные каналы коммуникаций, носители отраслевой информации и их оптимальное соотношение. В связи с этим наибольшую актуальность имеет разработка и внедрение в белорусскую промышленность передовых методик управления технологическими и организационными процессами предприятий.

С этой целью весьма актуальны исследования и разработки в области создания систем управления комплексом маркетинговых коммуникаций как системы управления взаимодействием промышленного предприятия с потребительским сегментом. При этом под маркетинговыми коммуникациями понимается интегрированное взаимодействие с потребительским сегментом отдельных механизмов маркетинга с целью формирования этого сегмента для достижения максимальной экономической эффективности.

При реализации задач управления будем рассматривать маркетинговые коммуникации в виде матрицы маркетинговых коммуникаций: $X = \left\| x_{i,j} \right\|_{(n \times m)}$

Количество векторов \bar{x}_i ($i = \overline{1, k}$) матрицы определяется используемыми при управлении технологиями маркетинга. Индекс j ($j = \overline{1, m}$) определяет размерность векторов \bar{x}_i . Причем $m = \max m_j$ ($i \in \overline{1, n}$); где m_j – размерность каждого из векторов \bar{x}_i .

В соответствии с характерными особенностями маркетинговых технологий каждый элемент матрицы X можно определить тройкой векторов $x_{i,j} = \{ \bar{y}_{i,j}; \bar{z}_{i,j}^0; \bar{z}_{i,j}^1 \}$

где вектор $\bar{y}_{i,j} = (y_{i,j,1}, y_{i,j,2}, \dots, y_{i,j,p})^T$ – вектор технических характеристик компонент маркетинговых технологий;

$\bar{z}_{i,j}^O = (z_{i,j,1}^O, z_{i,j,2}^O, \dots, z_{i,j,r}^O)^{\square}$ – вектор, отражающий положительные социальные эффекты использования соответствующей $x_{i,j}$ компоненте технологии маркетинга;

$\bar{z}_{i,j}^E = (z_{i,j,1}^E, z_{i,j,2}^E, \dots, z_{i,j,r}^E)^{\square}$ – вектор, характеризующий отрицательные социальные эффекты использования соответствующей $x_{i,j}$ компоненте технологии маркетинга.

Большинство теоретиков ограничиваются четырьмя основными маркетинговыми коммуникациями: рекламой, стимулированием продаж, общественными коммуникациям и прямым маркетингом.

Ф. Котлер и Г. Ассель выделяют дополнительно вместо прямого маркетинга личные продажи, разделяя их с прямым маркетингом по принципу личностного или неличностного характера контакта, а также степени его персонализации. В то же время другие специалисты считают личные или персональные продажи коммуникативной технологией, характерной для отдельных видов товаров, как правило, эксклюзивного характера – антиквариата, дорогих автомобилей, предметов роскоши и т.д. и считают их одной из разновидностей прямого маркетинга. В целом подобные же коммуникационные элементы перечисляет и Е.Н. Голубкова.

И.М. Синяев, С.В. Земляк, В.В. Синяева выделяют 6 коммуникационных компонентов: общественные коммуникации, рекламу, систему стимулирования продаж и упаковку, ярмарочно-выставочную деятельность, телемаркетинг и интерактивный маркетинг.

По мнению П. Смита, К. Берри и А. Пулфорда классификация интегрированных маркетинговых коммуникаций включает 12 форм: реклама, личные продажи, прямой маркетинг, стимулирование сбыта, общественные коммуникации, выставки, реклама в месте продажи, фирменный стиль, упаковка, спонсорство, новые медиа (виртуальные формы) и интернет.

П. Смит определили, что современная классификацию интегрированных маркетинговых коммуникаций включает 12 форм, которую можно представить в следующей последовательности: позиционирование x_1 , сегментирование x_2 , реклама x_3 , фирменный стиль x_4 , корпоративная реклама x_5 , прямой маркетинг x_6 , корпоративные продажи x_7 , продвижение продаж x_8 , общественные коммуникации (PR) x_9 , выставки x_{10} , интернет x_{11} , брэндинг x_{12} .

Для построения системы управления коммуникациями необходимо формализовать структурный состав объекта управления, т.е. раскрыть множество элементов матрицы. Для этого введем вектора x_j ($j = \overline{1, k}$), которые должны отображать структурный состав каждой i -й технологии маркетинговых коммуникаций в виде характеризующих их элементов $x_{i,j}$ ($i = \overline{1, 12}$; $j = \overline{1, k}$).

Каждому элементу маркетинговых коммуникаций присущи определенные технические и социальные характеристики. К техническим характеристикам относятся массовость воздействия, затратность, качество выполнения и т.д. К социальным характеристикам можно отнести: раздражительность, удовлетворенность, лояльность и др. От уровня реализации технических и социальных характеристик той или иной компоненты элемента маркетинговых коммуникаций зависит успех всей маркетинговой стратегии.

С учетом введенных характеристик система управления для достижения необходимого уровня убедительности маркетинговой коммуникации в потребительском сегменте должна варьировать технические и социальные характеристики компонент технологий маркетинга. Для обеспечения этих возможностей необходим дальнейший анализ и формализация элементов матрицы маркетинговых коммуникаций промышленных предприятий. С этой целью необходимо подробнее остановиться на технических и социальных характеристиках отдельных компонент технологий маркетинга, раскрыть технические характеристики количественно и социальные – качественно. При решении задачи формирования потребительского сегмента промышленного предприятия следует принимать во внимание, что социальные характеристики компонент технологий маркетинга включают в себя как положительные, так и отрицательные факторы отношения потребительского сегмента к промышленному предприятию.

Для обозначения технических характеристик матрицы будем использовать трехиндексную символику $y_{i,j,s}$, где i, j ($i = \overline{1, 12}$; $j = \overline{1, k}$) – индексы элементов векторов; s – индекс технической характеристики. В соответствии с этим, введя обозначение множеств индексов $D_{i,j} \in \{i = \overline{1, j}\}$, где $i = \overline{1, n}$, запишем вектора технических характеристик.

Для положительных социальных эффектов различных технологий маркетинга соответствующие вектора можно представить в виде $\bar{z}_{i,j}^O = (z_{i,j,1}^O, z_{i,j,2}^O, \dots, z_{i,j,r}^O)$. Здесь вектор $\bar{z}_{i,j}^O$ характеризует положительные социальные эффекты использования соответствующей $x_{i,j}$ компоненте технологии маркетинга.

Для отрицательных социальных эффектов соответствующие вектора технологий маркетинга можно представить в виде $\bar{z}_{i,j}^E = (z_{i,j,1}^E, z_{i,j,2}^E, \dots, z_{i,j,r}^E)$.

Система управления в качестве исходного материала для воздействия на маркетинговую коммуникацию использует данные об экономической эффективности применения той или иной технологии маркетинга. Существует три аспекта влияния маркетинговых коммуникаций на показатели экономической эффективности: во-первых, это качество маркетинговых коммуникаций, во-вторых, номенклатура технологий маркетинга, в-третьих – правильный структурный состав каждой технологии маркетинга.

Анализ эффективности применяемых маркетинговых коммуникаций сводится к расчету рентабельности по каждой технологии маркетинга. Сопоставляются затраты на данную технологию с полученным экономическим результатом за счет ее внедрения. При снижении коэффициента рентабельности ниже определенного уровня необходима корректировка данной технологии в рамках динамического взаимодействия всех технологий маркетинга, либо ее ликвидация, если она не отвечает поставленным целям предприятия.

При снижении рентабельности деятельности предприятия ниже определенного уровня предпринимаются усилия по вводу в действие дополнительных технологий маркетинга из общей совокупности технологий, представленных в рассмотренной выше матрице маркетинговых коммуникаций.

Таким образом, предложенная модель маркетинговых коммуникаций создает базу для построения системы управления маркетинговой коммуникацией с потребительским сегментом. Одновременно с параллельно применяемыми в отрасли мероприятиям по повышению качества предоставляемых услуг, система управления создает более широкие возможности, что позволит прочно обосноваться в выбранном рыночном сегменте, а при проведении агрессивной политики завоевания рынка она поможет выходу на новые сегменты и удержанию их.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазов М.М., Фирова И.П. Маркетинг предприятия: анализ и диагностика. – СПб: Андреевский издательский дом, 2006.–268с. 2. Смит П.Р. Маркетинговые коммуникации: комплексный подход. – Киев: «Знание», 2003. – 796с.

УДК 621.002:338

Бурейко Е.В., Торская И.В.

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Активность деятельности инвесторов во многом зависит от степени устойчивости финансового состояния и экономической состоятельности предприятий, в которые они готовы направить инвестиции. Именно эти параметры главным образом и характеризуют инвестиционную привлекательность предприятия (ИП). Между тем в настоящее время методологические вопросы оценки и анализа инвестиционной привлекательности не достаточно разработаны и требуют дальнейшего развития.

Анализ методов и методик определения ИП предприятия проводится с точки зрения инвестора, который ориентируется на прирост капитала. Следовательно, основными факторами, которые должны быть учтены в рамках методики оценки ИП предприятия, является доходность осуществляемых вложений и риски, сопровождающие процесс инвестирования.

В результате синтеза существующих определений ИП предприятия предлагается трактовать **инвестиционную привлекательность** как определяемую конкретным инвестором обобщающую характеристику предприятия, которая формируется на основании сопоставления доходности с учетом уровня риска вложения капитала.

В мировой практике существуют следующие методы оценки ИП предприятия:

1) Рейтинговая система [1, с. 4];

Оценка ИП на основе рейтинговой системы осуществляется двумя известными агентствами: Standard & Poor's и АК&М. Метод, используемый агентством Standard & Poor's предусматривает анализ восьми финансовых показателей, а метод агентства АК&М - шести. Результатом оценки ИП этим методом является присвоение предприятию определенного места в общем отраслевом рейтинге.

2) Процедура оценки платежеспособности заемщика.

В данном случае анализу подвергаются различные финансовые показатели, в результате чего предприятию присваивается один из 4 классов платежеспособности.

Осуществим оценку платежеспособности РУП «Минский тракторный завод» по методике, которой пользуется АСБ «Беларусбанк», предоставляющий кредиты анализируемому предприятию. Расчет осуществлен на основе данных баланса и отчета о прибылях и убытках РУП «МТЗ» за 2005 и 2006гг. В зависимости от полученных значений итоговой оценки организация относится к одному из четырех классов платежеспособности: при величине итоговой оценки от 50 до 75 баллов – 1 класс; от 76 до 125 баллов – 2 класс; от 126 до 175 баллов – 3 класс; 176 и более баллов – 4 класс.

Результаты проведенного анализа представлены в таблице 1.

Собственно рейтинговую оценку проводят следующим образом:

1. Если коэффициент финансовой независимости $k_n > 0,5$, то выставляется балл 10, если $0,3 < k_n < 0,5$ - то 20, а если $k_n < 0,3$ - то 30;
2. Если коэффициент текущей ликвидности $k_{тл} > 1,7$, то выставляется балл 20, если $1 < k_{тл} < 1,7$ - то 40, а если $k_{тл} < 1$ - то 60;
3. Если коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами $k_{об} > 0,3$, то выставляется балл 20, если $0,1 < k_{об} < 0,3$ - то 40, а если $k_{об} < 0,1$ - то 60.

Таблица 1 – Оценка и платежеспособности РУП «МТЗ» за 2005-2006гг.

Наименование коэффициента	Значение		Оценка (в баллах)	
	2005г.	2006г.	2005г.	2006г.
1. Коэффициент финансовой независимости	0,58	0,54	10	10
2 Коэффициент текущей ликвидности	2,24	2,27	20	20
3. Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами	0,364	0,404	60	60
4. Рейтинговая оценка (п.1.+п.2.+п.3.)			50	50
5. Дополнительные критерии				
5.1. Прибыльность деятельности			0	0
5.2. Соотношение темпа роста прибыли за отчетный период с темпами роста реализации и темпами роста активов			5	5
5.3. Формирование портфеля заказов			0	0
5.4. Доля неденежных расчетов в объеме реализованной продукции			0	0
5.5. Оптимизация запасов готовой продукции			0	0
5.6. Стабильность денежных потоков			0	0
5.7. Размер дебиторской задолженности			10	10
5.8. Участие собственными средствами организации в финансируемом проекте			0	0
6. Итого корректирующий балл (п.5.1.+п.5.2.+п.5.3.+п.5.4.+п.5.5.+п.5.6.+п.5.7.+п.5.8.)			15	15
Итоговая рейтинговая оценка (п.4.+п.6.)			65	65
Класс платежеспособности			1	1

Дополнительно при проведении финансового анализа используется ряд критериев. Если не соблюдаются определенные условия, то анализируемому критерию присваивается дополнительные баллы. Дадим необходимые комментарии:

Критерий 5.1: деятельность РУП «МТЗ» в 2006г. прибыльна. Балл равен 0.

Критерий 5.2: Темп роста прибыли: $T_n = 231705/159388=1,54$, темп роста реализации: $T_p = 1870018/1421314=1,16$, темп роста активов: $T_k = 834219/592718=1,41$. Оптимальным является следующее соотношение: $T_p > T_p > T_k > 1$. Т.к. оптимальное соотношение не соблюдается, оценка в соответствии с методикой составляет 5 баллов.

Критерий 5.3: На 2006г запланирован объем производства тракторов 45 862 шт., в т.ч. 85% на экспорт. Объемы отгрузок реальны и обеспечивают независимость сбытового процесса от конъюнктурных колебаний. Портфель заказов на реализацию произведенной продукции сформирован в размере более 80% от запланированного выпуска. Балл равен 0.

Критерий 5.4: Предельный норматив прекращения всех видов обязательств без поступления денежных средств по отношению к оплаченной выручке от реализации продукции для РУП «МТЗ» на 2006г. составляет 14,8%. Фактически же процент неденежных форм расчета в оплаченной выручке в среднем за год составлял 14,25%, достигнув в декабре 13,5%, что не превышает предельного норматива. Балл равен 0.

Критерий 5.5: На 1.01.07г. фактический норматив запасов готовой продукции на складах составляет 0,78 (при запланированном 0,95). Балл равен 0

Критерий 5.6: Поступления на расчетный (текущий) счет стабильны, носят систематический, равномерный характер. Балл равен 0.

Критерий 5.7: Дебиторская задолженность на 1.01.07г. – 346195 млн. руб., темп роста по сравнению с 1.01.06г. – 158,94%. Размер дебиторской задолженности превышает двухмесячный (244177 млн. руб.), но не превышает трехмесячного (366266 млн. руб.) объема выпуска продукции. Следовательно, оценка составляет 10 баллов.

Критерий 5.8: Участие собственными средствами в инвестиционном проекте согласно бизнес-плану РУП «МТЗ» на 1.01.07г. составляет 90%. Балл равен 0.

В результате проведения рейтинговой оценки РУП „МТЗ” можно сделать вывод о том, что данная организация относится к первому, самому высокому классу платежеспособности.

Однако подобная оценка, построенная на анализе динамики финансово-экономических показателей, является недостаточной для комплексной оценки ИП и ее необходимо дополнить еще учетом ряда факторов, в числе которых:

- риск, связанный с качеством управления;
- степень рациональности инвестирования в предприятие.

Осуществим оценку риска, связанного с качеством управления. При этом целесообразно применение компьютерной модели прогнозирования вероятности банкротства для определения такого риска. Модель оценки имеет следующий вид [3, с. 15]:

$$Z = 1,2 \cdot K_{об} + 3,3 \cdot K_p + 0,6 \cdot K_3 + 1,0 \cdot K_{от},$$

где $K_{об}$ – коэффициент оборачиваемости чистого оборотного капитала,
 K_p – коэффициент рентабельности активов,
 K_3 – коэффициент финансовой зависимости,
 $K_{от}$ – коэффициент отдачи активов.

Распределение рисков в зависимости от величины фактора Z:

- при $Z < 1,81$, значение риска равно 5%;
- при $1,81 < Z < 2,765$ значение риска принимается равным от 4% до 3%;
- при $2,765 < Z < 2,99$ значение риска принимается равным от 2% до 1%;
- при $Z > 2,99$ значение риска принимается равным 0%.

В таблице 2 приведены значения коэффициентов и величины фактора Z для определения риска, связанного с качеством управления

Таблица 2 – Расчет величины фактора Z для РУП «МТЗ»

Коэффициенты	2005 год		2006 год	
	Значение	Взвешенное значение	Значение	Взвешенное значение
$K_{об}$	0,21	0,25	0,24	0,29
K_p	0,17	0,56	0,18	0,59
K_3	2,38	1,43	2,17	1,3
$K_{от}$	1,52	1,52	1,45	1,45
ИТОГО (Z):	-	3,76	-	3,63

Так как $Z_{2005} = 3,76$, т.е. $Z > 2,99$, $Z_{2006} = 3,63$, т.е. также $Z > 2,99$, следовательно, риск, связанный с качеством управления отсутствует.

Аналогичные выводы получаются и при анализе Z-критерия Альтмана, значение которого в 2005 году составляло 4,23, а в 2006 году -4,33, что свидетельствует об устойчивости функционирования предприятия.

Далее следует оценить степень рациональности инвестирования в предприятие на основе места нахождения РУП «МТЗ» в матрице приоритетности инвестирования [2, с. 21], зависящей от инвестиционных потенциала и риска, которая отражена на рисунке 1.

На ИП предприятия, кроме всего прочего, влияет:

- инвестиционный потенциал предприятия – совокупность показателей частных потенциалов, учитывающих экономические возможности субъектов хозяйствования в виде суммы объективных предпосылок для инвестиций;
- инвестиционный риск предприятия, который складывается из экономического, финансового, политического, социального, законодательного, криминального, экологического и внешнеэкономического рисков.

Расчеты инвестиционной привлекательности по инвестиционному потенциалу проводятся по следующим формулам:

$$J_n = O_m \times k_m, J_p = O_{ip} \times k_{ip}$$

где: J_n, J_p - инвестиционный потенциал и риск соответственно,
 O_m, O_{ip} - среднее значение экспертных оценок показателей ИП,
 k_m, k_{ip} - важность показателя ИП.

Таблица 3 - Характеристики сегментации инвестиционной политики [2, с. 22]

Сегменты инвестирования	Рациональная инвестиционная политика
1+	Максимальное инвестирование и реинвестирование прибыли для получения дохода в краткосрочном периоде
2+	Инвестирование и максимальное реинвестирование прибыли для получения дохода в среднесрочном периоде
3+	Инвестирование и реинвестирование прибыли для извлечения дохода
4+	Инвестирование и реинвестирование прибыли для получения дохода и развития системы
5+	Инвестирование для получения дохода
7+	Инвестирование для получения дохода в долгосрочном периоде
3-	Инвестирование для получения дохода в долгосрочном периоде
5-	Инвестирование для предотвращения кризиса
6-	Инвестирование при антикризисном управлении
7-	Инвестирование для развития системы
8-	Инвестирование при антикризисном управлении
9-	Инвестирование при антикризисном управлении. Инвестирование в социальные проекты при нулевом доходе.

Анализ показателей проводится на основе экспертных оценок. В экспертизе участвовали сотрудники кредитного отдела АСБ «Беларусбанк», а также сотрудники РУП «МТЗ». Результаты экспертизы представлены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 - Экспертная оценка инвестиционного потенциала РУП «МТЗ»

Показатели инвестиционного потенциала	Среднее значение оценок	Важность показателя	Инвестиционная привлекательность
Ресурсно-сырьевой	60	0,1	6
Трудовой	60	0,3	18
Производственный	55	0,2	11
Институциональный	60	0,1	6
Потребительский	70	0,08	5,6
Финансовый	40	0,03	1,2
Инфраструктурный	40	0,1	4
Инновационный	45	0,09	4,05
Итого			55,85

Таблица 5 - Экспертная оценка инвестиционного риска РУП «МТЗ»

Показатели инвестиционного риска	Среднее значение оценок	Важность показателя	Инвестиционная привлекательность
Экономический	65	0,3	19,5
Финансовый	60	0,08	4,8
Политический	30	0,09	2,7
Социальный	60	0,1	6
Законодательный	55	0,03	1,65
Криминальный	15	0,2	3
Экологический	30	0,1	3
Внешнеэкономический	65	0,1	6,5
Итого			47,15

Оценка инвестиционного потенциала и риска экспертами проводится по следующим параметрам: 0 – нулевой потенциал, 25 – низкий потенциал, 50 – средний потенциал, 75 – высокий потенциал, 100 – очень высокий потенциал.

В итоге функция инвестиционной привлекательности примет вид:

$$J_{\text{инвпр}}(J_n; J_p)$$

Графически результат анализа ИП предприятия представлен на рисунке 2 в виде точки с координатами 47,15 и 55,85, что соответствует среднему уровню инвестиционного риска и инвестиционного потенциала. В матрице приоритетности инвестирования данные значения соответствуют клетке «5+», что определяет рациональность инвестирования для получения дохода.

Таким образом, на основании всех вышеприведенных расчетов можно сделать вывод, что анализируемое предприятие РУП «МТЗ» является достаточно привлекательным для инвестора с точки зрения благоприятных финансово-экономических показателей; отсутствия риска, связанного с качеством управления и вероятностью банкротства предприятия; а также уровня инвестиционного потенциала выше среднего и инвестиционного риска ниже среднего, достаточных для успешного инвестирования.

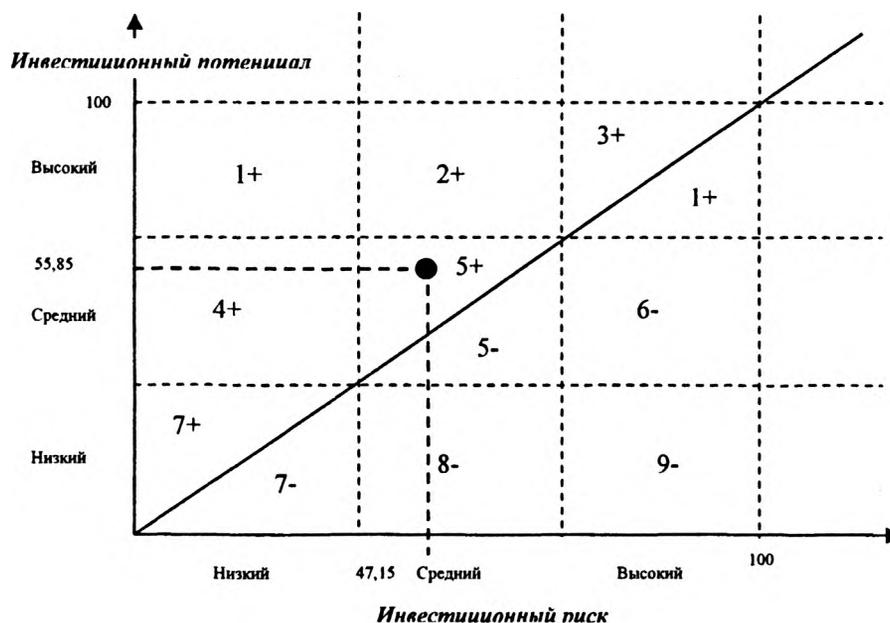


Рисунок 1 – Матрица приоритетности инвестирования в экономическую систему

ЛИТЕРАТУРА

1. Веселов, Д.В. Анализ инвестиционной привлекательности предприятий. Автореф. дисс., - М: ГУУ, 2006. – 27 с.
2. Дежинов, Д.В. Методические подходы и оценка инвестиционной привлекательности / Д.В. Дежинов // Молодежь и экономика: межвуз. сб. науч. тр. Волгоград, 2004. – Волгоград: ВолгГТУ, 2004. – 0,13 п.л.
3. Злобина, А.Ю. Методы определения инвестиционной

УДК 339.564

Торская И.В., Хованская Н.М.

ОЦЕНКА ЭКСПОРТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Коммерческий успех предприятия на внешнем рынке во многом зависит от эффективности использования экспортного потенциала. В свою очередь, правильно сформированная и претворенная в жизнь стратегия управления экспортным потенциалом, обоснованная оценка его использования, а также качественный учет и контроль результатов деятельности является индикатором конкурентоспособности предприятия и средством продвижения его интересов в масштабах мировой экономики.

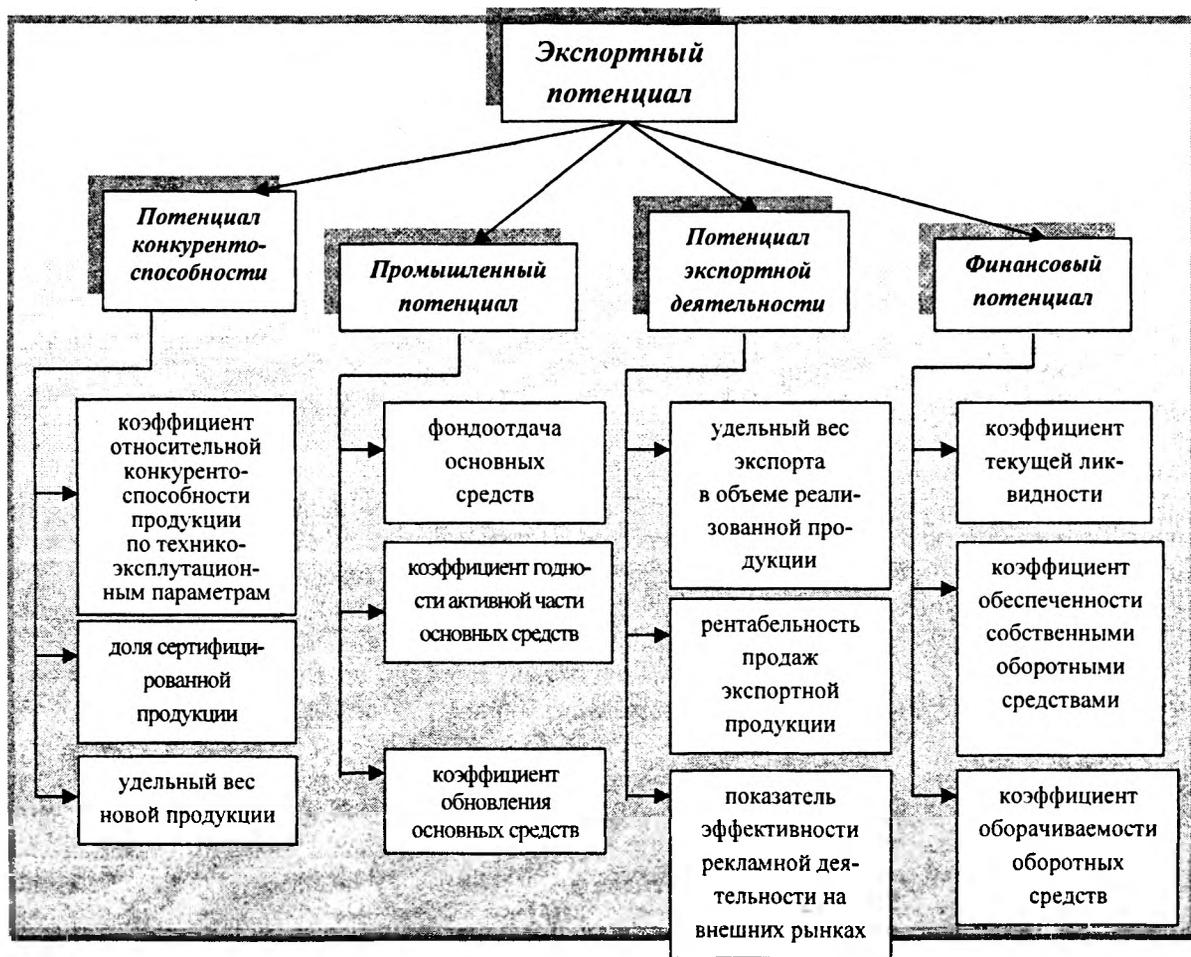


Рисунок 1-Факторы, влияющие на экспортный потенциал

Экспортный потенциал представляет собой интегральную способность предприятия создавать и производить конкурентную продукцию, продвигать ее на внешнем рынке и выгодно реализовывать там товар. Понятие экспортного потенциала может быть использовано для определения перспектив развития предприятия. Данный показатель находится в зависимости от наличных ресурсов и возможности их дополнительной мобилизации [2]. Экспортный потенциал является стратегическим ресурсом предприятия, источником формирования его конкурентного преимущества на международных рынках.

Понятие экспортного потенциала должно включать в себя такие экономические категории, как:

- потенциал конкурентоспособности (в который входит как конкурентоспособность продукции, так и конкурентоспособность самого предприятия);
- промышленный потенциал, представляющий собой максимальные возможности предприятия по генерации и производству промышленных товаров;
- потенциал экспортной деятельности, представляющий собой максимальные возможности предприятия по продвижению, реализации и обслуживанию экспортных товаров на внешних рынках [3, стр.9];
- финансовый потенциал.

Следовательно, комплексная оценка экспортного потенциала предполагает анализ не только экспортной деятельности, но и анализ всех сторон предприятия, так или иначе связанных с экспортом. Анализ каждого элемента экспортного потенциала в отдельности не даст точного представления о резервах предприятия на внешних рынках. В целях всестороннего обоснования и анализа экономической эффективности необходимо применять комплексный анализ, основанный на системе взаимосвязанных показателей. В качестве обобщающего показателя в этой системе принимается интегральный показатель экспортного потенциала.

Основной целью оценки экспортного потенциала является выявление возможностей развития экспортного производства и экспортной деятельности предприятия.

Таким образом, оценка экспортного потенциала преследует следующие задачи:

- выявление конкретных возможностей экспортной деятельности предприятия;
- выявление конкретных задач экспортной деятельности предприятия;
- определение «узких мест» экспортного потенциала;
- определение наиболее эффективных форм экспорта.

Для комплексной оценки экспортного потенциала может быть предложена методика, основанная на построении радара экспортного потенциала. Для этого выявляются основные элементы экспортного потенциала (т.е. потенциал конкурентоспособности, потенциал экспортной деятельности, производственный потенциал и финансовые возможности) и для каждого из выделенных элементов определяются группы показателей, которые наиболее полно характеризовали бы его. Количество показателей в каждой группе должно быть необходимым и достаточным. На рисунке 1 представлены показатели, которые были предложены для характеристики элементов экспортного потенциала.

После сепаратного анализа элементов экспортного потенциала необходимо объединить их в единую систему. Для этого используется «радар экспортного потенциала» в виде паутиной диаграммы, построенной в рамках значений факторов потенциала.

Оценочный круг, в рамках которого формируются значения факторов, представляет собой вектор параметров с единичными значениями. Зная значения каждого показателя, мы можем отметить и соединить их на шкале параметров, получив при этом радар. На основе построенного многоугольника рассчитывается интегральный показатель экспортного потенциала путем вычисления площади радара. В случае если площадь фигуры, характеризующей данный период, будет больше площади за предыдущий период, можно говорить о тенденции увеличения экспортного потенциала в текущем периоде.

Данная методика может быть использована как для анализа тенденции изменения экспортного потенциала отдельно взятого предприятия за определенные отрезки времени, так и для сравнения потенциала предприятия с экспортным потенциалом конкурента, путем накладывания радаров друг на друга и получения так называемого «сравнительного радара экспортного потенциала». Это позволит отметить улучшения или ухудшения в деятельности предприятия за определенные годы либо увидеть сильные и слабые стороны одной фирмы по отношению к другой.

Проведем оценку экспортного потенциала на примере Минского тракторного завода.

География поставок РУП «МТЗ» насчитывает более 100 стран. РУП "МТЗ" до сих пор удерживает лидерство среди производителей тракторов в СНГ. В свою очередь, экспорт тракторов подразделяется на 3 направления: дальнейе зарубежье (ДЗ), страны Содружества независимых государств (СНГ) без Российской Федерации (РФ); рынок России. В таблице 1 представлены данные о географической структуре экспорта в динамике за 2004-2006 гг, На рисунке 2 отражена структура экспорта МТЗ в 2007 году.

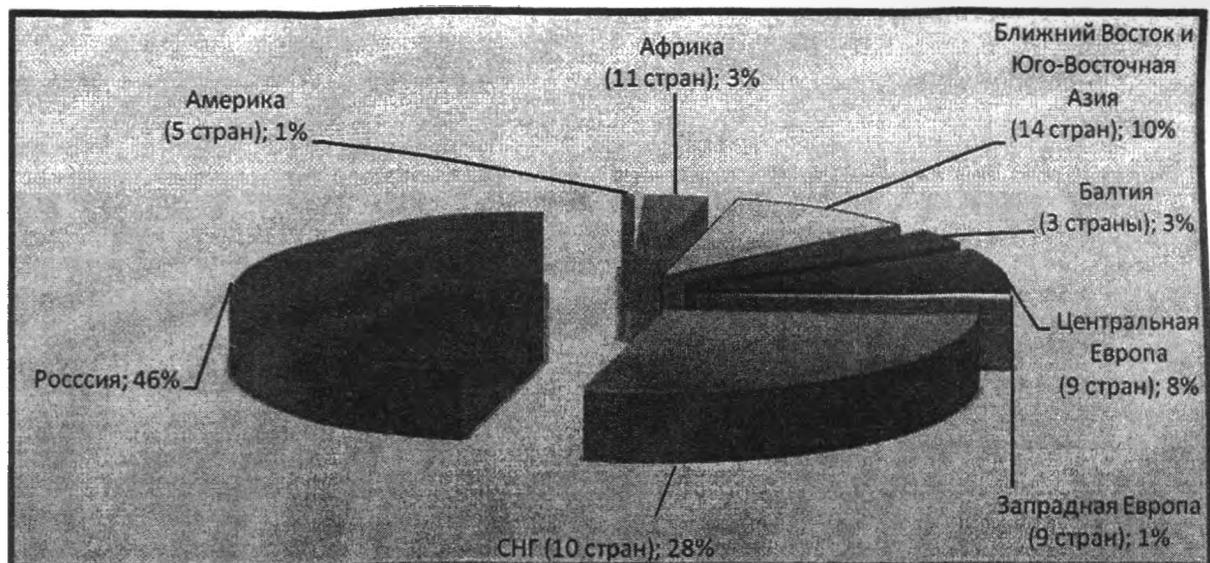


Рисунок 2- Реализация тракторов МТЗ в 2007 году

Таблица 1-Динамика объемов экспорта РУП «МТЗ» за 2004-2006гг. (тыс.долл.США)

Наименование показателя	2004 год	Уд. вес в 2004 году,%	Темп 2004/2003,%	2005 год	Уд. вес в 2005 году,%	Темп 2005/2004,%	2006 год	Уд. вес в 2006 году,%	Темп 2006/2005,%
Экспорт продукции, всего	386661	100,0	175,3	446366	100,0	115,4	590695	100	133,0
В т.ч. ДЗ	112132	29,0	125,8	162226	36,3	144,7	195735	33,1	106,9
СНГ (без РФ)	75012	19,4	144,5	107170	24,1	142,9	115735	19,6	116,3
Россия	199517	51,6	250,9	176970	39,6	88,7	279580	47,3	185,6

В ходе оценки экспортного потенциала были проанализированы результаты деятельности за 2005 – 2006 годы на базе данных официальной статистики РУП МТЗ.

Произведем расчет показателей:

1. Потенциал конкурентоспособности

1.1 коэффициент относительной конкурентоспособности продукции по технико-эксплуатационным параметрам. При расчете данного показателя использовались такие технико-экономические параметры трактора, как: эксплуатационная мощность двигателя при номинальном числе оборотов, максимальный крутящий момент, максимальная скорость, максимальная грузоподъемность на концах продольных тяг, затраты на горюче-смазочные материалы, затраты на запасные части, затраты на ремонт. После определения значимости каждого из параметра, был рассчитан интегральный показатель на основе сравнения оцениваемой продукции с эталонной для потребителя моделью. Таким образом:

$$K_{\text{конк}} = 0,962 \text{ (принимается равным для двух лет)}$$

1.2 доля сертифицированной продукции в общем объеме реализованной продукции:

$$K_{\text{серт.}}^{2005} = 0,802$$

$$K_{\text{серт.}}^{2006} = 0,808$$

1.3 удельный вес новой продукции в общем объеме реализованной продукции;

$$K_{\text{нов}}^{2005} = 0,123$$

$$K_{\text{нов}}^{2006} = 0,198$$

2. Производственный потенциал

2.1 фондоотдача основных средств

$$FO^{2005} = 1,817$$

$$FO^{2006} = 1,796$$

2.2 коэффициент обновления основных средств

$$K_{\text{обн}}^{2005} = 0,027$$

$$K_{\text{обн}}^{2006} = 0,166$$

2.3 коэффициент годности активной части основных средств (1- коэффициент износа)

$$K_{\text{гол}}^{2005} = 0,22$$

$$K_{\text{гол}}^{2006} = 0,19$$

3. Потенциал экспортной деятельности

3.1 доля экспорта в общем объеме реализованной продукции

$$K_{\text{эксп}}^{2005} = 0,683$$

$$K_{\text{эксп}}^{2006} = 0,668$$

3.2 рентабельность продаж экспортной продукции

$$R_{\text{прод}}^{2005} = 0,137$$

$$R_{\text{прод}}^{2006} = 0,158$$

3.3 показатель эффективности рекламной деятельности на внешних рынках (рассчитанный как отношение прироста на внешних рынках каждой 1000 руб. выручки от реализации в последующем периоде к затратам на рекламу в текущем)

$$\mathcal{E}_{\text{рекл}}^{2005} = 2,751$$

$$\mathcal{E}_{\text{рекл}}^{2006} = 4,152$$

4. Финансовые возможности

4.1 коэффициент текущей ликвидности

$$K_{\text{тек.ликв}}^{2005} = 2,08$$

$$K_{\text{тек.ликв}}^{2006} = 2,24$$

4.2 коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами

$$K_{\text{соб.об.}}^{2005} = 0,36$$

$$K_{\text{соб.об.}}^{2006} = 0,40$$

4.3 коэффициент оборачиваемости оборотных средств

$$K_{\text{об.}}^{2005} = 2,11$$

$$K_{\text{об.}}^{2006} = 1,94$$

Полученные данные схематично отобразим на радаре экспортного потенциала, представленного на рисунке 3.

Рассчитанные показатели экспортных потенциалов за 2005 и 2006 год соответственно составили 11,992 и 13,677, что говорит об увеличении экспортного потенциала РУП МТЗ в 2006 году в сравнении с 2005 годом. Однако, несмотря на положительную тенденцию роста экспортного потенциала, имеются резервы его увеличения. Как видно из рисунка 3, полностью улучшилась ситуация в 2006 лишь по составляющей конкурентоспособности. Анализ остальных элементов указывает на ухудшение по таким показателям как фондоотдача, коэффициент годности активной части основных средств, доля экспорта в общем объеме реализованной продукции и оборачиваемость оборотных средств. Это требует разработки мероприятий по повышению данных составляющих экспортного потенциала.

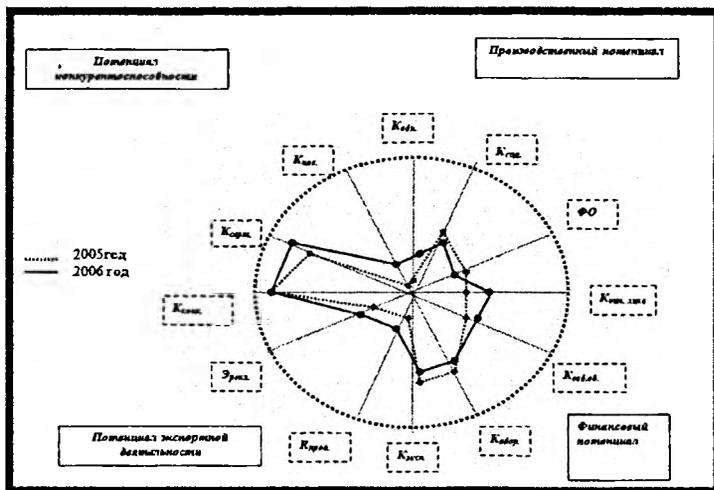


Рисунок 3- Радар экспортного потенциала МТЗ за 2005-2006 годы

Таким образом, построение радара экспортного потенциала позволяет своевременно получать оперативную, качественную и достоверную информацию о состоянии экспортного потенциала предприятия. Полученные данные являются основой количественного обоснования управленческих решений, снижения затрат на проведение дополнительных исследований и уменьшения риска при осуществлении экспортной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1 Портер М. Е. Конкурентная стратегия: методика анализа отраслей и конкурентов/ М: Альпина, Бизнес-букс, 2005.- 227с. 2. http://planetadisser.com/see/dis_226749.html -Управление экс-
168

портным потенциалом промышленного предприятия. 3. Круглов В.С.: Формирование и использование экспортного потенциала промышленных предприятий: Автореферат на соискание ученой степени кандидата экономических наук.- Саратов: Саратовский государственный социально-экономический университет, 2006 –19с.

УДК 336.14

Плясунков А.В., Комина Н.В.

БЮДЖЕТИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ФИНАНСОВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Составление бюджетов является неотъемлемым элементом общего процесса планирования, а не только его финансовой части. Механизм бюджетного планирования доходов и расходов целесообразно внедрять для обеспечения экономии денежных средств, большей оперативности в управлении этими средствами, снижения непроизводительных расходов и потерь, а также для повышения достоверности плановых показателей (в целях налогового планирования). Бюджеты обычно составляются на год, чаще всего с разбивкой по кварталам.

Бюджет — оперативный финансовый план, составленный, как правило, в рамках до одного года, отражающий расходы и поступления средств по операционной, инвестиционной и финансовой деятельности предприятия. В практике управления финансами фирмы используются два основных вида бюджетов — текущий (оперативный) и капитальный.

Смета — форма планового расчета, определяющая потребности предприятия в денежных ресурсах на предстоящий период и последовательность действий по исчислению показателей. В определенном смысле понятие «смета» является аналогом западного термина «бюджет».

Для составления бюджетных планов используются следующие информационные источники:

- данные бухгалтерской отчетности (формы бухгалтерского баланса) и выполнения финансовых планов за предшествующий период (месяц, квартал, год);
- договоры (контракты), заключаемые с потребителями продукции и поставщиками материальных ресурсов;
- прогнозные расчеты продаж продукции или планы сбыта исходя из заказов, прогнозы спроса, уровень цен и другие условия рыночной конъюнктуры. На основе показателей сбыта рассчитывается объем производства, затраты на выпуск продукции, прибыль, рентабельность и иные показатели;
- экономические нормативы, утверждаемые законодательными актами (налоговые ставки, нормы амортизационных отчислений, учетная ставка банковского процента, минимальная месячная оплата труда и т. д.);
- утвержденная учетная политика.

Разработанные на основе этих данных финансовые планы служат руководством (ориентиром) для финансирования текущих потребностей, инвестиционных программ и проектов.

Для организации эффективной системы бюджетного планирования деятельности предприятия предлагается составлять следующую сквозную систему бюджетов:

- материальных затрат;
- потребления энергии;
- фонда оплаты труда;
- амортизационных отчислений;
- прочих расходов;
- погашения ссуд банков;
- налоговый бюджет.

С позиции количественных оценок планирование текущей деятельности заключается в построении так называемого генерального бюджета, представляющего собой систему взаимосвязанных операционных и финансовых бюджетов. Данная система бюджетов охватывает весь денежный оборот предприятия. Генеральный бюджет предприятия равен сумме всех бюджетов струк-

турных подразделений. Дирекции предприятия целесообразно добиваться более активного участия всех структурных подразделений в подготовке бизнес-плана и консолидированного бюджета. При составлении бюджетов структурных подразделений и служб предприятий необходимо руководствоваться принципом декомпозиции. Он заключается в том, что каждый бюджет более низкого уровня является детализацией бюджета более высокого уровня, т. е. бюджеты цехов и отделов входят в сводный (консолидированный) бюджет предприятия. Оптимальным считается такой бюджет, в котором доходный раздел равен расходной части. При дефиците сводного бюджета возникает необходимость его корректировки посредством увеличения доходов или снижения расходов.

Рассмотрим в общих чертах логику и смысловое содержание каждого из бюджетов.

Бюджет продаж. Цель данного бюджета — рассчитать прогноз объема продаж в целом. Исходя из стратегии развития предприятия, его производственных мощностей и, главное, прогнозов в отношении емкости рынка сбыта определяется количество потенциально реализуемой продукции в натуральных единицах. Прогнозные отпускные цены используются для оценки объема продаж в стоимостном выражении. Расчеты ведутся в разрезе основных видов продукции.

Бюджет производства. Цель данного бюджета — рассчитать прогноз объема производства товарной продукции исходя из результатов расчета предыдущего бюджета и целевого остатка произведенной, но нереализованной продукции (запасов продукции). Формула расчета для каждого вида продукции выглядит следующим образом:

$$Q_n = V_{пр} + O_k - O_n$$

где Q_n — продукция, предназначенная к выпуску в планируемом периоде;

$V_{пр}$ — прогноз объема продаж;

O_k — целевой остаток готовой продукции на конец планируемого периода;

O_n — остаток продукции на начало планируемого периода.

Бюджет прямых затрат сырья и материалов. На основе данных предыдущего бюджета об объемах производства, а также нормативах затрат сырья на единицу производимой продукции, целевых запасов сырья на начало и конец периода и ценах на сырье и материалы определяются потребности в сырье и материалах, объемы закупок и общая величина расходов на приобретение. Данные формируются как в натуральных единицах, так и в денежном выражении.

Бюджет прямых затрат труда. Цель данного бюджета — рассчитать общие затраты на привлечение трудовых ресурсов, занятых непосредственно в производстве (в стоимостном выражении). Исходными данными блока являются результаты расчета об объемах производства в бюджете производства. Алгоритм расчета зависит от многих факторов, в том числе от систем нормирования труда и оплаты работников. В частности, если установлены нормативы в часах на производство той или иной продукции или ее компонента, а также тарифная ставка за час работы, можно рассчитать прямые затраты труда.

Бюджет производственных накладных расходов. Расчет ведется по статьям накладных расходов (амортизация, электроэнергия, страховка, прочие общецеховые расходы и т.п.) в зависимости от принятого в компании базового показателя (объем производства, прямые затраты труда в часах и др.).

Бюджет запасов сырья, готовой продукции. Исходными данными для расчета служат: целевые остатки запасов готовой продукции в натуральных единицах, сырья и материалов (бюджет производства и бюджет прямых затрат сырья и материалов), данные о ценах за единицу сырья и материалов, а также данные о себестоимости готовой продукции.

Бюджет управленческих и коммерческих расходов. Здесь исчисляется прогнозная оценка общезаводских (постоянных) накладных расходов. Постатейный состав расходов определяется различными факторами, в том числе и спецификой деятельности компании.

Бюджет себестоимости реализованной продукции. Расчет ведется на основании данных предыдущих бюджетов с использованием алгоритмов, определяемых принятой методикой исчисления себестоимости.

Формируемые в рамках каждого бюджета количественные оценки не только используются по своему назначению как плановые и контрольные ориентиры, но и как исходные данные для построения финансового бюджета, под которым в данном случае понимается прогнозная финансовая отчетность в укрупненной номенклатуре статей.

Прогнозный отчет о прибылях и убытках. Рассчитывают прогнозные значения: объема продаж, себестоимости реализованной продукции, коммерческих и управленческих расходов, расходов финансового характера (проценты к выплате по ссудам и займам), налогов к уплате и др.

Большая часть исходных данных формируется в ходе построения операционных бюджетов. Величину налоговых и прочих обязательных платежей можно рассчитать по среднему проценту.

Инвестиционный бюджет на основе выбранного критерия эффективности инвестиций определяет, какие долгосрочные активы необходимо приобрести или построить. Влияет на бюджет денежных средств, прогнозный баланс.

Бюджет движения денежных средств является важнейшим документом по управлению текущим денежным оборотом предприятия. Он разрабатывается на предстоящий год с разбивкой по кварталам и месяцам. С помощью этого документа обеспечивается оперативное финансирование всех хозяйственных операций предприятия. На основе бюджета движения денежных средств предприятие прогнозирует выполнение своих расчетных обязательств перед государством, кредиторами и партнерами, фиксирует происходящие изменения в платежеспособности. Данный документ позволяет планировать поступление собственных средств, а также оценивать потребность в привлечении заемного капитала.

Изменение денежных средств за период определяется денежными потоками, представляющими собой, с одной стороны, поступления от покупателей и заказчиков, прочие поступления и, с другой стороны, платежи поставщикам, работникам, бюджету, органам социального страхования и обеспечения и т. д. В целом между поступлениями денежных средств, объемом реализации и изменением остатков дебиторской задолженности существуют следующие зависимости:

Приток денежных средств = Выручка от продаж + Дебиторская задолженность на начало периода - Остатки дебиторской задолженности на конец планового периода

Для того чтобы установить сумму денежных поступлений, необходимо определить величину дебиторской задолженности по состоянию на конец прогнозируемого периода. Если ожидается, что в предстоящем периоде характер расчетов с покупателями не изменится, можно использовать средние остатки дебиторской задолженности в прогнозируемом периоде.

Существует способ планирования денежных поступлений, основанный на составлении графика погашения задолженностей покупателей. Так, если по результатам анализа состава дебиторской задолженности и характера ее движения известно, что в среднем 40% задолженности погашается в квартале ее возникновения, 30 % — в следующем квартале, 20 % — в третьем квартале, а 10 % обязательств остаются непоплаченными, можно составить график ожидаемых поступлений. Прогнозирование прочих поступлений, как правило, бывает затруднено вследствие их эпизодического характера (штрафы, пени, неустойки к получению и т. д.).

К числу статей, по которым наблюдается наибольший отток денежных средств, относятся расчеты с поставщиками:

Отток денежных средств = Начальное сальдо + Увеличение кредиторской задолженности - Конечное сальдо

Увеличение кредиторской задолженности определяется объемом поступлений материальных ценностей, следовательно:

Увеличение кредиторской задолженности = Фактическая себестоимость материалов + НДС по приобретенным ценностям

Для определения необходимого объема закупок можно воспользоваться следующей зависимостью:

Поступление материальных ценностей = Потребление + Запасы на конец периода - Начальные запасы

Составление бюджета движения денежных средств позволяет определить объем прибыли, необходимый для обеспечения платежеспособности предприятия. В бюджет движения денежных средств на плановый период целесообразно включать следующие показатели, раскрывающие динамику высоколиквидных средств предприятия:

- поступления средств на счет предприятия в текущем периоде за отгруженные товары и оказанные услуги в прошлом периоде;
- поступления оплаты за отгруженные товары и оказанные услуги в текущем периоде;
- динамику доходов от финансовой деятельности (управление фондовым портфелем, доходы от эмиссии ценных бумаг и др.);
- расходование выручки от продаж по основным направлениям: закупка сырья и материалов, оплата труда, постоянные расходы и другие текущие потребности предприятия;
- выплату процентов по кредитам;
- выплату дивидендов;

- инвестиционные расходы;
- величину собственных оборотных средств предприятия (или величину их дефицита).

Прогнозный баланс. Необходимо спрогнозировать остатки по основным статьям бухгалтерского баланса: внеоборотные активы, запасы и затраты, дебиторская задолженность, денежные средства, долгосрочные пассивы, кредиторская задолженность и др. Каждая укрупненная балансовая статья оценивается по стандартному алгоритму для статей активов и пассивов соответственно:

$$A = C_n + O_d - O_k,$$

$$П = C_n + O_k - O_d$$

где A — расчетная величина активов (конечное сальдо);
 $П$ — расчетная величина пассивов (конечное сальдо);
 C_n — начальное сальдо (из отчетности);
 O_k — оборот по кредиту (прогнозная оценка);
 O_d — оборот по дебету (прогнозная оценка).

В частности, для любой статьи дебиторской задолженности оборот по дебету представляет собой прогнозную оценку продажи товаров по безналичному расчету с отсрочкой платежа; оборот по кредиту — прогноз поступлений от погашения дебиторской задолженности.

Таким образом, в финансовой системе предприятия финансовые планы выступают в качестве путеводаителя, который позволяет ориентироваться в его финансовых возможностях и выбрать наиболее эффективные с точки зрения конечных результатов действия. Построение прогнозной отчетности в рамках бюджетного планирования текущей деятельности или на более длительную перспективу является неотъемлемой функцией финансовой службы любого предприятия. Эта отчетность может использоваться для различных целей: как ориентир для контроля текущей деятельности, при прогнозировании степени удовлетворительности структуры баланса и т. п. При этом успешное выполнение оптимальных финансовых планов обеспечивает устойчивое финансовое положение предприятия, которое является залогом его эффективного функционирования

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпов А.Е. Бюджетирование как инструмент управления. М.- 2006. - 377 с. 2. Волкова О.Н. Бюджетирование и финансовый контроль в коммерческих организациях. М.: Финансы и статистика.- 2005. - 272 с.

УДК 658.012.4

Плясунков А.В.

ОСОБЕННОСТИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Управление компанией и планирование деятельности только на основании финансовых показателей является недостаточно эффективным. Во-первых, финансовые индикаторы отражают деятельность компании в прошлом, т. е. они являются «медлительными» индикаторами, которые не в состоянии проиллюстрировать реальную работу менеджеров в современном отчетном периоде и обеспечить адекватное руководство к действию. Во-вторых, излишний акцент при достижении и поддержании краткосрочных финансовых результатов приводит к излишнему инвестированию в решение краткосрочных проблем и недостаточному вниманию к долгосрочному созданию ценностей, которые способствуют росту в будущем (другими словами, существует разрыв между стратегической и оперативной деятельностью). В-третьих, развитие негативных тенденций в бизнесе может отразиться на значении финансовых показателей не сразу, а на той стадии, когда уже невозможно поправить ситуацию незначительными изменениями и необходимо решать глобальную проблему выживания компании. Например, компания может максимизировать краткосрочные финансовые результаты, увеличивая цену на продукцию и снижая затраты на обслуживание

клиентов. В краткосрочном периоде эти действия увеличивают отчетную доходность, но недостаточная удовлетворенность и лояльность клиента делают компанию сильно уязвимой к давлению конкурентов.

В условиях жесткой рыночной конкуренции огромное значение имеет долгосрочное развитие, основными факторами которого являются грамотное стратегическое управление, эффективность бизнес-процессов, знания и квалификация сотрудников, способность организации удерживать и привлекать новых клиентов, корпоративная культура, поощряющая инновации и организационные улучшения, инвестиции в информационные технологии. Таким образом, модель финансового учета и планирования должна быть расширена за счет нематериальных и интеллектуальных активов компании.

Сбалансированная система индикаторов деятельности - BSC (Balanced Scorecard) [1] - позволяет решить все вышеперечисленные задачи стратегического и тактического управления компанией. Основное назначение системы заключается в усилении стратегии бизнеса, ее формализации, проведении и донесении до каждого сотрудника компании, обеспечении мониторинга и обратной связи с целью отслеживания и генерации организационных инициатив внутри структурных подразделений. В случае недостижения запланированных результатов работы в течение определенного периода (года, полугодия) пересматривается и уточняется не только оперативное управление компанией, но и выбранная стратегия действия. Таким образом, система дает возможность заметить и исправить не только недочеты текущей деятельности, но и стратегические ошибки, которые при позднем обнаружении могут стоить компании очень дорого.

Система целей и показателей BSC состоит из следующих 4 направлений.

Финансовое направление включает в себя финансовые критерии качества работы, указывающие, способствуют ли стратегии компании ее совершенствованию. Финансовые показатели служат главным ориентиром для координации всех направлений деятельности и создания единой системы их оценки и управления.

В **потребительском направлении BSC** компания обозначает те сегменты рынка и потребительские группы, в которых предстоит вести борьбу с конкурентами. Это направление дает возможность компании выстроить цепь основных оценочных характеристик выбранного сегмента потребительского рынка: определить стандарты удовлетворения потребительского спроса, привлечения новых потребителей, сохранения спроса, повышения уровня приверженности (лояльности) потребителей данной торговой марки, а также оценить рыночную стоимость предложения - основной индикатор состояния потребительского рынка, в том числе и всех вышеперечисленных характеристик.

Направление внутренних процессов разрабатывается для оценки внутренней коммерческой деятельности организации. Менеджеры компании определяют те хозяйственные операции, которые играют важнейшую роль в удовлетворении интересов собственников и клиентов и разрабатывают программы деятельности, исходя из задач-ориентиров и оценочных показателей финансовой и потребительской сферы BSC.

Направление обучение и рост включает цели и оценочные показатели их достижения в сфере переобучения, повышения квалификации кадров, создания благоприятного климата внутри коллектива, а также оценивает эффективность информационной системы компании. Финансовое, потребительское направление и оценка внутренних процессов определяют те показатели, в которых организация должна преуспеть. В направлении обучение и рост определяются те цели и показатели, которые будут способствовать достижению всех иных целей.

Общая последовательность планирования деятельности предприятия приведена на рис. 1.

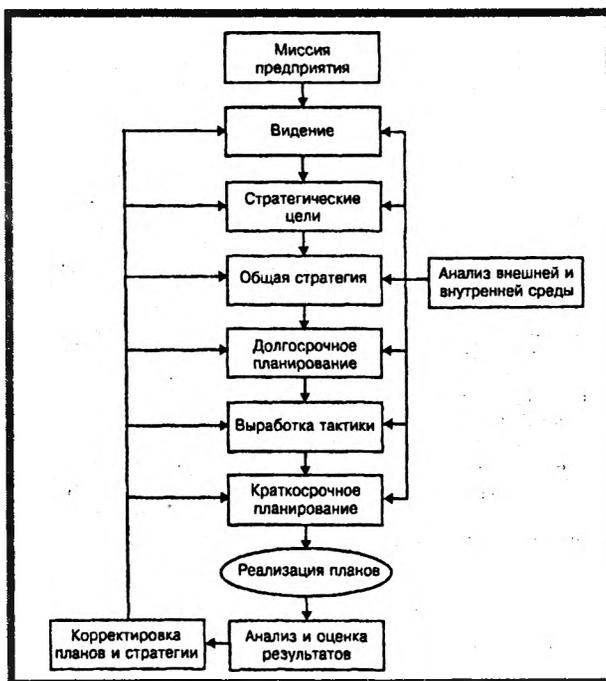


Рис. 1. Комплексный характер планирования на предприятии

Дадим характеристику каждого элемента этой схемы.

Миссия представляет собой изложение причины существования компании, основной акцент при формулировке миссии делается не на получение прибыли, а на удовлетворение потребителей путем предоставления качественных товаров и услуг.

Видение (генеральная цель) представляет собой желаемое положение, которое компания хочет достигнуть в будущем через 5-10 лет.

Стратегические цели - конкретизация видения в формате BSC (цели, достижение которых приведет к достижению генеральной цели).

Общая стратегия - лаконичное описание того, каким образом компания собирается достигнуть стратегических целей может рассматриваться в двух видах: ориентиры стратегической направленности (расширение, поддержание достигнутого уровня, использование достижений) и стратегическое позиционирование поддержания конкурентных преимуществ (низкие затраты и дифференциация продукции).

Долгосрочное планирование - общий прогноз деятельности компании на 3-5 лет (по годам), определение показателей в 4 направлениях BSC, достижение которых должно привести к достижению стратегических целей; планирование инвестирования средств и источников финансирования данных инвестиций.

Краткосрочное планирование - детальный прогноз всех сфер деятельности компании на ближайший год, квартал, месяц или более короткий промежуток времени, оформляемый в виде системы бюджетов.

Анализ и оценка результатов - определение отклонения фактических результатов деятельности компании от планируемых.

Корректировка планов и стратегии - определение необходимости корректировать как текущие, так и долгосрочные планы, и стратегические цели на основании результатов работы компании.

Одним из основных условий эффективной системы планирования является взаимосвязь видения и стратегических целей компании с долгосрочным и краткосрочным планированием. Система текущего планирования не должна быть оторвана от долгосрочных планов и стратегии компании – реализация краткосрочных планов должна приводить к достижению стратегических целей и видения компании.

Долгосрочное планирование является связующим звеном между стратегическими целями компании и текущей деятельностью. В рамках долгосрочного планирования разрабатывается взаимосвязанная система целей и показателей в формате BSC, а также целевые показатели (по годам), достижение которых должно привести к достижению стратегических и генеральной цели.

Условия, от которых зависит эффективность финансового планирования, вытекают из самих целей этого процесса и требуемого конечного результата. В этом смысле выделяют три основных условия финансового планирования:

Прогнозирование. Финансовые планы должны быть составлены при как можно более точном прогнозе определяющих факторов. При этом прогнозирование может основываться на исторической информации, с использованием аппарата математической статистики (математического ожидания, линии тренда и т. д.), результатов моделей прогнозирования (статистических моделей, учитывающих взаимосвязь факторов друг с другом и внешними факторами), экспертных оценок и др.

Выбор оптимального финансового плана. Очень важный момент для менеджеров компании. На сегодняшний день не существует модели, решающей за менеджера, какую из возможных альтернатив следует принять. Решение принимается после изучения альтернатив, на основе профессионального опыта и, возможно даже, интуиции руководства.

Контроль над воплощением финансового плана в жизнь. Достижение долгосрочных планов невозможно без текущего планирования, подчиненного этим долгосрочным планам.

Сформулированные выше условия имеют достаточно общий вид. В то же время следует осознавать, что финансовый план - это, в конечном итоге, набор финансовых показателей, которые необходимо рассчитывать и прогнозировать с помощью специальных технологий. В качестве конечного результата финансового плана обычно используются прогнозные баланс предприятия, отчет о прибыли и отчет о движении денежных средств. Сформулируем основные технологические принципы финансового планирования [2].

1. Приобретение текущих активов (оборотных средств) следует планировать преимущественно за счет краткосрочных источников. Другими словами, если предприятие планирует закупку партии товаров, прибегать для финансирования этой сделки к эмиссии облигаций не следует. Не-

обходимо воспользоваться краткосрочной банковской ссудой или коммерческим кредитом поставщика. В то же время для проведения модернизации парка оборудования следует привлекать долгосрочные источники финансирования.

2. В прогнозируемом балансе предприятия сумма оборотных средств предприятия должна превышать сумму его краткосрочных задолженностей, т. е. нельзя планировать «слаболиквидный» баланс предприятия. Данный принцип имеет ярко выраженный прагматичный смысл - определенная часть оборотных средств предприятия должна финансироваться из долгосрочных источников (долгосрочной задолженности и собственного капитала). В этом случае предприятие имеет меньший риск испытать дефицит оборотных средств.

3. В процессе планирования «не обнулять» денежный счет, а иметь некоторый запас денег для обеспечения надежной платежной дисциплины в тех случаях, когда какой-либо из плательщиков просрочит по сравнению с планом свой платеж. В том случае, когда в реальной практике сумма денег предприятия становится чрезмерно большой (выше некоторого порогового значения), предприятие может прибегнуть к покупке высоколиквидных ценных бумаг.

В финансовом менеджменте предприятий различают два вида финансового планирования или бюджетирования:

- долгосрочное финансовое планирование или капитальное бюджетирование (Capital Budgeting) и
- краткосрочное финансовое планирование или текущее бюджетирование (Continuous Budgeting).

Долгосрочное финансовое планирование деятельности компании характеризуется следующими особенностями:

- период планирования более одного года (обычно 3-5 лет);
- как правило, планирование связано с вложением средств для повышения эффективности работы предприятия или открытия новой компании;
- агрегированный прогноз, низкая степень подробности, невысокая точность прогнозируемых показателей;
- временной интервал планирования — год, иногда квартал;
- решения долгосрочного финансового планирования нелегко приостановить, поскольку они влияют на деятельность компании на длительное время.

Одной из основных целей долгосрочного планирования является определение необходимости инвестирования средств для достижения поставленных целей и оценка эффективности вложений. Например, для достижения цели «увеличение суммы выручки компании в 2 раза за 3 года» необходимо инвестировать деньги в создание трех новых магазинов. Для того чтобы принять решение о вложении средств, необходимо определить период окупаемости инвестиций (например, может оказаться, что требуемая сумма инвестиций намного превышает возможное увеличение прибыли за 5 лет, т. е. вкладывать деньги нет смысла и нужно искать другие способы увеличения выручки).

Для детализации и уточнения долгосрочных планов в компании внедряется система краткосрочного планирования, которая должна помочь руководству компании в решении проблем, связанных с текущей деятельностью. Другими словами, основной задачей системы краткосрочного планирования является обеспечение бесперебойного процесса производства и реализации продукции, а также обеспечение финансирования текущей деятельности компании и эффективное использование денежных средств.

Краткосрочное финансовое планирование (текущее бюджетирование) имеет следующие основные особенности:

- период планирования - до одного года;
- высокая степень подробности, более высокая точность прогнозируемых показателей, чем в долгосрочном планировании;
- временной интервал планирования - месяц, иногда декада, неделя или день;
- решения краткосрочного плана легче приостановить, поскольку они в основном носят тактический характер.

Основной проблемой большинства отечественных предприятий является отсутствие связи между долгосрочным и краткосрочным планированием. При планировании деятельности на ближайший год не учитываются долгосрочные цели компании, прогноз осуществляется зачастую

только на основании статистики прошлых периодов и эмоций сотрудников, ни на чем не основанных.

Для достижения видения и поставленных стратегических целей необходимо, чтобы существовала четкая связь между долгосрочными планами и прогнозом деятельности на ближайший год или месяц. Например, одной из целей компании является увеличение продаж до \$5 000 000 в год за три года, при этом на 1-й год планируется увеличение продаж до \$3 000 000, на второй год - до \$4 000 000, на 3-й год - \$5 000 000. При разработке плана деятельности компании на 1-й год сумма продаж \$3 000 000 в год берется как целевая и детализируется до планируемых продаж в каждом месяце. При этом необходимо определить, возможен ли такой рост продаж при существующем состоянии на рынке (или рост продаж может быть намного больше) и, в случае необходимости, откорректировать долгосрочный целевой показатель.

В рамках краткосрочного планирования на основании системы долгосрочных целей необходимо разработать целевые показатели в формате BSC на планируемый период с разделением некоторых показателей по интервалам прогноза (по месяцам, неделям, пр.), при этом некоторые цели необходимо детализировать.

Таким образом, управление организацией и планирование деятельности на основе как финансовых, так и нефинансовых показателей является достаточно эффективным. Поэтому, данный подход к планированию и управлению может быть успешно использован отечественными предприятиями для повышения эффективности своей деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брейли, Р. Принципы корпоративных финансов / Р. Брейли, С. Майерс. – М.: Олимп-бизнес, 1997.
2. Каплан, Р. Сбалансированная система показателей / Р. Каплан, Д. Нортон. – М.: Олимп-бизнес, 2003.

УДК 621.74.658.589.011

Королько А.А., Петрукович И.Г., Филатенко О.В.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОБНОВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В условиях развития рыночных отношений в более явном виде проявляется действие закона стоимости и механизм ее формирования, что предопределяет правомерность непосредственного включения общественно необходимых затрат труда, как меры стоимости, в практику оценки и обоснования процессов обновления орудий труда. Сравнение общественной и индивидуальной стоимости машинного продукта позволяет судить о действительной народнохозяйственной эффективности оцениваемой техники.

Переход к рыночным отношениям выдвигает в качестве неперемного условия обеспечение безусловной выгоды процесса обновления техники для ее изготовителя и потребителя. В связи с этим акценты в исследовании и управлении эффективностью процесса смещаются в сторону хозяйственных показателей эффективности, а это обостряет проблему согласования народнохозяйственных и хозяйственных интересов.

В связи с этим по мере развития хозяйственных отношений и перехода к рыночной экономике повышается роль показателей абсолютной экономической эффективности. Непосредственно экономический эффект рекомендуется определять за жизненный цикл техники как разность между суммарным стоимостным результатом, выраженным в ценах продукции, и затратами на всех стадиях жизненного цикла

$$\dot{\varepsilon} = \left[\sum_{t=t_n}^{t_k} Q_t \cdot \Phi_t - \left(\sum_{t=t_n}^{t_k} H_t^d + \sum_{t=t_n}^{t_k} H_t^p \right) \right],$$

где t_n, t_k – начальный и конечный годы расчетного периода;

Q_t^i , Π_t^i – соответственно объем продукции, произведенной с помощью оцениваемого средства труда и цена единицы в t -м году;

H_t^o , H_t^p – соответственно затраты в сферах производства и эксплуатации техники без учета затрат на ее приобретение.

Затраты в сфере производства и эксплуатации могут быть определены по формуле

$$H_t^o = I_t + K_t - \lambda_t,$$

где I_t и K_t – соответственно текущие издержки без учета отчислений на реновацию и единовременные затраты при производстве (использовании) оцениваемого средства труда;

λ_t – остаточная стоимость основных фондов выбывших в t -м году.

Данный метод расчета имеет место тогда, когда все затраты учитываются в период их осуществления и возникает разрыв во времени между периодами получения продукции и осуществления части затрат. Такой метод затрат многие экономисты называют асинхронным в отличие от синхронного, когда разрыв во времени отсутствует [1].

При асинхронном расчете единовременных затрат нарастающим итогом их сумма будет сокращаться. Это происходит, когда начинает сворачиваться производство и интенсифицируется выбытие изношенных основных фондов, а также перепрофилирование их части на выпуск другой продукции. В результате интегральная сумма единовременных затрат к концу периода использования может оказаться меньше суммы затрат к середине этого периода. Подобное не может случиться с текущими затратами, которые при учете нарастающим итогом постоянно возрастают. В этом одно из противоречий асинхронного учета затрат. Следует отметить, что оба метода учета затрат приемлемы для оценки эффективности производства при решении задач аналитического характера. Асинхронный метод учета достаточно четко отражает динамику окупаемости затрат, определяет «точку безубыточности», когда суммарный стоимостной результат начинает превышать суммарные затраты, а также другие аспекты соотношения затрат и результатов во временной перспективе. Анализ эффективности при синхронном методе учета затрат более точно характеризует эффект, полученный в конкретном году периода производства (использования) техники. Однако идентичность данных методов учета затрат обеспечивается лишь для простого воспроизводства. Так, в расчете на весь учетный период затраты, осуществляемые в сфере производства и эксплуатации, представляют собой полную сумму текущих затрат. Производственные единовременные затраты за этот период полностью трансформируются в этом случае в амортизационные отчисления на реновацию. Соответственно общие затраты за расчетный период в сферах производства и эксплуатации техники, срок службы которой не превышает нормативного, можно определить по формуле [2]

$$\sum_{t=t_v}^{t_k} H_t = \sum_{t=t_v}^{t_k} (\theta_t + \rho_o \cdot K_t),$$

где ρ_o – средняя доля отчислений на реновацию основных фондов.

В случае стабильности технико-экономических показателей определять годовые затраты в сфере использования техники для условий расширенного воспроизводства можно определить по формуле [3]

$$Z_t = I_t + (\rho_b + E_n) K_t$$

где ρ_b – норма реновации основных фондов при использовании, определяемая с учетом фактора времени.

Как видно, здесь учитывается нормативный прибавочный продукт. В этом случае эффект будет представлять собой сверхприбыль в сфере использования средств труда. Значение его будет меньше, чем при расчете по ранее рассмотренному методу. Поскольку затраты в сфере применения средств труда, согласно [4], применяются без учета затрат на приобретение оцениваемой техники, то общий эффект за расчетный период можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \varepsilon = & \left\{ \sum_{t=t_v}^{t_k} Q_t \cdot \Phi_t - \left[\sum_{t=t_v}^{t_k} H_t^p + \sum_{t=t_v}^{t_k} (\Phi_t^o + H_t^o) \right] \right\} \alpha_t + \\ & + \left(\sum_{t=t_v}^{t_k} \Phi_t^o - \sum_{t=t_v}^{t_k} H_t^p \right) \alpha_t = \left(\sum_{t=t_v}^{t_k} O_{\pi t}^{\dot{v}} - \sum_{t=t_v}^{t_k} O_{\pi t}^o \right) \alpha_t \end{aligned}$$

где Q_t – объем реализованной продукции за t -й год;

Π_t^n – затраты на приобретение техники;

Z_t^c – затраты на транспортно-монтажные работы;

Π^{pi} , Π^{pn} – прибыль, полученная в сфере эксплуатации и производства оцениваемой техники;
 α_t – коэффициент приведения по фактору времени для t -го года.

Таким образом, экономический эффект представляет собой фактически сумму общей прибыли, полученной изготовителем и потребителем оцениваемой техники за расчетный период. Это подтверждает применимость данного методологического подхода для оценки эффективности производства в условиях рыночных отношений. Однако новые средства труда внедряются для интенсификации производства, что требует определенных инвестиций и соответствующей оценки их эффективности. В этой связи с этим важным элементом процесса оценки решений является анализ затрат расширенного воспроизводства, при котором роль единовременных затрат заметно возрастает. Это повышает требования к учету затрат воспроизводства с точки зрения его аналитической его функции.

При исследовании динамики дифференциальных и интегральных функций показателей эффективности с использованием асинхронного и синхронного методов учета затрат могут возникнуть неоднозначные оценки из-за несоответствия осуществляемых и возмещаемых единовременных затрат. Например, в сфере применения техники это возникает, когда не все машины парка на момент оценки отработали нормативный срок службы. В этом случае экономический эффект, рассчитанный на основе асинхронного метода, будет больше, так как он учитывает лишь возмещенные единовременные затраты. При учете же всех осуществляемых общественных затрат труда за t лет интегральные затраты можно представить в виде

$$H_{0t} = \left[\Theta_{0t} + \sum_{i=1}^t (K_{pi} + K_{oi}) + E_v \sum_{i=1}^t (H_i^c + H_i^p) \alpha_i \right] \cdot \alpha_t,$$

где H_{0t} – интегральные текущие затраты в сфере производства машин без амортизационных отчислений на реновацию основных фондов;

K_{ci} и K_{oi} – единовременные сопутствующие и прямые затраты в сфере производства оцениваемой техники за вычетом ликвидационной стоимости средств труда в t -м году;

H_i^c и H_i^p – соответственно прямые и сопутствующие затраты в t -м году.

В этом формуле единовременные затраты учитываются асинхронным методом, а затраты обратной связи – синхронным. При синхронном учете всех затрат учитываются не осуществленные, а лишь возмещенные затраты. Тогда интегральные затраты за t лет могут быть определены по формуле

$$H_{0t} = \left[\Theta_{0t} + \sum_{i=1}^t (\rho_o + E_v) + H_{pi}(\rho_c + E_v) \right] \cdot \alpha_t,$$

где ρ_c – средняя доля отчислений на реновацию сопутствующих основных фондов.

Разность этих затрат в t -м году составит:

$$\Delta H_{0t} = \sum_{i=1}^t (K_{ci} + K_{oi}) - \sum_{i=1}^t (H_i^c \rho_o + H_i^p \rho_p).$$

Уменьшаемое этой формулы отражает сумму осуществляемых за t лет единовременных затрат, а вычитаемое – сумму возмещенных единовременных затрат за тот же период. Соответственно интегральный экономический эффект, на основе синхронного метода затрат должен быть уменьшен на недоамортизированную (невозмещенную) часть единовременных затрат ΔZ_{0t} .

Таким образом, исследование динамики экономического эффекта и более точное его выражение обеспечивается при асинхронном учете осуществленных единовременных затрат и синхронном учете затрат на расширенное воспроизводство. В связи с этим выражение интегрального хозрасчетного экономического эффекта можно представить в виде:

$$\dot{\varepsilon}_{0t}^x = \sum_{i=1}^t Q_i \Phi_i \left\{ \Theta_{0t} + \sum_{i=1}^t [K_{ci} + K_{oi} + E_v (H_i^c + H_i^p)] \right\}.$$

Таким образом, исследование экономической эффективности новой техники в условиях полной хозяйственной самостоятельности предприятий и рыночных отношений основывается на следующих основных принципах:

1. Исследование и управление эффективностью обновления техники должно осуществляться исходя из безусловной выгоды этого процесса для сфер производства, обращения и производственного потребления.

2. Исследование должно охватывать весь жизненный цикл новой техники по его основным стадиям с рассмотрением экономической эффективности техники как сложной функции от времени, находящейся под влиянием общественно необходимых затрат труда и других факторов, что определяет динамический аспект ее исследования как ведущий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новожилов В.В. Проблемы измерения затрат и результатов при оптимальном планировании. – М., 1972. – 434 с. 2. Гребенников П.И. Теоретические основы измерения затрат и результатов в социалистическом хозяйстве. – Л., 1986. – 296 с. 3. Лурье А.Л. Экономический анализ планирования социалистического хозяйства. – М., 1975. – 296 с. 4. Комплексная оценка эффективности мероприятий, направленных на ускорение НТП. Методические рекомендации и комментарии по их применению. – М., 1989. – 118 с.

УДК 658.7

Гринцевич О.П., Королько А.А.

ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь
Барановичский государственный университет
Барановичи, Беларусь*

Одним из важных факторов повышения эффективности предпринимательской деятельности является эффективное управление материальными запасами. Современные белорусские предприятия еще не включили управление запасами в состав основных направлений активно осуществляемой стратегии своего поведения в рыночной среде и явно недостаточно используют данный фактор повышения конкурентоспособности. Анализ существующей практики хозяйствования на предприятиях индустриально развитых стран показывает, что общим ориентиром в управлении запасами является их минимизация в допустимых пределах, приводящая к ускорению оборота собственных и привлеченных средств и повышение на этой основе конкурентоспособности, упрочение и расширение своей ниши на рынке товаров, работ и услуг.

Эффективная реализация этих задач осуществляется на основе использования методологических подходов и методического инструментария новой научной дисциплины – логистики.

Актуальность проблемы оптимизации материальных запасов предприятия и эффективного управления ими обусловлена тем, что состояние запасов оказывает определяющее влияние на конкурентоспособность предприятия, его финансовое состояние и финансовые результаты. Обеспечить высокий уровень качества продукции и надежность ее поставок потребителям невозможно без создания оптимальной величины запаса готовой продукции, а также запасов сырья, материалов, полуфабрикатов, продукции незавершенного производства и других ресурсов, необходимых для непрерывного и ритмичного функционирования производственного процесса. Заниженные запасы материальных ресурсов могут привести к убыткам, связанным с простоями, с неудовлетворенным спросом и, следовательно, к потере прибыли, а также потере потенциальных покупателей продукции. С другой стороны, накопление излишних запасов связывает оборотный капитал предприятия, уменьшая возможность его выгодного альтернативного использования и замедляя его оборот, что отражается на величине общих издержек производства и финансовых результатах деятельности предприятия. Экономический ущерб наносит как значительное наличие запасов, так и их недостаточное количество.

В современной рыночной экономике повышение эффективности управления материальными запасами достигается за счет внедрения логистической концепции, предусматривающей интегрированный подход к управлению запасами в границах логистической системы, подчинения стратегии управления материальными запасами глобальной рыночной стратегии предприятия, определения оптимальной величины запасов материальных ресурсов на основе прогнозных оценок их потребности, которая в свою очередь формируется в соответствии с графиком изготовления продукции и ее поставки потребителю.

При логистическом подходе к управлению запасами внимание уделяется временному аспекту. Благодаря подаче нужных материалов нужное место и в нужное время достигается значительное сокращение всех видов запасов материальных ресурсов, что дает возможность подойти к реализации концепции "производства с нулевым запасом".

С позиций логистики систему управления материальными запасами необходимо рассматривать как отдельную подсистему общей логистической системы, основная цель функционирования которой состоит в поддержании такого уровня запасов, при котором достигается высокая оборачиваемость запасов, удовлетворительное обслуживание потребителей и оптимальные издержки на хранение запасов.

Результаты анализа процессов управления материальными запасами на промышленных предприятиях позволяют утверждать, что используемые стратегии управления запасами не соответствуют рыночным принципам хозяйствования. Отсутствует целевой подход к формированию и хранению запасов. Управление запасами материальных ресурсов и финансово-хозяйственной деятельностью предприятия осуществляется изолированно. Рационализация запасов не рассматривается как крупный резерв экономического роста. Промышленные предприятия еще недостаточно используют данный фактор повышения конкурентоспособности, ограничиваясь лишь констатацией нехватки или излишка запасов. Отсутствует информация, позволяющая дать количественную оценку влияния уровня запасов на конечный результат деятельности предприятия.

Решение проблемы повышения эффективности управления материальными запасами в современной экономической среде требует перехода от традиционных методов управления к логистическим, позволяющим включить управление запасами в состав основных направлений активно осуществляемой предприятием стратегии своего рыночного поведения.

В связи с этим особую актуальность приобретает создание методического инструментария, позволяющего количественно оценивать, анализировать и прогнозировать различные варианты формирования стратегии управления запасами.

Различные аспекты управления материальными запасами рассматриваются в работах Баскина А. И., Беляева Ю. А., Волгина В. В., Инютиной К. В., Ледина М. И., Мельника М. М., Микитьянца С. В., Невелева А. М. и др.

Вопросам формирования логистической концепции посвящены работы Гаджинского А. Н., Гордона М. П., Костоглодова Д. К., Лубочнова В. В., Неруша Ю. А., Новикова О. А., Плоткина Б. К., Семениченко А. И., Смехова А. А., Туровца О. Г., Родионовой Н. П., Уварова С. А. и других авторов.

В работах Дж Ригса, М. Старра, О. Уайта, Дж. Ф. Мута и Дж. Томпсона, У. Черчмена определяются методологические подходы к управлению запасами и описываются модельные исследования закономерностей существования запасов.

Вместе с тем, вопросы управления материальными запасами в логистической системе и разработки соответствующего методического аппарата требуют в настоящее время дальнейшей проработки.

В условиях современной рыночной экономики, характеризующейся ориентацией на удовлетворение нужд потребителя, в области управления запасами появился ряд проблем, требующих для своего изучения новых подходов. К ним следует отнести организацию системы управления запасами как функциональной подсистемы общей логистической системы, разработку стратегии управления запасами с учетом глобальной логистической стратегии, формирования системы показателей для количественной оценки состояния материальных запасов в логистической системе и эффективности принимаемых управленческих решений, создание механизма взаимодействия субъектов логистического соглашения, гармонизирующего их экономических интересы.

Таким образом, внедрение логистической концепции в хозяйственную практику рыночных субъектов породило новые проблемы, требующие методологического обоснования и методического решения, однако в современных условиях эффективное управление материально-техническим обеспечением на предприятии невозможно представить без применения логистических подходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бауэрсокс, Д. Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок / Д. Дж. Бауэрсокс, Д. Дж. Клосс. - М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005.
2. Володина Е.В. Повышение экономической эффективности управления материальными запасами промышленного предприятия на основе логистической концепции: Статья/ Курганский государственный университет. – Курганск, 2006.
3. Труханович Д.Н. Логистические основы управления материальными ресурсами предприятия// Вести БНТУ. – 2006. – №6.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ НАУЧНОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Барановичский государственный университет

Барановичи, Беларусь

Постоянно увеличивающаяся потребность в знаниях в целях успешного экономического развития, с одной стороны, и отмечаемый многими исследователями их избыток по сравнению с использованием - с другой, в условиях объективно возрастающей стоимости знаний и ограниченности ресурсов даже в самых богатых странах обостряют проблему рационального использования средств, направляемых на развитие исследований и разработок (ИР).

Наиболее общими и все настойчивее реализуемыми принципами такой рациональности в управлении ИР являются выбор направлений, в которых каждая страна может добиться конкурентоспособных результатов, и усиление ориентации на конечный результат, на практическое использование, коммерциализацию (выход на рынок) ожидаемых новых технологических решений.

Эти принципы находят подтверждение и в современном науковедении. В частности, отмечаются следующие принципиальные изменения в науке и концептуально-методическом аппарате науковедения XXI столетия, имеющие важное значение для принятия государственных решений в сфере науки, технологии и образования.

1. Перед наукой ставятся определенные задачи. Из этого не следует, что главная и высшая цель науки - познание истины - лишается смысла, ценности и отступает на второй план. Однако в общем объеме задач, выдвигаемых обществом и государством, увеличивается удельный вес прагматически ориентированных проблем, все более размытым становится различие между чистой фундаментальной и прикладной наукой. Даже простое упоминание о геномной инженерии, трансгенозах, клонировании, компьютерном синтезе лекарственных молекул показывает, что такая академическая, фундаментальная наука, как молекулярная биология середины прошлого века, очень быстро перешла в стадию конструктивной геномной инженерии.

2. Современная наука в возрастающей степени переходит от функции абстрактного познания истины, чистого объяснения и предсказания к конструированию и проектированию технологий, систем управления, информационных систем, методов регулирования социальных процессов и т. д. Именно степень конструктивности современных научных знаний во многом определяет спрос на предлагаемые ими услуги. Самые конкурентоспособные товары, эффективные технологии создаются и реализуются на основе научных методов исследования, научно обоснованных принципов управления и маркетинга. Мышление современных ученых, их видение своего места в мире достаточно быстро меняются в направлении повышения уровня конструктивности и технологичности проектных решений, что уже зафиксировано в терминологии, принятой в системе поддержки фундаментальных и других академических исследований. Гранты, например, Российского фонда фундаментальных исследований, Фонда Карнеги, Фонда Форда и т. д., выдаются на проведение научных исследований в виде проектов, и все чаще их конечным продуктом являются не просто теоретические знания или открытия, но новые вещества, приборы, изделия или социальные структуры.

3. Современные научные знания все чаще оказываются источником создания новых технологий. Вместе с тем эти технологии ставят перед наукой новые задачи, неразрешимые на уровне традиционных знаний. Происходит процесс взаимовлияния быстрой технологизации наук, включая социально-гуманитарные, и одновременно совершенствование технологий с использованием новых, социально генерируемых для этих целей знаний.

4. В результате интеграции науки и производства и появления обширного класса задач высшей сложности стали проводиться много- и междисциплинарные исследования с применением знаний, относящихся к различным монодисциплинарным наукам, в результате чего происходит слияние научных и технологических знаний в новые системы знаний. Подобные системы могут представлять собой проект, программу или другую совокупность знаний, правил и принципов, разнородных по своему происхождению и статусу. В такую систему могут включаться технологические, естественно-научные, математические, экономические, социально-гуманитарные и другие знания. Будучи направленными на решение оп-

ределенной проблемы, они в состоянии образовать специфическую, часто нестандартную, целеориентированную, многокомпонентную систему знаний, создаваемую для решения конкретных задач.

Следует отметить, что изложенные выше подходы в известной мере реализовывались в управлении научно-технологическим развитием и в Беларуси, в частности, с помощью программно-целевых методов. Вместе с тем продолжается сокращение научно-технического потенциала и острая конкуренция на мировом технологическом рынке требуют более глубокой адаптации новых методологических подходов и на этой основе усиления научного обоснования методов управления наукой и инновациями именно для условий Беларуси.

Оценка результатов научной деятельности является важнейшим элементом системы управления исследованиями и разработками как на государственном уровне, так и на уровне организаций и предприятий. Постоянно проводимая не только по завершённым исследованиям, но и периодически в процессе выполнения каждого исследования, она позволяет повысить эффективность затрат на науку путем приоритетной поддержки конкурентоспособных работ и своевременного прекращения исследований и разработок по причинам их бесперспективности или изменения условий по сравнению с теми, которые были в начале работы (появилась новая информация, касающаяся данной или аналогичной работы, изменился взгляд на проблему, у заказчика возникли новые задачи и т. п.).

Основная цель оценки состояния направлений научной деятельности связана с определением их потенциала для концентрации государственных ресурсов на научных исследованиях, обеспечивающих реализацию приоритетов социально-экономического развития Республики Беларусь, на разработке новых технологических процессов, конкурентоспособной на мировых рынках продукции, на формировании перспективных научных направлений, программ развития организации и отраслей экономики.

В Научно-исследовательском экономическом институте разрабатываются новые методологические подходы и научно-методические рекомендации по такой оценке с учетом мировых тенденций, отечественного и зарубежного опыта проведения ИР в новых условиях глобализации, информатизации, создания сетевых структур и компьютерных технологий. Это сложная, требующая изучения большого объема информации работа, в том числе построения систем статистики в области научной, научно-технической и инновационной деятельности в разных странах, выработки базовых, исходных положений концептуального характера.

Наряду с изложенными выше подходами, при разработке рекомендаций по оценке научных направлений автор предлагает учитывать следующие.

Наука – стратегический приоритет современного государства. Для Беларуси сейчас важно формирование проблемно ориентированной исследовательской среды. Исходя из условий настоящего периода, это предполагает прежде всего увеличение темпов роста объемов финансирования науки по сравнению с темпами роста ВВП. Эта задача сложна не только с позиции изыскания финансовых ресурсов, но и обеспечение их эффективного использования. Рост затрат на ИР должен сопровождаться развитием взаимодействия между наукой, производством и образованием в самых разных формах их проявления. В настоящее время, когда в Беларуси существенно реформируется структура экономики, а также ее научно-технический потенциал, крайне важно сохранить и поддержать в науке все исследования, с помощью которых формируются направления общего развития. При этом не следует ориентироваться только на стандартные образцы организации научной деятельности или на усвоение зарубежного опыта без учета реальных условий. Именно в зависимости от этих условий в каждом частном случае необходимо искать оптимальные варианты решения проблемы организации взаимодействия – малые инновационные предприятия, интеграционные проекты, творческие коллективы, научно-производственные системы и другие.

Следует учитывать, что в недалеком будущем технологическая и инновационная политика должна фокусироваться не на изолированных предприятиях и учреждениях, а на содействии их организации в сети и кластеры. Под кластерами обычно понимается сеть организаций, научных учреждений (включая университеты), служб, организующих взаимодействие науки и производства, поддерживающих организации (брокеров, консалтинговых фирм) и потребителей, связанных в единую производственную цепочку, производящую добавленную стоимость.

Настоящий период развития – это поколение (фаза) эволюции ИР, для которого характерен процесс взаимозависимого обучения, предполагающий участие в разработке инноваций как производителей, так и покупателей, поставщиков и других заинтересованных лиц. Высказывается гипотеза о переходе к следующему поколению управления ИР – программированию стратегических инноваций.

Наряду с формированием крупных научных организаций, способных обеспечить существенный прогресс на отдельных направлениях научно-технологического развития, в настоящее время, в условиях постоянного сокращения научной сферы, следует дорожить практически каждым специалистом в науке

и учитывать, что увлечение организационными мерами, приводящими, как правило, к существенным изменениям в научных коллективах, может дать негативный результат. Исследования, как отмечалось, становятся все более междисциплинарными, а работа в одном направлении оказывается весьма результативной для других направлений. В связи с этим актуализируются сетевые взаимодействия, в том числе виртуальные, способствующие сопоставимости мнений и взглядов различных исследователей на одну проблему и нахождению оптимального решения.

Исследования и разработки должны осуществляться сообразно направлениям стратегии инновационного развития экономики, а также с учетом мировых научных тенденций, и в зависимости от этого в разной степени концентрироваться в соответствующих секторах - государственном, предпринимательском, частном бесприбыльном, высшего образования.

В XXI веке появились новые вызовы в сфере управления процессами инновационной активности, и именно в этой области значимость государственной политики в целях обеспечения конкурентоспособности страны трудно переоценить.

Идентификация стратегических направлений - главное условие роста эффективности научной и инновационной деятельности. В связи с этим среди функций государства приоритет получает обоснование долгосрочной стратегии инновационного развития по результатам научно-технологического прогнозирования, идентификации отраслей и технологий, перспективных с точки зрения конкурентоспособности и насыщения внутреннего рынка. Примат стратегии перед тактикой позволяет наиболее эффективно использовать возможности текущего периода и реально ускорить развитие. Ошибки в стратегии, например, преимущественное вложение средств в традиционные отрасли без их коренной технологической модернизации, обусловленной износом активной части производственных фондов, ведет не просто к потере этих средств, но и к недополучению их прогрессивными наукоемкими отраслями, конкурентоспособными в настоящем периоде и в перспективе. Поэтому, по мнению экспертов, при прогнозировании возможностей будущего роста следует критически оценивать нынешнее представление о доходности. Пример - биотехнологии. Объем их применения, благодаря достижениям молекулярной биологии и генной инженерии, удваивается каждый год. Те, кто сегодня вкладывают деньги в это направление, имеют возможность получать отдачу в виде 30 - 40% роста производства. В фармацевтике, сельском хозяйстве и даже в добывающей промышленности возник огромный спрос на новые биотехнологические разработки. Подобные сопоставления позволяют более обоснованно определять приоритеты развития.

Начальным этапом разработки инновационной стратегии страны в связи с этим является анализ приоритетных направлений научно-технической деятельности. Результаты анализа должны стать основой для идентификации «точек роста», выстраивания стратегии их развития и конструирования в каждом случае систем взаимодействия науки, производства и образования, наилучшим образом обеспечивающих достижение конкурентоспособных результатов. Фактически - это элементы научно-технологического прогнозирования, которое непрерывно совершенствуется во всех странах. Средние и малые страны (Финляндия, Норвегия, Дания и др.), не располагающие возможностью организовать финансирование широкого фронта научных исследований, позиционируют в немногих активно расширяющихся областях рынка. Другие европейские страны пошли на мягкое объединение своих экономик в координатах инновационного развития в пространстве ЕС ввиду бесперспективности индивидуального противостояния на мировом рынке технологий. Однако гармонизация инновационного развития в рамках ЕС вовсе не означает простое объединение стран-партнеров. Им пришлось прежде определить, за что они должны отвечать вместе, за что - по отдельности, какой должна быть стратегия инновационного развития отдельных регионов, а какой - отдельных организаций и фирм.

Изложенные подходы могут быть использованы при разработке методических рекомендаций, в которых основное внимание должно уделяться системе показателей и организации процедуры оценки.

В основу подхода к формированию системы показателей для оценки направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности положен принцип полноты охвата всех этапов деятельности, доступность информации и ее соответствие требованиям государственной статистики.

В качестве основных источников информации о показателях могут быть использованы методические рекомендации ОЭСР по изучению научной и инновационной деятельности - соответственно Frascati Manual и Oslo Manual, государственная статистика Беларуси и России.

Набор предлагаемых показателей структурирован по принципу «вход (ресурсы) - выход (результаты)» и, кроме того, характеризует организационные аспекты деятельности (наличие коллективов, лидеров) и взаимодействия (участие в международных конференциях, связь с образованисм и др.), являющиеся важным фактором успешной деятельности. Он учитывает современные требования к усилению инновационной составляющей научных исследований и развитию сетевых взаимодействий, ориентиро-

ван на экспертную оценку потенциала каждого направления с точки зрения развития науки, наличия и перспектив появления инновационных идей, приемлемых для реализации в республике или для международного технологического обмена.

К этим показателям относятся: ресурсы научной деятельности, организация научной деятельности, связь с системой образования, результаты научной, научно-технической и инновационной деятельности, инновационный потенциал.

На основе анализа показателей и представленной информации эксперты составляют аргументированное заключение о состоянии и перспективах развития данного научного направления и условиях, необходимых для повышения эффективности и ускорения коммерциализации результатов, которое включает:

- общую характеристику направления научной деятельности;
- его значимость для науки и производства (социальной сферы);
- оценку научного направления с позиции конкурентоспособности полученных и ожидаемых результатов;
- заключение о состоянии, перспективах развития данного направления;
- перечень условий, необходимых для развития направления.

Выполнение этих рекомендаций предъявляет высокие требования к экспертам (руководителям направлений и научных организаций) в части объективности оценок и определения условий повышения эффективности исследований и разработок. Выводы экспертов должны быть нацелены на укрепление соответствующих направлений путем финансового и кадрового обеспечения, развития сетевых взаимодействий, международного сотрудничества и устранения сдерживающих причин.

Изложенные предложения по оценке научной деятельности предостерегают от злоупотребления формальными признаками для определения достоинств и недостатков каждой работы, указывают на важность обеспечения полноты информации, касающейся содержания оцениваемой работы, объективности, квалификации и интуиции экспертов, ориентации, в конечном счете, на возможность и целесообразность практического применения результатов исследований и разработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афонин, И.В. Инновационный менеджмент: учеб. пособие для студ. ВУЗов. Москва: Гардарики, 2005. 2. Балабанов, И.Т. Инновационный менеджмент. СПб.: Питер, 2001. 3. Исследование способов интенсификации трансфера научно-технических достижений Белгосуниверситета посредством современных средств телекоммуникаций и электронной торговли: Отчёт о НИР (заключительный). Мн: БГУ, 1999. 4. Медынский, В.Г. Инновационный менеджмент: учебник по спец. «Менеджмент организации» / В.Г. Медынский. – Москва: Инфра-М, 2005. 5. Мясникович, М.В. Инновационная деятельность в Республике Беларусь: теория и практика. Мн.: Аналитический центр НАН Беларуси; Право и экономика, 2004. 6. Нехорошева, Л.Н. Регулирование инновационной деятельности в условиях рынка: Учеб. пособие. Мн., 1995. 7. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 31.07.2003 № 1016 «О концепции инновационной политики Республики Беларусь на 2003-2007 годы».

УДК

Костюкевич Е.Н.

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ НА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В современных условиях каждое предприятие стремится к постоянному поддержанию своих конкурентных преимуществ, развитию и расширению: необходимо разрабатывать новую продукцию, совершенствовать выпускаемую или сочетать оба направления развития с целью не только максимизации прибыли, что нередко считается основной целью деятельности предприятия, но и выживания предприятия в условиях жесткой конкуренции. Именно конкуренция нацеливает деятельность предприятия на выпуск продукции необходимой для удовлетворения определенной потребности, и чем больше предприятие выпустит нужной для потребителя продукции, тем и выше будет его прибыль. Поэтому участ-

ники рыночных отношений, прежде всего те из них, которые занимаются производством, для обеспечения своей текущей и перспективной конкурентоспособности обязаны целенаправленно формировать и осуществлять свою инновационную деятельность на основе разработанной инновационной политики.

Конкурентоспособность продукции и конкурентоспособность предприятия соотносятся между собой как часть и целое. Конкурентоспособность предприятия зависит от конкурентоспособности продукции и от совокупности экономических показателей деятельности предприятия, отражающихся на результатах этой деятельности. Для обеспечения конкурентоспособности предприятия, являющейся основой его экономического роста, ему необходимо акцентировать внимание на уровне развития инновационной деятельности.

Можно выделить внешние предпосылки, которые заставляют предприятия развивать и поддерживать свою инновационную активность:

- *конкуренция между предприятиями* – характеристики продукта, с которым выходят на рынок конкуренты, заставляют предприятие с большим вниманием относиться к собственному разрабатываемому продукту;

- *изменяющийся спрос потребителей* – большое значение на деятельность предприятия оказывают предпочтения потребителей. Причем, чем быстрее предприятие сможет выявить появление новых видов спроса и обеспечить их удовлетворение посредством собственных продуктовых инноваций, тем более устойчивое положение оно займет в конкурентной среде. Таким образом, успех будет возможен только в том случае, если предприятием осуществляется непрерывное изучение предпочтений потребителей, с одной стороны, и организационная структура предприятия и его ресурсы таковы, что они позволяют в установленные сроки осуществить необходимые продуктовые инновации в полной мере;

- *быстрое развитие и диверсификация новых технологий* - в настоящее время технологии являются важнейшими факторами конкурентоспособности. На рынке идет жесткая конкурентная борьба и никогда вопрос оптимального использования имеющихся ограниченных ресурсов не стоял так остро, как сейчас. Невозможно достичь принципиального преимущества без разработки новых методов проектирования и подходов к организации производства, которые учитывали бы как технологические, так и экономические аспекты разработки и производства новых изделий, и обеспечивали бы поддержку изделия на протяжении жизненного цикла. Те предприятия, которые создадут эти новые технологии, будут иметь преимущества перед последователями;

- *позиция предприятия на рынке* – если предприятию удастся на время выйти в лидеры и определять стандарты на рынке за счет разработки новых продуктов, оно приобретает огромное преимущество перед конкурентами;

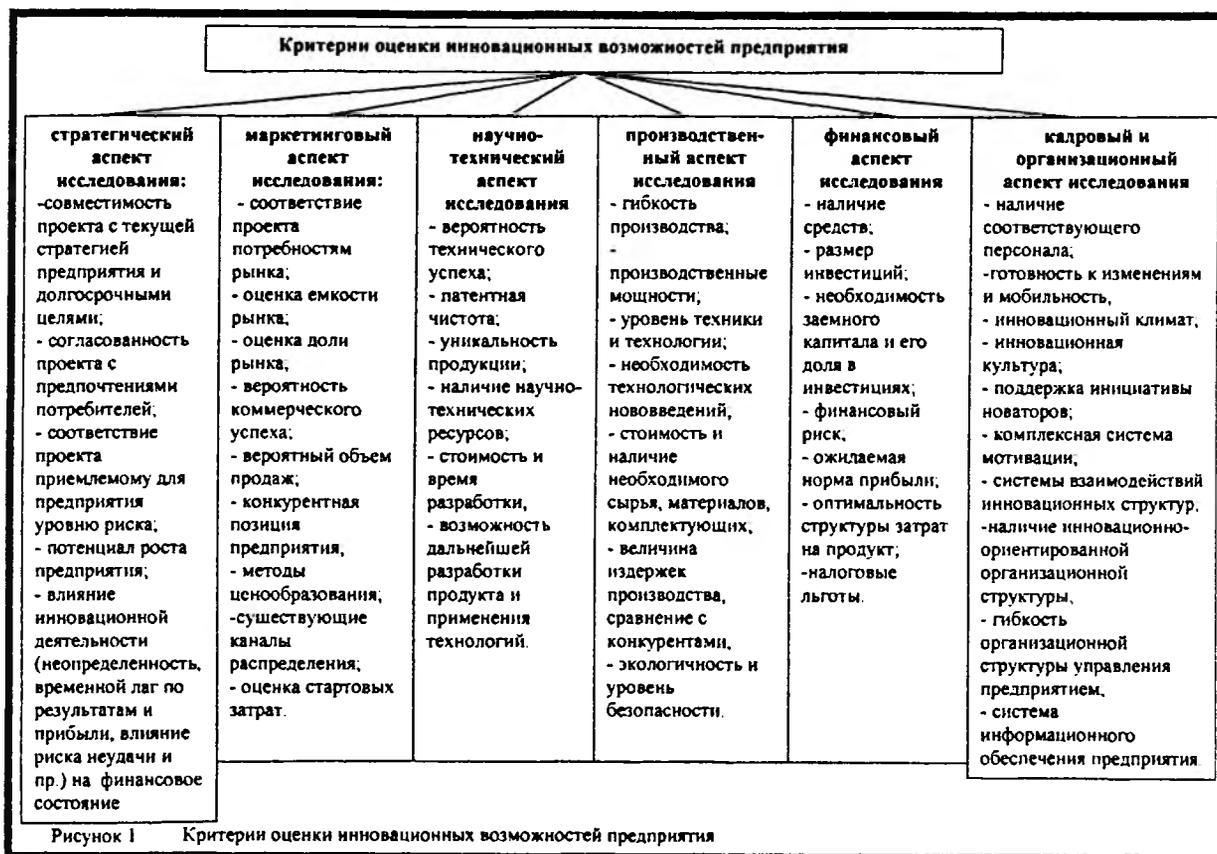
- *способность предприятия к инновациям и организационная гибкость* – помогают предприятию направлять на разработки перспективных проектов нужный объем средств, привлекать к работе по ним лучших специалистов и организовывать работу по проекту таким образом, чтобы полученные результаты оказались наилучшими.

Инновационные возможности предприятия – это средства, условия, необходимые для осуществления эффективной инновационной деятельности, и которые в свою очередь являются факторами, обеспечивающими конкурентные преимущества предприятия.

Инновационная деятельность предприятия, как ни одна другая связана с риском и неопределенностью результатов и в большинстве случаев не может осуществляться без капитальных вложений, это всегда инвестиционно - инновационная деятельность. Поэтому исследование инновационных возможностей может стать отправным в процессе формирования инвестиционной привлекательности предприятия, привлечения иностранного капитала, налоговых льгот и пр.

Следовательно, возникает необходимость в определении критериев, определяющих инновационные возможности предприятия, как для будущих инвесторов, так и для анализа с целью определения их соответствия намечаемым инновационным проектам.

Конечно же, универсальную систему критериев составить невозможно, она будет зависеть от особенностей конкретного предприятия, отраслевой принадлежности, его стратегических целей и прочих факторов. Для того чтобы выявить такие критерии необходимо знать приоритетные цели, задачи и стратегии конкретного предприятия, так как инновационные возможности предприятия с позиции одних целей могут быть достаточно высокими, а с других и не получить такой оценки. Общие критерии оценки были сформулированы через исследование таких аспектов деятельности предприятия как стратегическое планирование, маркетинг, научно-технические разработки, производство, управление финансами, кадровый и организационный анализ (рисунок 1). Чем больше положительных оценок по данным критериям получает исследуемое предприятие, тем выше его инновационные возможности, а, следовательно, и конкурентоспособность.



Инновационный проект, эффективный для одного предприятия может оказаться неэффективным для другого в силу объективных и субъективных факторов. Анализ деятельности инновационно ориентированных предприятий позволяет выделить основные факторы, обуславливающие инновационную активность:

- вид инновационной деятельности;
- уровень новизны инновационной продукции;
- удельный вес инновационной продукции в общем объеме выпуска;
- состояние инновационного потенциала и инновационного климата предприятия.

Для оценки этих факторов предлагается использовать показатели, характеризующие конкурентные преимущества предприятия и которые могут быть определены на основе экспертных оценок и сравнительного анализа показателей деятельности предприятия (таблица 1).

Подбирая для конкретного предприятия его факторы инновационной активности и предлагая весовые коэффициенты для каждого показателя конкурентных преимуществ можно заложить их в оценку конкурентоспособности как предприятия, так и его продукции. Приведенный перечень факторов инновационной активности не является исчерпывающим и может быть скорректирован и расширен.

Таблица 1 Факторы инновационной активности предприятия

Факторы инновационной активности	Показатели конкурентных преимуществ	Возможные значения показателей
1. Вид инновационной деятельности	Удельный вес затрат по видам инновационной деятельности в общих затратах на технологические инновации	-
1.1. Исследования и разработки новых продуктов, услуг, производственных процессов	Удельный вес затрат на исследования и разработку в общих затратах на технологические инновации	≤ 1
1.2. Приобретение машин, оборудования, связанных с технологическими инновациями	Удельный вес затрат на приобретение машин в общем объеме затрат на технологические инновации	≤ 1
1.3. Приобретение новых технологий	Удельный вес затрат на приобретение новых технологий в общих затратах на технологические инновации	≤ 1

Факторы инновационной активности	Показатели конкурентных преимуществ	Возможные значения показателей
1.4. Приобретение программных средств	Удельный вес затрат на приобретение программных средств в общих затратах на технологические инновации	≤ 1
1.5. Производственное проектирование	Удельный вес затрат на производственное проектирование в общих затратах на технологические инновации	≤ 1
1.6. Обучение и подготовка персонала, связанного с инновациями	Удельный вес затрат на обучение и подготовка персонала, связанного с инновациями в общих затратах на технологические инновации	≤ 1
1.7. Маркетинговые исследования	Удельный вес затрат на маркетинговые исследования в общих затратах на технологические инновации	≤ 1
2. Уровень новизны инновационной продукции	-	-
2.1. Радикальные инновации	Принципиально новое техническое решение	1,0
2.2. Улучшающие инновации	Удельный вес оригинальных технологических решений в принципиально новом техническом решении	0,9-0,4
2.3. Модифицированные инновации	Степень усовершенствования продукции по отношению к принципиально новому техническому решению	0,3-0,1
3. Удельный вес инновационной продукции в общем объеме	- высокий - средний - низкий	$>0,25$ 0,1-0,25 $<0,1$
4. Состояние инновационного потенциала	Оценка по пятибалльной шкале	-
5. Состояние инновационного климата	Оценка по пятибалльной шкале	-
6. Конкурентоспособность продукции	Комплексная оценка	-
6.1. Качество продукции		
6.2. Цена продукции		

ЛИТЕРАТУРА

1. Управление инновациями: Основы организации инновационных процессов: Учеб. пособие / А.А. Харин, И.Л. Коленский; Под ред. Ю.В. Шленова. - М.: Высш. шк., 2003. - 252 с.: л. 2. Миронова В.С. Управление конкурентоспособностью предприятий на основе факторов инновационной активности // Экономика и производство. - 2005. - №3. - С.18-21. 3. Переходов В.Н. Основы управления инновационной деятельностью. - М.: ИНФРА - М, 2005. - 222 с. 4. Гилева Т.А. Стратегический подход к управлению развитием машиностроительного предприятия // Экономика и производство. - 2006. - №1. - С.48 - 52.

УДК 681.3.01:339.138

Лавренова О.А., Бачанцева Е.А.

НАПРАВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ НА РЫНКЕ РЕКЛАМЫ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Современный рынок насыщен товарами и требует производства качественного товара, доступной цены и быстрой доставки потребителю. В век информатизации и компьютеризации сложно представить решение данной проблемы без помощи информационных технологий, неотъемлемой частью которых является сеть Интернет. Широкие возможности сети Интернет ставят перед современными компаниями достаточно сложную задачу эффективного использования интернет-технологий и требуют адаптации старых и разработки новых методов ведения бизнеса.

Преимущества применения информационных технологий в экономической сфере не вызывают сомнений. Новые сетевые технологии, по сравнению с традиционными, предоставляют зна-

чительно большую степень контроля и свободы выбора со стороны потребителя, а также делают возможным доступ к более дифференцированной информации.

Сеть Интернет благодаря свойствам интерактивности, эффекту присутствия и информационной насыщенности, а также за счет использования нелинейной навигации превосходит другие средства информации по возможностям общения с существующими и потенциальными клиентами.

Анализ рынка показывает, что основными направлениями использования сети Интернет для компаний являются:

- деловые коммуникации (включая и поиск деловых партнеров, получение информации о конкурентах);
- коммерция;
- маркетинговые исследования;
- реклама товаров и услуг.

В условиях насыщения товарного рынка компании важно сформировать положительный имидж выпускаемой продукции через комплекс маркетинговых коммуникаций, важной составляющей которого является реклама. Согласно закону Республики Беларусь «О рекламе» реклама - распространяемая в любой форме, с помощью любых средств информация о юридическом или физическом лице, товарах (рекламная информация), которая предназначена для неопределенного круга лиц и призвана формировать или поддерживать интерес к этим юридическому или физическому лицу, товарам и способствовать реализации товаров. Она является важнейшим инструментом продвижения товара и услуг компаний.

Как элементу комплекса стимулирования сбыта рекламе присущи характеристики:

- общественный характер (общепринятость товара и законность его использования);
- возможность многократного воспроизведения (способность рекламодателя обращать внимание на товар несколько раз, в результате чего покупатель имеет возможность сравнивать информационные обращения разных конкурентов);
- регулирование воздействия на потребителя посредством «сигналов»: шрифта, звука, цвета. «Сигналы» усиливают визуальное восприятие передаваемого сообщения и позволяют более эффективно рекламировать товар.

Целями рекламы могут быть:

- формирование у потребителя определенного уровня знаний о товаре (услуге);
- формирование определенного образа компании, благожелательного отношения к ней и побуждение потребителя обратиться к этой компании;
- формирование потребности в товаре (услуге) и побуждение к приобретению именно данного товара (услуги) у данной компании;
- стимулирование сбыта товара или эксплуатации услуг;
- увеличение и ускорение товарооборота;
- стремление сделать данного потребителя постоянным покупателем данного товара, постоянным клиентом компании;
- формирование у других компаний образа надежного партнера.

На практике реклама, как правило, преследует не одну, а сразу несколько целей. Целями рекламы могут быть увеличение товарного оборота, распространение или усиление положительного имиджа товара, компании, ознакомление с товаром, повышение доверия к товару и компании.

Как средство воздействия реклама использует многообразные приемы коммуникации: торговые презентации, специализированные выставки, каталоги, торгово-рекламная литература, плакаты, конкурсы, реклама на радио, телевидении и т.д. Отдельно выделяют такой способ коммуникации как Интернет-реклама.

Интернет-реклама - методика и техника общения в сети Интернет, предполагающая установление контакта между продавцом и потенциальным покупателем с целью побуждения последнего приобрести продукцию. С помощью Интернет-рекламы можно создавать и раскручивать брэнд, проводить маркетинговые исследования, медиапланирование и подбор рекламных площадок в различных сферах деятельности.

По сравнению с традиционными рекламными средствами реклама в сети Интернет имеет неоспоримые достоинства:

- Интернет — среда максимально эффективного и полного представления объекта рекламы, что связано с ее мультимедийными возможностями;

- Интернет — интерактивная среда, поэтому в процессе воздействия на пользователей Сети реклама помимо пассивного воздействия может играть активную роль;
- Интернет предоставляет рекламодателю самый эффективный по возможностям и стоимости способ фокусированного воздействия на целевую аудиторию и конкретных пользователей;
- Интернет предоставляет широкие возможности оперативного, четкого и глубокого анализа рекламных мероприятий;
- Интернет характеризует низкий порог входа, что особенно важно для малого и среднего бизнеса.

Исследования показывают, что реклама в сети Интернет является двухуровневой. Первым рекламным звеном является внешняя реклама: баннеры; текстовые блоки; реклама с помощью поисковых систем и каталогов; реклама в списках рассылки; публикации на новостных сайтах и т.п.

Вторым рекламным уровнем является веб-сайт компании. Веб-сайт предоставляет пользователям доступ к подробной информации о компании, товаре (услуге), дает возможность оформить заказ. Кроме того, потенциальные потребители могут комментировать рекламные объявления, запрашивать дополнительные сведения по электронной почте. Создание интерактивного веб-сайта способно значительно улучшить позиции компании на рынке благодаря таким уникальным свойствам Интернет-технологий, как:

- персонализация — реклама показывается только целевым посетителям сайта или посетителям с конкретными характеристиками;
- способность контроля за частотой показов рекламы — для каждой рекламной кампании и вида рекламы определена необходимая интенсивность воздействия на потребителя;
- способность контроля воздействия рекламы — посетителю показывается баннерная реклама в заданной последовательности.

В зависимости от поставленной цели и задач, на решение которых направлена рекламная деятельность в сети Интернет, различают два основных вида рекламы: имиджевую и стимулирующую рекламу.

Имиджевая реклама — это реклама по созданию благоприятного образа (имиджа) товара или компании. Основное назначение — ознакомление потенциальных потребителей с товаром (услугой), его назначением и характеристиками, а также с направлениями деятельности и преимуществами компании. Главная цель имиджевой рекламы — закрепление в массовом сознании положительного образа товара (услуги) или компании.

Имиджевая реклама, как правило, действует шире других видов рекламы. Она направлена не только на непосредственных покупателей, но и на более широкие слои населения, для того чтобы при расширении товарного ассортимента и сферы деятельности компания или товар вызывали у потребителей положительные эмоции. Обычно имиджевую рекламу в сфере производства или реализации товаров позволяют себе компании с устойчивыми позициями на рынке и с устойчивыми доходами. Иначе обстоит дело в сфере услуг, особенно финансовых. С имиджевой рекламой начинают свою деятельность банки, инвестиционные компании и фонды, так как без определенного имиджа и доверия клиентов они не смогут добиться положительных экономических результатов.

Стимулирующая реклама — самый распространенный вид рекламы. В ней важно подчеркнуть основные преимущества товара (услуги), его достоинства по сравнению с аналогами. Основная задача такой рекламы — стимулирование потребности в приобретении данного товара или эксплуатации данной услуги. В рекламных объявлениях стимулирующей рекламы небольших и средних компаний и фирм при рекламировании товаров повседневного спроса принято давать и элементы имиджевой рекламы, поскольку отдельную имиджевую рекламу такие фирмы себе позволить не могут.

Рынок Интернет-рекламы интенсивно развивается с 1994 года, ужесточая конкуренцию, расширяя спектр услуг, улучшая их качество и разнообразие. По сведениям The Financial Times со ссылкой на исследование Interactive Advertising Bureau Europe и PricewaterhouseCoopers объем бюджета интернет-рекламы только в Европе в 2007 году увеличился почти на 40 процентов по сравнению с 2006 годом. Исследователи прогнозируют, что несмотря на снижение темпов экономического роста на западных рынках, общемировой объем расходов на Интернет-рекламу будет расти в среднем на 13% в год вплоть до 2013 г.

Основной движущей силой рынка интернет-рекламы станут развивающиеся рынки, в том числе Россия, а также сегменты мультимедийной и видеорекламы. К концу 2008 г., по оценкам

JupiterResearch, совокупный объем расходов на Интернет-рекламу вырастет почти на 20% и достигнет \$23,8 млрд. К 2013 г., как прогнозируют специалисты Jupiter, объем мирового рынка Интернет-рекламы вырастет до \$43,4 млрд. Годовой темп роста при этом составляет 13%. Доля Интернет-рекламы в общем объеме мирового рекламного рынка также вырастет, однако потенциал роста этого сектора по-прежнему огромен. В 2007 г., по оценкам Jupiter, на долю Интернет-рекламы приходилось 8,4% рекламного рынка США. В этом году данный показатель вырастет до 9,6%, в 2009 г. - до 10,7%, и до 14,3% в 2013 г.

При всем этом наибольшую часть доходов от Интернет-рекламы приносит контекстная реклама. Ее доля увеличится с \$9,1 млрд. в 2007 г. до \$20,9 млрд. в 2013 г. Тем не менее, темпы роста этого сегмента, по оценкам Jupiter, замедлятся к концу прогнозного периода. По словам экспертов, это произойдет из-за «неспособности привлечь небольших местных рекламодателей в США и стабильной зрелости американского рынка платного поиска».

Модульную (макетную) и строчную (или рубричную) рекламу при этом ожидает небольшое замедление темпов роста из-за экономического спада в краткосрочной перспективе, тем не менее до конца 2013 г. их темпы роста будут составлять 14% и 9% соответственно.

Для рынка баннерной рекламы, специалисты Jupiter прогнозируют бурный рост сегмента видеорекламы. Если в 2008 г. на долю статических и текстовых баннеров придется около 63% рынка, то уже в 2013 г. они будут занимать лишь 41% рынка. Рекламодатели все чаще будут обращаться к мультимедийной и видеорекламе, объем рынка последней увеличится к 2013 г. в 4 раза и достигнет \$5,1 млрд.

Некоторое снижение доходов из-за продолжающегося экономического спада прогнозирует и рекламное агентство ZenithOptimedia (входящее в французскую сеть Publicis). В то же время, специалисты ZenithOptimedia возлагают большие надежды на развивающиеся рекламные рынки и ожидают стабильного роста рекламного рынка в мире в период с 2009 по 2010 гг. благодаря рынкам Азиатско-Тихоокеанского региона, Центральной и Восточной Европы, Ближнего Востока и Латинской Америки.

В Zenith также повысили прогнозы роста для рынка интернет-рекламы. В пользу интернет-рекламы, по мнению экспертов Zenith, говорит ее невысокая стоимость и удобство таргетирования определенной целевой аудитории. Улучшается качество и увеличивается количество онлайн-видео, растет аудитория зрителей, просматривающих ТВ-программы в Сети, соответственно, увеличивается и доля рекламы в этом секторе.

Таблица 1 - Доходы крупнейших интернет-компаний в России, 2007 г., млн долларов

	Компания	Общая выручка от Интернет-рекламы **	Выручка от медийной рекламы	Выручка от контекстной рекламы	Выручка от иной Интернет-рекламы ***
1	«Яндекс»*	167	28	133,6	5,4
2	РБК	88	83,6	0	4,4
3	Rambler (с учетом доходов «Бегуна»)*	65	34	25	6
4	Mail.ru *	46	31	0	15
5	«Бегун» (до слияния) *	11	0	11	0
6	Google *	10	0	10	0
7	«Auto.ru»*	7	5	0	2
8	«Одноклассники.ру»*	3	3	0	0
9	Newsru.com *	2,2	2,2	0	0
10	Gismeteo.ru *	2	1,5	0	0,5
11	«Газета.ру»*	1,8	1,8	0	0
12	«Коммерсант»*	1,5	1,5	0	0
13	«Эксперт»*	1,2	1,2	0	0
14	Остальные (в т.ч. баннерные сети) *	19,1	14,1	1	4
	Итого	424,8	206,9	180,6	37,3

* Показатель объема и структуры выручки компании - средняя оценка экспертов, опрошенных SNews

** Все данные без учета НДС

***** Текстовые блоки, реклама в видео, SMS-платежи, спонсорство разделов, размещение прайс-листов и иное**

Российский рынок интернет-рекламы эксперты называют одним из самых перспективных и быстрорастущих в мире. Интернет-реклама лидирует по темпам роста на российском рекламном рынке. Общий объем этого сегмента в 2007 г., по оценкам CNews Analytics, составил \$424,8 млн. (таблица 1). Прогноз роста на 2008 год у разных экспертов варьируется от 50% до 100% и, по самым оптимистичным прогнозам, к концу года объем рынка интернет-рекламы в России может превысить \$800 млн. Это уже заметные по европейским меркам масштабы, и в то же время рынок растет намного быстрее, чем западноевропейский или американский.

Благодаря интернет-рекламе компания может активно взаимодействовать с потребителями, привлекать их к участию в различных акциях, получать отзывы о своей работе, продавать свои товары или услуги. Важным преимуществом интернет-рекламы является возможность для маркетологов отслеживать, как потребители реагируют на определенные брэнды, изучать интересы настоящих и будущих потребителей.

Интернет предоставляет широкий выбор способов рекламирования, из которого каждая компания может выбрать подходящий для ее деятельности. Реклама в сети позволит компании выйти на новый, прогрессивный уровень развития, поможет привлечь широкий круг потребителей и получить дополнительную прибыль. Однако, для того, чтобы Интернет-реклама приносила результаты необходимо постоянно исследовать рекламный рынок, работать с потребителями, искать новые возможности и средства, учитывать деятельность конкурентов, планировать свою деятельность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сергей Ершов. Доходы от интернет-рекламы - <http://www.advertology.ru/article59428.htm>.
2. Успенский И. Энциклопедия Интернет-бизнеса. – СПб.: Питер, 2001. – 432 с.: ил.
3. Хабаров В.С., Барвинок А.В., Рамзаев В.М. "Маркетинг и Интернет". - М.: Инфра, 2001.
4. Материалы портала «Энциклопедия интернет-рекламы» - <http://www.book.promo.ru/>
5. Рынок российской интернет-рекламы может снова удвоиться в 2008г. - <http://www.advertology.ru/article61028.htm>

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.9

Дьяков И.И., Белицкий А.В., Белицкая А.И.

СТАНОК ДЛЯ ДВУХСТОРОННЕГО ОРЕБРЕНИЯ ПЛОСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛООБМЕННИКОВ С НЕПРЕРЫВНОЙ ПОДАЧЕЙ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Важнейшей проблемой создания высокоэффективных теплообменных аппаратов является разработка новых промышленных технологий получения ребристых поверхностей элементов теплообменников, а также создание прогрессивной оснастки для их реализации.

В этом плане весьма эффективным является способ, разработанный БНТУ по созданию отдельно оребренных элементов на основе безотходной технологии резания-скальпирования.

Эта технология рекомендуется для внедрения в автомобилестроении, машиностроении, электронной, холодильной и отопительной технике, ядерной энергетике и космической технике, т.е. в тех областях, где требуются высокоэффективные теплообменники при минимальных габаритах и массе.

Особенностью указанной технологии является возможность использования универсального станочного оборудования для ее реализации при применении специального режущего инструмента, изготовление которого может быть освоено на любом инструментальном производстве.

Схема оребрения плоских элементов теплообменников на основе выше указанной технологии приведена на рис. 1.

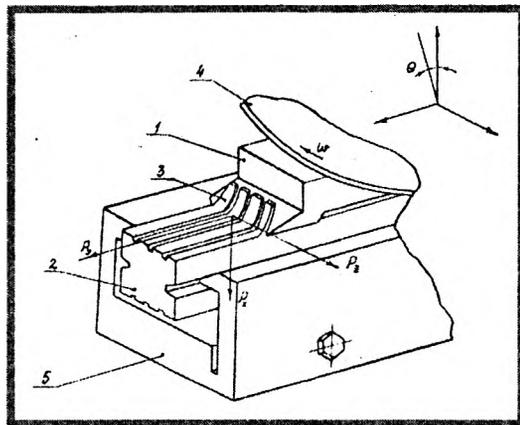


Рис. 1. Схема оребрения плоских элементов теплообменников

Недостатком реализации этого метода на универсальном оборудовании является ограничение длины обработанных элементов величиной хода стола, а также невозможность оребрения плоских элементов с двух сторон одновременно.

Поэтому работа, связанная с разработкой и использованием оборудования для оребрения плоских элементов теплообменников лезвийным инструментом с непрерывной подачей заготовки в зону резания, является весьма актуальной.

Для осуществления метода был разработан станок, позволяющий производить подачу заготовок значительной длины в зону резания с одновременным оребрением их с двух сторон.

Станок для двухстороннего оребрения плоских элементов теплообменников (рис. 2,3) содержит станину 1, на которой размещается привод главного движения и привод подачи. Для осуществления главного движения (движения резания) станок оснащен двумя режцовыми головками 2, в шпиндели 3, пинольного типа, которых установлены планшайбы 4, несущие режущие инструменты (резцы) 5. Режцовые головки 2 имеют возможность при наладке устанавливаться под углом относительно заготовки 6, а также они снабжены автоматическими приводами перемещения

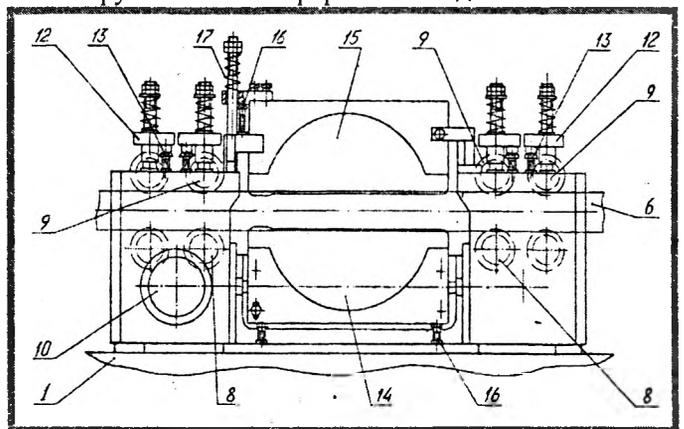


Рис. 2. Компоновка станка, вид

пиноли вдоль своей оси 7. Обе резцовые головки получают синхронное вращение через ряд зубчатых передач от общего электродвигателя.

Привод подачи заготовки имеет четкие пары роликов с рабочим профилем, копирующим профиль базовых поверхностей заготовки 6, при этом в каждой паре один ролик является ведущим 8, а другой - ведомым 9. Ведущие ролики 8 получают синхронное непрерывное вращение от электромеханического привода, состоящего из электродвигателя 10 и зубчатых колес 11. Ведомые ролики 9 поднимаются к заготовке 6 механизмами 12 с усилием, регулируемым опорами 13 и получают принудительное вращение от нее. В приводе подач предусмотрено также тормозное устройство в виде поддерживающего 14 (неподвижного) и прижимного 15 ножей с механизмами регулирования их установки 16 и усилия поджима 17.

Станок работает следующим образом. Включается привод главного движения и привод

подачи. После этого заготовку подают в зону работы первых пар роликов, где она получает подачу под действием фрикционных сил от ведущих роликов. После перемещения заготовки в зону резания идет ее оребрение с двух сторон одновременно резцами 5, установленными на планшайбах 4 резцовых головок 2. При этом заготовка, попадая в зону резания, дополнительно контактирует своими технологическими базами с направляющими поверхностями тормозного устройства, выполненного в виде поддерживающего и прижимного ножей, при этом усилие прижима ножа 15 регулируется. Тормозное устройство предназначено для стабилизации процесса резания, повышения жесткости заготовки в зоне резания и способствует повышению качества оребрения. На выходе из зоны резания ведут заготовку опять две пары роликов. Если заготовку подавать непрерывным потоком друг за другом, то при выходе из зоны резания заготовка будет поджиматься следующей заготовкой и, таким образом, в работе и на выходе заготовки будут участвовать четыре пары роликов.

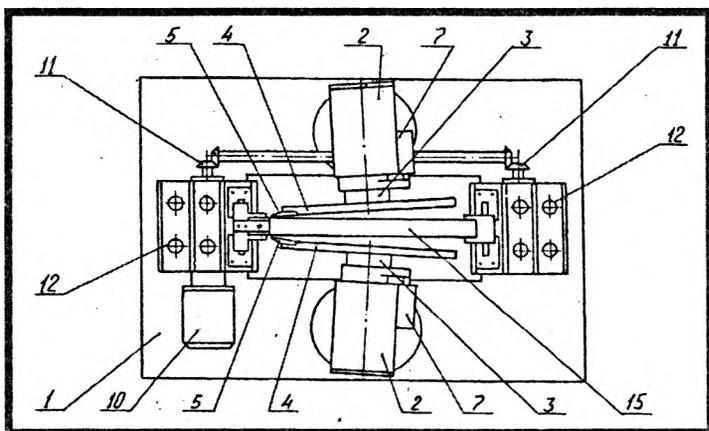


Рис. 3. Компонка станка, вид сверху

Таким образом, с внедрением разработанного станка, появляется возможность обработки заготовок значительной длины с двух сторон одновременно, обеспечивается безотходная технология получения оребрения с возможностью варьирования параметров оребрения в широких пределах, при этом производительность процесса увеличивается в 3,5- 4 раза.

Если же привод непрерывной подачи заготовок установить на стол консольного универсально-фрезерного станка горизонтального исполнения, а планшайбу с резцом в шпиндель станка, то можно обеспечить оребрение заготовок с одной стороны, при этом производительность будет теряться, примерно, в два раза, но не будет ограничения обработки по длине из-за хода стола.

Таким образом, внедрение в производство разработанного станка повысит производительность и качество обработки, а также обеспечит возможность получения теплообменных аппаратов не только из отдельных элементов, но и змеевиком типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяков И.И., Белицкая А.И., Новодворская Н.ИМ. и др. //Информационный листок о научно-техническом достижении / . Мн., 1988.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМЫХ СХЕМ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

Универсальность станка определяется реализуемыми кинематическими схемами обработки. Их синтез является ответственным этапом функционального проектирования станка, так как допущенные здесь ошибки не могут быть компенсированы на стадиях его конструирования. Методологической основой синтеза рациональной схемы обработки является теория формообразования поверхностей, согласно которой формирование поверхности резанием включает воспроизведение производящих линий (образующей и направляющей) и их относительное перемещение. При этом каждая из этих линий может быть образована или одним из простых методов (копирования, следа, касания, обката) [1] или их сочетанием (комбинированным методом) [2], а методы формообразования поверхности в целом представляют возможные сочетания методов формообразования производящих линий. Чем больше методов формообразования реализуется станком, тем шире его технологические возможности (универсальность) по форме обрабатываемых поверхностей. Возможность их реализации должна быть обеспечена при функциональном проектировании станка, прежде всего, за счет применения управляемых схем формообразования.

Метод формообразования производящей линии определяется ее материальным носителем, которым может быть производящий элемент инструмента (точка, линия или поверхность), кинематика станка или их сочетание, поэтому от выбора метода формообразования зависит сложность инструмента и станка. При методах копирования и обката производящим элементом является линия, однако в первом случае для образования линии не требуется движение формообразования и ее материальным носителем является только инструмент, а во втором случае линия формируется в результате сложного относительного движения производящего элемента как огибающая множества его положений. Материальным носителем формируемой линии в этом случае являются инструмент и кинематика станка, благодаря чему его универсальность повышается. По сравнению с методом копирования режущая часть инструмента упрощается и один инструмент позволяет обрабатывать множество поверхностей, однако сложность станка возрастает. Следовательно, при перенесении функции кинематики формообразования на инструмент механика станка упрощается, а конструкция инструмента усложняется.

Максимальная универсальность станка обеспечивается при методах следа и касания, благодаря тому, что производящим элементом является точка, которой для образования производящей линии в первом случае требуется сообщить одно, а во втором – два движения формообразования. Материальным носителем формируемой линии в этих случаях служит только кинематика станка, что и обеспечивает его универсальность.

Управление схемами формообразования для обеспечения требуемой универсальности станка достигается настройкой:

- соотношения скоростей и направлений элементарных движений, образующих исполнительные движения;
 - геометрических параметров схемы обработки,
 - относительного расположения и перемещения траекторий элементарных движений;
- а также использованием для формирования производящей линии различных участков образуемой линии.

Таким образом, требуемая траектория исполнительного движения в общем случае формируется методами кинематического и геометрического управления, что обеспечивается в станках с помощью копировальных устройств, механизмов-построителей или систем программного управления. Наиболее простым в реализации и наиболее точным является второй метод (кинематического профилирования), особенно если требуемая траектория движения формообразования создается согласованными постоянными по скорости и направлению движениями исполнительных органов станка. В этом случае исключаются ошибки в формировании образуемой линии, обуслов-

ленные при других методах, например, неточностью изготовления копира и работы копировальной системы или программированием координат отдельных точек этой линии.

Следует отметить, что метод кинематического профилирования применим не только для точного, но и для приближенного формирования производящих линий, например, когда заданная прямая заменяется кривой, отклонение которой от прямой не превышает допусковое значение. Аналогично, кривая линия может заменяться другой, легко формируемой, кривой, что повышает универсальность схемы обработки.

Следует иметь в виду, что требуемое согласование движений исполнительных органов при кинематическом профилировании производящих линий может обеспечиваться не только механическими, но также электромеханическими и мехатронными кинематическими связями [3]. Отличие последнего случая от метода формирования производящей линии программными средствами состоит в том, что задаются не координаты отдельных ее точек, а скорости движений исполнительных органов. В этом случае для согласования скоростей движений требуются не сложные системы ЧПУ, а более простые программируемые контроллеры.

Изменением соотношения скоростей и направлений элементарных движений, образующих движение формообразования, обеспечивается управление траекторией этого движения для ее приближения с требуемой точностью к принадлежащей номинальной поверхности производящей линии. Кинематическое управление формой производящих линий через параметры исполнительных движений (траекторию, скорость, направление, исходное положение, путь, относительное положение траектории) значительно расширяет технологические возможности схем обработки по форме поверхностей без введения дополнительных движений, т. е. без усложнения кинематики формообразования.

Такое управление является универсальным методом формирования сложных поверхностей. Оно широко применяется, например, в схемах кинематического профилирования, основанных на двух согласованных по скорости и направлению элементарных движениях. В этом случае траектория исполнительного движения представляет циклоидальную линию, которая в зависимости от кинематических и геометрических параметров схемы формообразования может быть прямой, окружностью, эллипсом и более сложными по форме кривыми [4]. Изменением относительного расположения плоскостей вращательных движений достигается модификация этих кривых, что расширяет технологические возможности схемы формообразования без введения дополнительных движений [2].

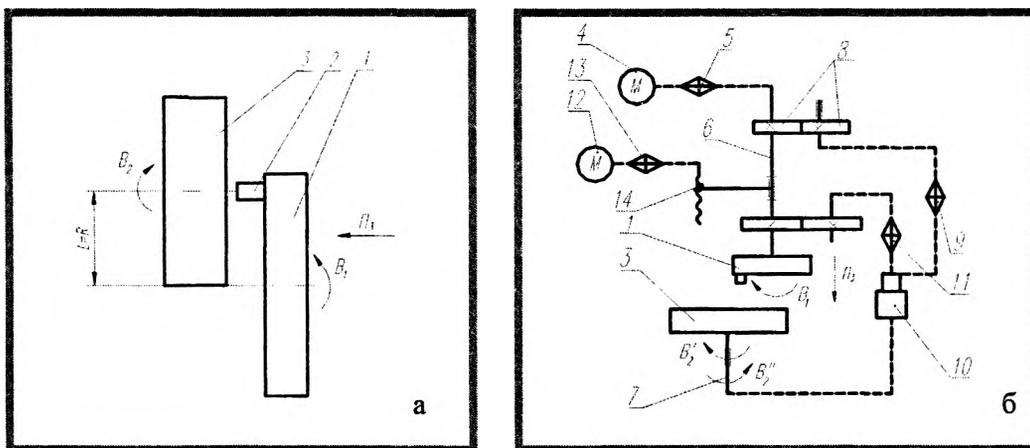


Рис. 1. Кинематическая схема профилирования (а) и кинематическая структура станка (б) для обработки пазов на торце детали

Простота реализации исполнительных движений, основанных на двух согласованных вращательных движениях, обусловила их широкое применение в различных способах зубообработки, в частности, зубчатых контуров (равномерно расположенных пазов) на торцах деталей. Их обработка осуществляется резцовой головкой 1, (рис. 1, а), которой и заготовке 3 сообщаются одинаково направленные согласованные вращательные движения соответственно V_1 и V_2 вокруг параллельных осей с отношением N их угловых скоростей, равным двум, и относительное движение подачи P_3 вдоль оси вращения заготовки [5]. При указанном отношении угловых скоростей и расстоянии L между осями резцовой головки и заготовки, равном радиусу R окружности, на которой расположены резцы 2, обеспечивается обработка только четного числа прямолинейных пазов, количество которых в два раза больше, чем резцов.

Технологические возможности данной схемы значительно расширяются, если изменять по определенному закону передаточное отношение частот вращательных движений инструмента и заготовки [6].

Например, для обработки зубчатых контуров с нечетным числом прямолинейных пазов угловые скорости движений V_1 и V_2 задают такими, чтобы в течение одного оборота инструмента их отношение N принимало в зоне обработки значение, равное двум (для формирования прямолинейного паза), а на остальном участке компенсировало вызванную несогласованность вращательных движений, нарушающую условие непрерывного деления.

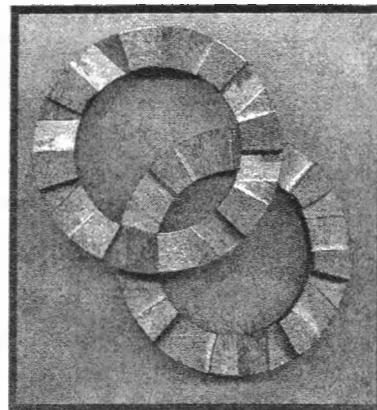


Рис. 2. Схема и графическая модель формообразования ТЗК (а) и образцы (б) обработанных деталей

Кинематическая структура станка с механическими связями, реализующего такую схему обработки, приведена на рис. 1, б. Станок содержит привод вращения инструмента 1, состоящий из двигателя 4 и органа настройки 5 скорости резания, шпиндели 6 и 7 соответственно инструмента 1 и заготовки 3, дополнительную кинематическую цепь с механизмом 8 автоматического изменения угловой скорости вращения заготовки и органом настройки 9, кинематическую цепь деления с суммирующим механизмом 10 и органом настройки 11. Для осуществления поступательного перемещения инструмента вдоль оси заготовки служит привод подачи, содержащий двигатель 12, орган настройки 13 и тяговое устройство 14.

Дальнейшее расширение технологических возможностей схемы обработки достигается за счет управления геометрическими параметрами L и R , исходя из геометрии торцового зубчатого контура, при условии, что $L \neq R$ [7].

Траектория исполнительного движения в этом случае (рис. 2, а) описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} X = L \cos \alpha - R \cos((N - 1)\alpha) \\ Y = L \sin \alpha + R \sin((N - 1)\alpha) \end{cases} \quad (2)$$

где α - угол поворота заготовки или перемещения резцовой головки в относительном движении.

Анализ системы (2) показывает возможность существенного изменения траектории исполнительного движения. За счет управления указанными параметрами достигается, например, обработка на одном станке (широкоуниверсальном зубошлифозерном станке модели ВС-50 производства Витебского станкостроительного завода «Вистан»)

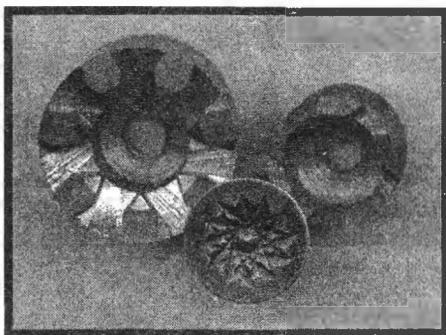
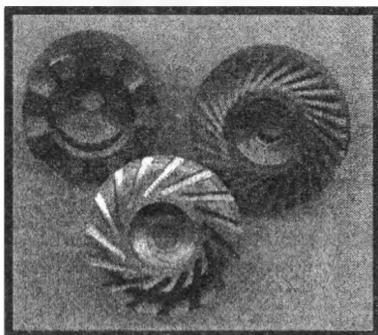


Рис. 3. Образцы деталей с торцовым зубчатым контуром, образованным кинематическим профилированием

зубьев кулачковой муфты (рис. 2, б) с вогнутыми (верхняя полумуфта) и выпуклыми (нижняя полумуфта) боковыми сторонами, что важно для повышения ее долговечности.

Данная схема при соответствующей настройке

позволяет также обрабатывать пазы со сходящимися к центру боковыми сторонами. Такая форма пазов обеспечивается, если точка боковой грани на среднем диаметре расположения пазов при-

надлежит касательной к траектории движения режущей кромки, проходящей через ось вращения заготовки.

Использование различных участков траектории исполнительного движения в качестве производящей линии и рассмотренных методов кинематического и геометрического управления позволяет обрабатывать на одном станке торцовые зубчатые контуры с различной геометрией и расположением пазов (рис.3).

Изменение относительной ориентации траекторий элементарных вращательных движений

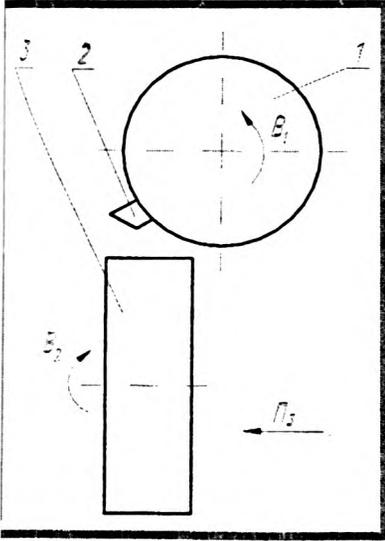


Рис. 4. Кинематическая схема обработки пазов на цилиндрической заготовке

позволяет трансформировать рассмотренную схему в схему обработки пазов на цилиндрической заготовке (рис. 4) [8]. Способы управления производящей линией, рассмотренные выше, применимы и для этой схемы обработки. Кинематика станка для обработки по ней пазов аналогична кинематике зубофрезерных станков обкатного типа, что позволяет реализовывать данную схему на существующих станках и тем самым расширить их технологические возможности.

Управление производящей линией возможно также относительным перемещением траекторий элементарных движений, составляющих исполнительное движение. На этом основан, например, способ обработки торцовых контуров с протяженными пазами [9], согласно которому заготовке и инструменту с равномерно расположенными по окружности резцами сообщают согласованные вращательные движения вокруг скрещивающихся под прямым углом осей и два согласованных поступательных движения подачи, одно из которых осуществляют вдоль оси вращения инструмента, а другое - перпендикулярно этой оси.

Таким образом, управляемые схемы формообразования обеспечивают расширение технологических возможностей станков без усложнения их кинематики. Их реализация с применением в обоснованных случаях числового программного управления еще в большей степени повышает универсальность станочного оборудования и упрощает осуществление движений с переменными параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федотенок А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков. – М: "Машиностроение", 1970.– 403 с.
2. Данилов В. А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием. – Мн: Навука і техника, 1995. – 264 с.
3. Данилов В. А. Особенности построения кинематической структуры станков для обработки сложных поверхностей // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Прикладные науки. – 2006. – №12. – С. 2-11.
4. Данилов В.А., Данилова Л.А. Кинематическое формирование производящих линий поверхности при обработке резанием на базе циклоидальных кривых // Вестник Полоцкого государственного университета, серия В "Прикладные науки". – №12. – 2004 – С. 44 – 53.
5. Карелин Н.М. Бескопирная обработка цилиндрических деталей. – М.: Машиностроение, 1966. – 187 с.
6. Патент 6165 ВУ. МПК⁷ В23С3/28. Способ обработки пазов на торцах деталей и станок для его осуществления / Данилов В.А., Киселев Р.А. (ВУ). – № а19990206; Заявл. 1999.03.02; Оpubл. 2004.06.30.
7. Патент 6063 ВУ. МПК⁷ В23С3/28. Способ обработки пазов на торцах деталей / Данилов В.А., Киселев Р.А. (ВУ). – № а19980652; Заявл. 1998.07.10; Оpubл. 2003.12.02.
8. Способ обработки пазов дисковой фрезой: А.с. 1798056 СССР, МКИ⁵ В23С 3/28 / В.А. Данилов /БИ. – 1993. – № 8.
9. Данилов В.А., Киселев Р.А. Способ обработки пазов на торцах деталей. №19990617 В23С 3/28 Афіційны бюлетэнь 4(27) 2000 г.

СИНТЕЗ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СТАНКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КРУГОВЫХ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

Под кинематической структурой станка понимается совокупность всех кинематических групп и межгрупповых связей, необходимых для реализации принятых схем формообразования. Кинематическая структура устанавливает функциональные связи исполнительных органов и механизмов станка, определяет принцип его работы для получения заданной поверхности и является основой для разработки компоновки и кинематической схемы станка. Поэтому разработка кинематической структуры является ответственным этапом схмотехнического проектирования станка.

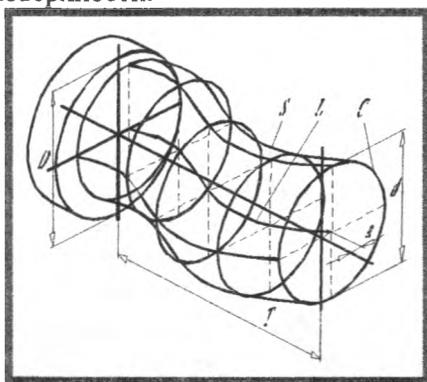
Построение кинематической структуры любого станка базируется на принципах, общих для станков с любыми кинематическими связями (механическими, электромеханическими, мехатронными, гидравлическими, комбинированными и др.) и системами управления [1]. Основными из них являются следующие:

–любое исполнительное движение в станке создается соответствующей кинематической группой (простое движение – простой, а сложное – сложной кинематической группой);

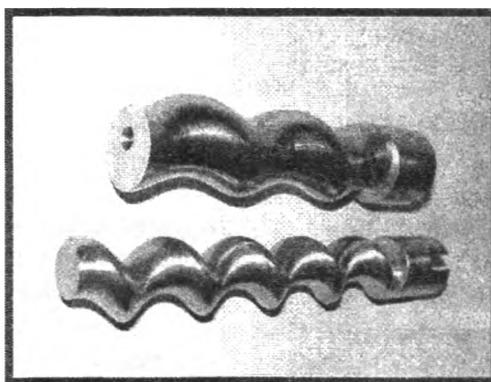
–каждая кинематическая группа содержит источник движения, внешнюю и внутреннюю связи, из которых внутренняя связь обеспечивает соответствующими органами настройки траекторию создаваемого движения, а внешняя связь – его скорость и направление, а также передачу энергии от источника движения во внутреннюю связь;

– кинематическая структура станка определяется структурой отдельных групп и способом их соединения между собой.

Основой для разработки кинематической структуры станка служит метод формообразования поверхности, представляющий сочетание методов формообразования ее производящих линий (образующей и направляющей). Последние определяются на основе анализа геометрии формируемой поверхности.



а



б

Рис. 1. Геометрия круговой винтовой поверхности (а)
и образцы деталей с такой поверхностью (б)

Круговая винтовая поверхность S (рис. 1, а) является кинематической, т. е. может быть представлена как след образующей при движении по направляющей. Вписанная в круговую цилиндрическую поверхность диаметром D в каждом поперечном сечении она представляет окружность S диаметром d . Основными геометрическими параметрами круговой винтовой поверхности являются диаметр поперечного сечения d , эксцентриситет профиля e и шаг T . Конструкция станка для обработки круговых винтовых поверхностей должна обеспечивать получение производящих линий поверхности (окружности и винтовой линии) и возможность настройки указанных параметров.

Круговыми винтовыми поверхностями ограничены, например, роторы одновинтовых насосов (рис. 1, б), которые достаточно широко применяются в технологическом оборудовании различных отраслей промышленности. Следует отметить, что отечественная промышленность не

производит станки для обработки круговых винтовых поверхностей, поэтому детали импортного оборудования с такими поверхностями обычно приобретаются за рубежом. В этой связи актуально освоение производства таких изделий, что связано с созданием соответствующего оборудования и разработкой технологии их обработки.

Учитывая, что любую поверхность можно представить как след движения одной линии (образующей) по другой (направляющей), круговую винтовую поверхность (рис. 1, а), можно получить относительным перемещением окружности и винтовой линии. При этом возможны два варианта образования круговой винтовой поверхности: в первом случае образующей является окружность, которая перемещается по направляющей винтовой линии; во втором случае, наоборот, окружность является направляющей. Второй случай является нерациональным, т.к. его реализация связана с дискретным движением деления и образованием огранки на обработанной поверхности. Поэтому задача синтеза кинематической структуры станка рассматривается здесь для первого варианта, когда образующей поверхности S является окружность C , а направляющей – линия L .

Окружность, как образующая круговой винтовой поверхности, может быть образована различными методами [2]. Наиболее просто она формируется методом следа при перемещении вдоль нее производящей точки, например вершины резца. Это перемещение (движение профилирования) может создаваться вращением производящей точки (движением $\Phi_V(B)$) или сочетанием, как минимум, двух элементарных движений, например, вращательного B_1 и осциллирующего (возвратно-поступательного) O_2 , совершаемых кинематически связанными между собой исполнительными органами станка, несущими инструмент и заготовку. Их сочетанием создается движение резания $\Phi_V(B_1O_2)$. Здесь рассматривается более сложный второй случай.

Направляющая круговой винтовой поверхности, формируемая методом следа, образуется винтовым движением подачи T_S – согласованными вращательным B и поступательным Π движениями, т. е. движением $\Phi_S(B\Pi)$.

Множество возможных кинематических схем обработки круговых винтовых поверхностей определяется распределением между инструментом и заготовкой элементарных движений, составляющих движения формообразования. Более простым является вариант реализации рассматриваемой схемы, когда производящая окружность формируется в результате согласованных возвратно-поступательного движения O_2 резца 2 (рис. 2) перпендикулярно геометрической оси O заготовки 1 и вращения B_1 последней вокруг этой оси. Параметры возвратно-поступательного движения резца таковы, что центр образующейся окружности в любой момент времени отстоит от геометрической оси O заготовки на величину эксцентриситета профиля e .

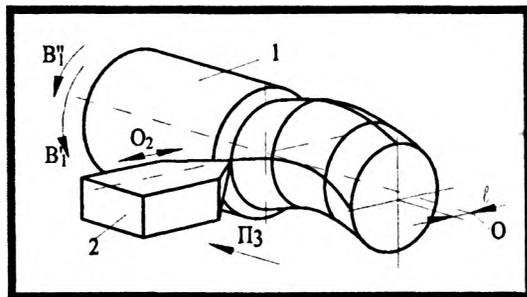


Рис. 2. Схема формообразования круговой винтовой поверхности точечным производящим элементом

Необходимое для формирования круговой винтовой поверхности перемещение образующей окружности по винтовой линии заданного шага осуществляется за счет дополнительного вращения B_1'' заготовки вокруг своей геометрической оси, согласованного с поступательным движением Π_3 резца параллельно оси O_1 заготовки. Соотношение между этими элементарными движениями таково, что за время перемещения инструмента относительно заготовки на шаг формируемой винтовой поверхности заготовка должна совершить один дополнительный оборот. Таким образом, круговая винтовая поверхность формируется двумя сложными исполнительными движениями – движением резания $\Phi_V(B_1''O_2)$ и винтовым движением подачи $\Phi_S(\Pi_3 B_1'')$. Так как вращение заготовки согласовано с возвратно-поступательным движением резца, то вместо дополнительного вращения заготовки инструменту может сообщаться дополнительное возвратно-поступательное движение O_4 (рис. 3) В этом случае за время перемещения инструмента на то же расстояние резец должен совершить дополнительно один двойной ход.

Таким образом, исходя из кинематики формообразования, исполнительными органами станка для обработки круговых винтовых поверхностей являются шпиндель с заготовкой, продольный и поперечный суппорты, а его кинематическая структура должна содержать две сложные кинематические группы: группу движения профилирования поперечного сечения поверхности и группу винтового движения.

Такую кинематическую структуру имеет станок [3] для обработки круговых и других типов винтовых поверхностей, структурная схема которого представлена на рис. 3. Станок содержит шпиндель 1, несущий обрабатываемую заготовку 2, станину 3, на которой с возможностью перемещения вдоль нее установлен продольный суппорт 4, несущий поперечный суппорт 5 и установленную на нем с возможностью перемещения поперек станины каретку 6 с закрепленным на ней резцом 7. После обработки заготовки резцом ее окончательная обработка может осуществляться также инструментом для поверхностно-пластического деформирования.

Продольный 4 и поперечный 5 суппорты снабжены тяговыми устройствами, соответственно 8 и 9, служащие для перемещения этих суппортов. Тяговое устройство 8 связано со шпинделем 1 кинематической цепью, содержащей орган настройки 10 подачи продольного суппорта и реверсивный механизм 11 для настройки ее направления. Тяговые устройства 8 и 9 связаны между собой кинематической цепью, содержащей орган настройки 12 соотношения скоростей перемещения продольного и поперечного суппортов и реверсивный механизм 13 для настройки соотношения направлений этих движений при обработке конических винтовых поверхностей.

На поперечном суппорте 5 смонтирован механизм 14 возвратно-поступательного движения каретки 6, который связан со шпинделем 1 кинематической цепью, содержащей суммирующий механизм 15 и орган настройки 16, служащий для задания соотношения между одним оборотом шпинделя и числом двойных ходов каретки 6 при обработке многозаходных винтовых поверхностей. Через суммирующий механизм 15 механизм 14 связан также с тяговым устройством 8, что позволяет сообщать каретке с инструментом 7 дополнительное движение, необходимое для получения на заготовке винтовой поверхности. Шаг этой поверхности настраивается органом 17.

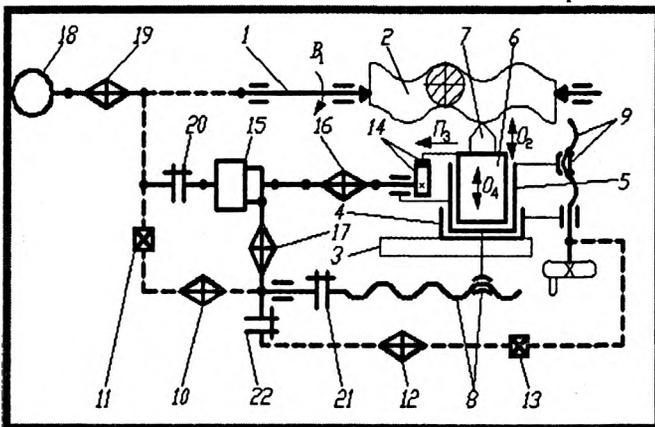


Рис.3. Структурная схема станка для обработки круговых винтовых поверхностей

когда создаваемые ими движения не требуются для обработки заданной поверхности.

Кинематическая структура данного станка включает множество частных кинематических структур, обеспечивающих обработку различных винтовых поверхностей: цилиндрических и конических резьб, спиралей на торцах деталей, круговых и канальных винтовых поверхностей. Рассмотрим частную кинематическую структуру станка, соответствующую обработке круговых винтовых поверхностей.

Данная структура содержит две сложные кинематические группы: группу движения профилирования $\Phi_V(B_1O_2)$ (образования производящей окружности) и группу движения $\Phi_S(P_3O_4)$, обеспечивающего образование направляющей поверхности.

Внутренняя связь группы движения профилирования выполнена в виде кинематической цепи, связывающей шпиндель 1 с кулачком механизма 14 через суммирующий механизм 15 и орган настройки 16. Внешняя связь этой группы соединяет двигатель 18 с внутренней связью через орган настройки 19 скорости исполнительного движения. Внутренняя связь второй кинематической группы соединяет тяговое устройство 8 с кулачком механизма 14 через орган настройки 17, суммирующий механизм 15 и орган настройки 16. Внешняя связь этой группы соединяет двигатель 18 с ее внутренней связью через органы настройки 19, 11 и 10.

Станок настраивается в соответствии с режимом резания и параметрами обрабатываемой круговой винтовой поверхности (диаметр ее поперечного сечения, эксцентриситет профиля, шаг и направление винтовой поверхности). При настройке станка диаметр поперечного сечения (производящей окружности) устанавливается перемещением поперечного суппорта 5 поперек станины, эксцентриситет профиля обеспечивается установкой в механизме 14 возвратно-поступательного движения каретки 6 сменного кулачка соответствующей формы, шаг получаемой винтовой поверхности настраивается органом 17, а ее направление (левое или правое) – реверсивным меха-

низмом 11. Элементы режима резания – скорость резания (частота вращения шпинделя с заготовкой) и подача продольного суппорта настраиваются соответственно органами 19 и 10.

При обработке круговой винтовой поверхности станок работает следующим образом. Шпиндель 1 с заготовкой 2 получают от двигателя 18 вращение V_1 с частотой, настроенной органом 19, а каретка 6 с инструментом 7 – возвратно-поступательное (осциллирующее) движение O_2 , согласованное с вращением шпинделя. В результате осуществления этих движений на заготовке 2 инструментом 7 формируется заданный профиль поперечного сечения круговой винтовой поверхности – окружность определенного радиуса.

Одновременно с указанными движениями получает прямолинейное перемещение P_3 продольный суппорт 4, благодаря чему осуществляется обработка поверхности по длине. Вследствие того, что тяговое устройство 8 через суммирующий механизм 15 связано с механизмом 14 возвратно-поступательного движения, каретка 6 с инструментом 7 получают дополнительное возвратно-поступательное движение O_4 , вследствие чего инструментом формируется винтовая поверхность с круговым профилем, требуемый шаг которой обеспечивается органом настройки 17, а ее направление – реверсивным механизмом 11.

Аналогично станок работает при обработке каналовых винтовых поверхностей. Отличие в настройке станка в этом случае состоит в установке в механизме 14 возвратно-поступательного движения каретки кулачка определенной формы, соответствующей профилю поперечного сечения формируемой каналовой поверхности.

При отсутствии специального оборудования для обработки деталей с круговыми винтовыми поверхностями в условиях мелкосерийного производства целесообразно использовать модернизированные универсальные станки. Проведенный анализ известных станков показал, что наиболее близкую кинематическую структуру к станкам для обработки круговых винтовых поверхностей имеют токарно-затыловочные станки. Рассмотренная частная кинематическая структура реализована при модернизации универсального токарно-затыловочного станка модели 1Б811, конструкция которого обеспечивает возможность настройки всех параметров круговой винтовой поверхности, что позволяет обрабатывать на нем широкую номенклатуру роторов винтовых насосов [4], образцы двух из которых показаны на рис. 1, б. Благодаря этому решена задача освоения производства роторов винтовых насосов по заказам промышленности, что позволило отказаться от их закупки за рубежом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федотенок А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков. – М: "Машиностроение", 1970. – 403 с.
2. Данилов В. А., Чепурной А. А. Сравнительный анализ схем формообразования круговых винтовых поверхностей // Теория и практика машиностроения: междунар. науч.-техн. журнал. 2005. – №2. – С.36 – 39.
3. Патент 4118 ВУ. МПК В23В 1/00, В23G 1/00. Способ обработки пазов на торцах деталей и станок для его осуществления / Данилов В.А., Чепурной А.А. (ВУ). – Заявка № и 20070465; Заявл. 2007.06.25; Оpubл. 2007.12.30.
4. Данилов В.А., Чепурной А.А. Синтез и реализация схем формообразования каналовых винтовых поверхностей резанием // Вестник Полоцкого государственного университета, серия В "Прикладные науки". – 2003. – №4, т. 2. – С. 204 – 207.

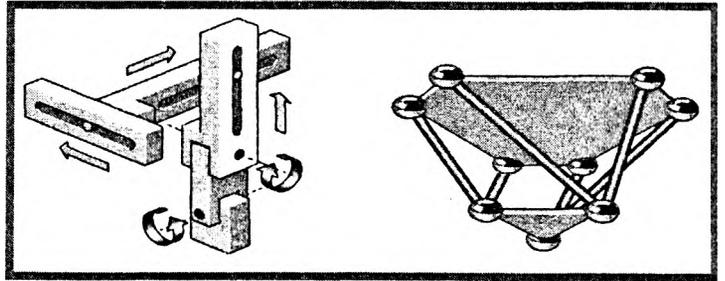
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМОВ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Введение

Многокоординатная (3-х — 6-ти осевая) обработка деталей традиционно выполняется на станках типа «обрабатывающий центр» (многоцелевых многокоординатных станках). В таких машинах используются ортогональные или вращательные движения. Каждое из них обеспечивает рабочему органу станка одну степень свободы. Все степени свободы достигаются последовательным соединением приводов по каждой координате. Взаимное воздействие последовательно добавляемых координат приводит к снижению жесткости станка и ухудшению его динамических характеристик.

Альтернативой многоцелевым станкам является создание нетрадиционных технологических машин на базе параллельных кинематических структур. Такие структуры отличаются тем, что выходное звено связано с основанием несколькими кинематическими цепями, каждая из которых содержит привод, либо налагает некоторое число связей на движение выходного звена [1]. Для ориентации выходного звена необходима одновременная (параллельная) работа всех кинематических цепей. Каждая цепь содержит стойку (штангу) переменной длины (рис. 1).



а б
Рисунок 1 – Механизмы многокоординатных станков с последовательно (а) и параллельно (б) соединенными кинематическими цепями

Для любого набора длин стоек имеется единственная фиксированная позиция для механизма. Одновременное (параллельное) управление всеми стойками позволяет ориентировать рабочий орган станка определенным образом. При этом каждый из линейных приводов передает усилие только вдоль своей оси, не влияя на другие приводы. Такие механизмы, в отличие от традиционных, имеют замкнутые кинематические цепи и воспринимают нагрузку как пространственные фермы, что ведет к повышенной жесткости, точности и грузоподъемности, хотя возможно уменьшение рабочей зоны. Все это привело к большому интересу разработчиков и производителей станков к машинам на базе параллельных кинематических структур.

Механизмы параллельной структуры появились в 40-е годы прошлого столетия. В 1947г. Эрик Гауф (Gough), выдающийся английский инженер, изобрел новый параллельный механизм – гексапод (рис. 2) [2]. Новизна «платформы Гауфа» была во взаимном симметричном расположении шести стоек. В 1965 году появилась широко известная работа Стюарта [3]. В ней описан параллельный механизм (платформа), принципиально не отличающийся от механизма Эрика Гауфа. Однако, с этого времени платформу начали называть «платформой Стюарта».

Наиболее важными компонентами станков с параллельной кинематикой, определяющими надежность и точность их работы являются:

- распорки (штанги);
- шарниры и шарнирно-силовая система;
- приводы распорок;
- шпиндельные узлы и шарнирные шпиндельные головки;
- столы, платформы и несущая система;
- система управления, позиционирования и измерения координат.

Конструктивно механизм с параллельной кинематикой представляет собой некое твердое тело (платформу), соединенное с неподвижным основанием стойками или тягами переменной длины – поступательными парами (П) (рис. 3).

К платформе стойки присоединены посредством сферических пар (С), а к основанию посредством сферических пар с пальцем (Сп). На основании могут быть установлены и С пары. В этом случае опора имеет одну лишнюю степень свободы – вращение вокруг своей оси.

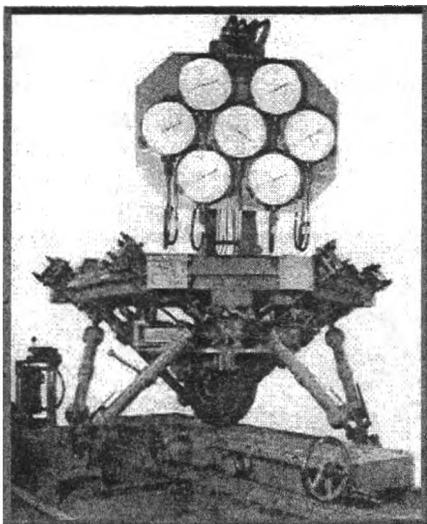


Рисунок 2 – Первый гексапод («платформа Гауфа») [2]

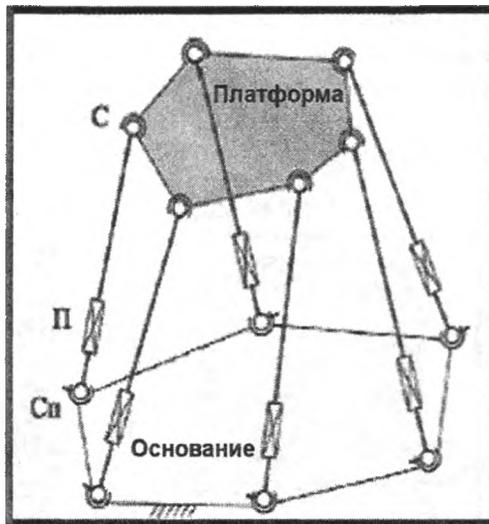


Рисунок 3 – Платформа Стюарта [3]

Число соединительных цепей и число степеней свободы может изменяться от 2 до 6. Число, вид и порядок расположения кинематических пар в цепях может быть различным. Каждая кинематическая цепь может содержать один или несколько приводов. Возможны структуры, в которых не все кинематические цепи содержат привод [4]. Отсюда следует, что механизмы параллельной структуры образуют очень обширный класс.

Классификация станков с параллельной кинематической структурой

Существует множество вариантов структурных исполнений механизмов с параллельной кинематикой, а также ряд параметров, характеризующих их. Наиболее простым и самым распространенным параметром, по которому можно классифицировать все параллельные механизмы, независимо от области их применения, является число степеней свободы. Поэтому технологическое оборудование можно разделить на следующие группы: биподы (выходное звено механизма имеет две степени свободы), триподы (три степени свободы), четырехподы (четыре степени свободы), пятиподы (пять степеней свободы), гексаподы (выходное звено имеет шесть степеней свободы).

Биподы

Являются простейшими представителями технологического оборудования, выполненного на основе механизма с параллельной кинематикой. Биподы представляют собой плоские механизмы с двумя параллельными кинематическими цепями. Выходное звено у таких механизмов имеет две степени свободы и, как правило, два перемещения. Схема станка на основе бипода показана на рис. 4.

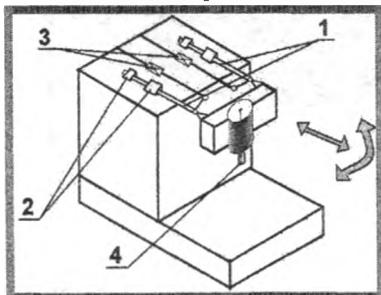


Рисунок 4 - Схема станка на основе бипода

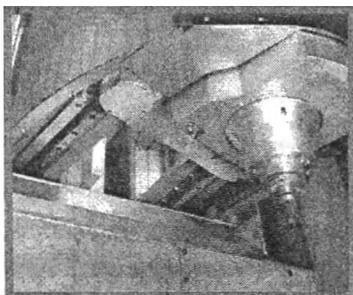


Рисунок 5 - Рабочая зона станка — бипода [1]

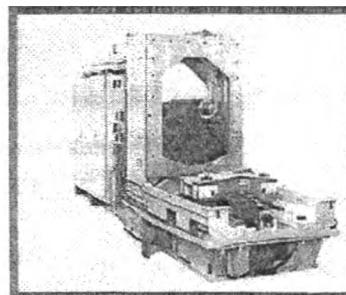


Рисунок 6 - Общий вид станка — бипода [1]

Несущие штанги 1 перемещаются в каретках 2 в продольном направлении. Штанги приводятся в движение приводами 3 продольного перемещения (линейные двигатели). Перемещение шпинделя по третьей координате осуществляется отдельным приводом.

На рис. 5 показана вертикальная шпиндельная бабка станка на основе бипода [1]. По аналогичной схеме, но с горизонтальным расположением шпинделя, выполнен станок Speht Experimental [1] (рис. 6).

Триподы и трицепты

В отличие от биподов триподы более полно позволяют использовать все преимущества, которые дают механизмы с параллельной кинематикой. Так, например, отпадает необходимость в обязательном использовании элементов станков традиционного исполнения (отдельных приводов по некоторым координатам). Все требуемые движения (в данном случае не более трех) реализуются триподом.



Рисунок 7 – 3-х осевой вертикальный обрабатывающий центр (трипод) [5]

3-х осевой станок на основе трипода показан на рис. 7 [5]. Выходное звено 1, на котором установлен мотор-шпиндель, связано со станиной тремя кинематическими цепями, которые включают в себя сдвоенные штанги постоянной длины 3 и приводы штанг 2 на основе линейных двигателей. Штанги соединены с приводами и выходным звеном при помощи карданных шарниров 4. Применение сдвоенных штанг позволяет повысить жесткость механизма, но наличие дополнительных связей уменьшат число степеней подвижности выходного звена до 3-х.

Технологические возможности данного оборудования могут быть расширены установкой дополнительно привода стола станка.

В группу станков с тремя степенями подвижности выходного звена кроме триподов входят также трицепты. Конструктивно отличие от трипода заключается в наличии у трицепта кинематической цепи, не содержащей привода.

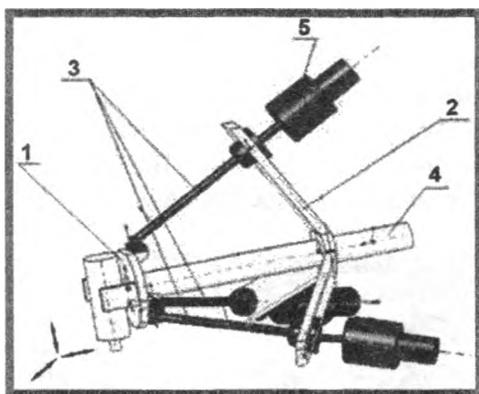


Рисунок 8 - Схема трицепта

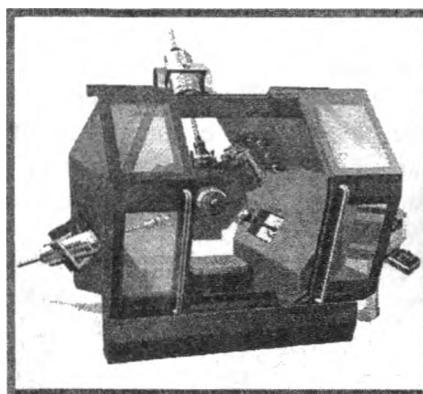


Рисунок 9 – Общий вид станка-трицепта

Схема трицепта показана на рис. 8. Выходное звено 1 связано с основанием 2 четырьмя кинематическими цепями. Три цепи 3 выполнены в виде штанг переменной длины с приводами 5. Четвертая кинематическая цепь 4 – пассивная, т.е. не содержит привода. Она выполнена в виде трубы и служит для повышения жесткости механизма параллельной кинематики, а также для раз-

мещения внутри нее подвода к рабочему органу (в данном случае к мотор-шпинделю) электричества и СОЖ. Труба проходит через сферический шарнир, закрепленный в основании, и крепится к выходному звену. Пассивная цепь 4 ограничивает число степеней подвижности механизма до 3-х.

Общий вид станка-трицепта показан на рис. 9.

Четырехподы

Применение в машиностроении таких механизмов весьма ограничено, а примеров технологического оборудования на основе четырехподов мало.

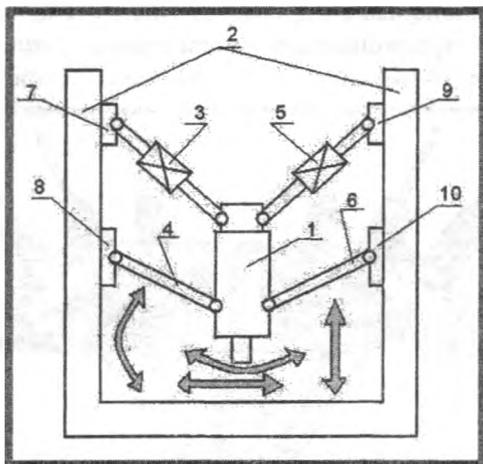


Рисунок 10- Схема станка на основе четырехпода

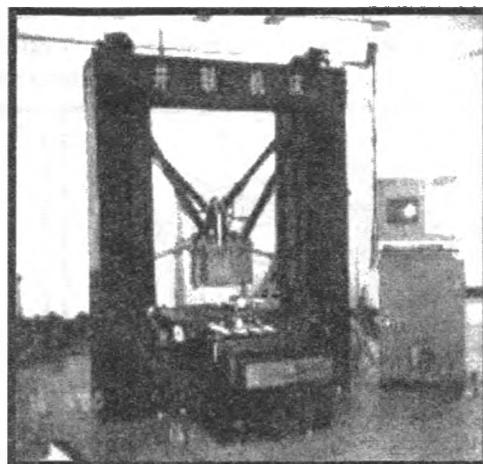


Рисунок 11- Общий вид станка на основе четырехпода [1]

На рис. 10 приведена схема станка на основе четырехпода, а на рис. 11- общий вид станка [1]. Выходное звено 1 связано с двумя направляющими стойки 2 штангами постоянной длины 4 и 6, а также штангами переменной длины с приводами 3 и 5. Штанги 4 и 6 соединены с ползунами 8 и 10, перемещающимися по направляющим стойки. Штанги переменной длины с приводами 3 и 5 соединены со стойкой шарнирами 7 и 9. Таким образом, параллельная кинематическая структура обеспечивает выходному звену четыре степени свободы.

Пятиподы

Технологическое оборудование основе пятиподов (пентоподов) получило широкое распространение в машиностроении, так как имеет очень большие технологические возможности. Схема станка-пятипода показана на рис. 12, а общий вид станка - на рис. 13 [1].

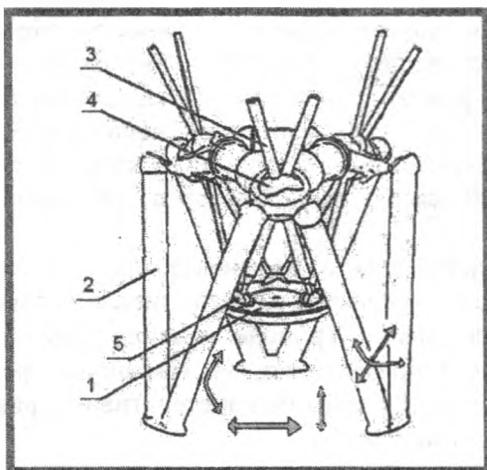


Рисунок 12- Схема станка на основе пятипода

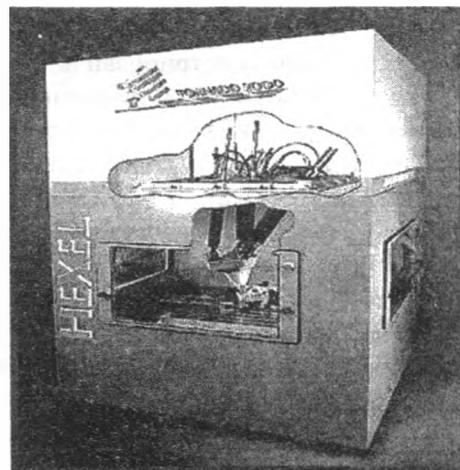


Рисунок 13-Общий вид станка на основе пятипода [1]

Выходное звено 1 связано с основанием 2 станка шестью кинематическими цепями. Каждая из них состоит из штанги переменной длины 3, которая установлена при помощи шарнира 4 на основании 2 станка. Штанга также соединена с выходным звеном 1 при помощи шарнира 5, обеспечивающего три степени подвижности. Данная схема обеспечивает пять степеней подвижности выходного звена: три поступательных движения вдоль осей станка и два

вращательных относительно горизонтальных осей. Шестая степень подвижности (вращение вокруг вертикальной оси) ограничивается конструкцией шарниров 4, в каждом из которых закреплены по две штанги 3.

Гексаподы

Гексаподы в наибольшей степени реализуют все преимущества механизмов с параллельной кинематикой. При высокой жесткости и относительной простоте конструкции гексапод представляет собой механизм, с помощью которого можно ориентировать выходное звено по шести степеням свободы, что является неоспоримым преимуществом станочных систем такой концепции по сравнению со станками традиционной компоновки. Схема станка, выполненного на основе гексапода, показана на рис. 14 [6], а шпиндельный узел – на рис. 15.

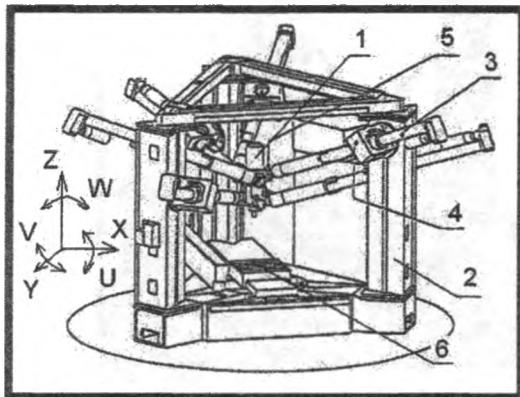


Рисунок 14 - Схема станка – гексапода [6]

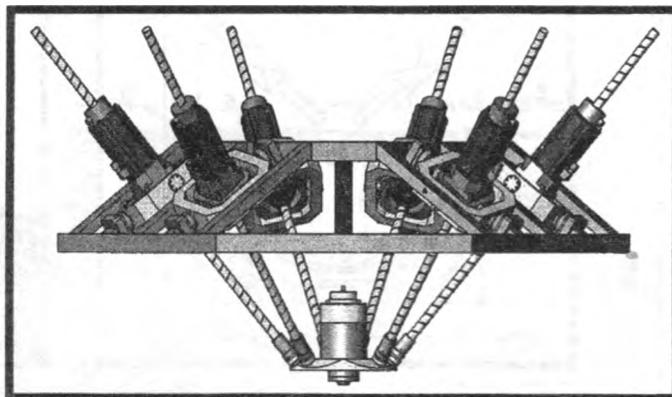


Рисунок 15 – Шпиндельный узел станка - гексапода

Выходное звено 1 связано с основанием 2 шестью кинематическими связями. Кинематическая связь состоит из штанги переменной длины 3 с приводом. Штанги установлены на станине при помощи карданных шарниров 4, имеющих две степени подвижности. Штанги соединены также при помощи сферических шарниров 5 с выходным звеном 1. Данная схема обеспечивает выходному звену шесть степеней подвижности: перемещение по трем осям координат, а также поворот относительно этих осей. Привод для перемещения стола 6 расширяет технологические возможности оборудования.

Перспективы применения станков с параллельной кинематикой

Станки с параллельной кинематикой (PKM – Parallel Kinematic Machines) довольно быстро входят в состав технологического оборудования, используемого в различных отраслях промышленности. Это стало заметным достижением станкостроения, учитывая то, что впервые станок такого типа продемонстрирован в 1994 г. на выставке IMTS'94 в Чикаго. В настоящее время в мире реализовано более 30 различных компоновок станков с параллельной кинематикой. Сфера их применения расширилась до изготовления пресс-форм и штампов, лопаток турбин и др. Их с успехом используют в кузнечно-прессовом оборудовании, например, в качестве гибочных прессов, а также в качестве измерительных комплексов, манипуляторов для перемещения заготовок, роботов, позиционирующих устройств.

Станки с параллельной кинематикой представлены в настоящее время в основном триподами и гексаподами. Гексаподы рассматриваются в качестве альтернативы нынешним 5-ти координатным станкам, а триподы – 3-х координатным. Триподы имеют более простую конструкцию и их легче приспособить к практическому применению, чем гексаподы, требующие значительно более сложного программного обеспечения. Расходы на конструктивную разработку и изготовление гексапода существенно выше, чем для трипода.

Используя различные комбинации соединений штанг, шарниров и приводов (вращательных и поступательных пар) можно получить широкий набор исполнений кинематических структур параллельной кинематики. Наибольшее распространение получили технологические машины, основанные на стержневой конструкции (платформе Стюарта). Тесное сотрудничество станкостроительных фирм, научных и учебных институтов, а также разработчиков систем ЧПУ позволило в последнее время создать большое количество новых станков этого типа:

- гексапод с нерегулируемыми по длине штангами;
- станок с параллельной кинематикой, оснащенный линейными двигателями;

- горизонтальный гексапод с регулируемыми по длине штангами и др.
- Применение унифицированных узлов (шарниров, штанг, мотор-шпинделей, многокоординатных шпиндельных головок и столов) значительно упрощает производство таких станков.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://robotool.ifw.uni-hannover.de>.
2. www.parallemic.org.
3. Stewart D. A. A platform with six degree of freedom//Proc. Inst. Mech. Eng. 1965/1966. Vol. 180, pt 1, N 15. P. 371-386.
4. Афонин В.Л. Предпосылки к проектированию машин нового поколения для обработки сложных поверхностей // Приложение. Справочник. Инженерный журнал. 2005, № 8. - С. 1 - 23.
5. www.galika.ru.
6. Rainer Nestler, Jan Konvichka, Frank Wieland. Linear drive: Patent United State of America N0 US 6,285,098 B1. Sep. 4, 2001.

УДК 626.86002.51:62.868.001.4

Балицкий В.А.

ЗЕМЛЕРОЙНО-МЕЛИОРАТИВНАЯ МАШИНА С ИНЕРЦИОННО-ИМПУЛЬСНЫМ ПРИВОДОМ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Создание отвечающих современным требованиям землеройно-мелиоративных машин предполагает резкое повышение их технико-экономических показателей, в том числе тяговых и мощностных параметров и проходимости на слабых грунтах – обеспечение высоких тяговых усилий (250-300 кН и более) позволяет во многих случаях разрабатывать на основании новых технологических и конструктивных принципов землеройно-мелиоративные машины, характеризующиеся по сравнению с известными машинами аналогичного назначения существенно большей производительностью при меньшей удельной энерго- и металлоемкости. Однако применяемые до сих пор в осушительной мелиорации тракторы, включая их болотные модификации (Т-130Б), не удовлетворяют современным требованиям ни по тяговым усилиям и мощности, ни по проходимости.

Основной причиной, сдерживающей решение задачи повышения тяговых параметров и

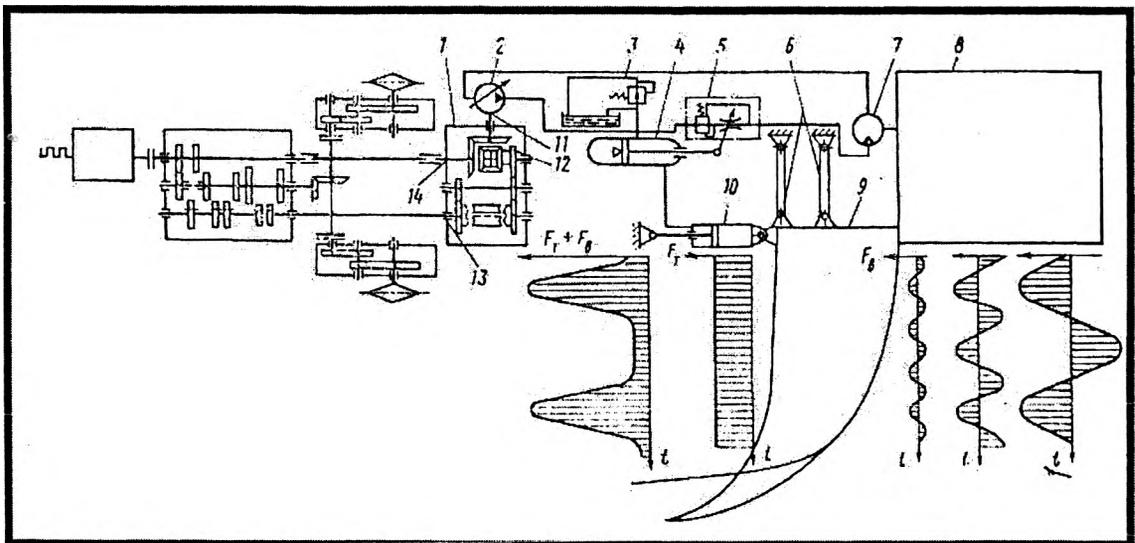


Рис.1 Гидрокинематическая схема землеройно-мелиоративной машины импульсного действия: 1-дифференциальный ходоуменьшитель; 2-насос переменной производительности; 3-предохранительный клапан; 4-гидроаккумулятор; 5-дрозель с регулятором; 6-тяги параллелограммной подвески рабочего органа; 7-гидромотор привода вибратора; 8-асимметричный вибратор; 9-рабочий орган; 10-гидроцилиндр связи рабочего органа с трактором; 11-вал насоса; 12 и 14-полуоси дифференциала; 13-вал привода бортредукторов

проходимости землеройно-мелиотивных машин, является невозможность на основе двухгусеничных ходовых систем обеспечить традиционными методами высокие тяговые усилия и проходимость машин на неосушенных болотно-торфяных и заболоченных минеральных грунтах. В связи с этим возникает проблема изыскания таких методов и принципов повышения усилия на рабочем органе землеройно-мелиоративной машины, которые передавались бы минуя двигатель. Анализ различных методов обеспечения высоких тяговых усилий машин на грунтах с низкой способностью показал перспективность применения систем и устройств импульсного действия, основанных на когерентных свойствах возмущающих сил асимметричного вибратора и суммарном импульсном эффекте.

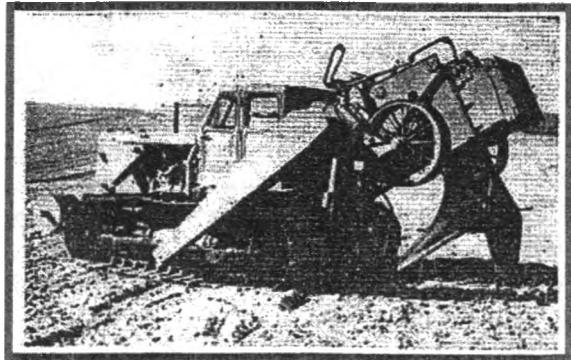


Рис. 2. Машина импульсного действия с дренажным ножом на базе трактора Т-100Б

Землеройно-мелиоративная машина импульсивного действия представляет собой трактор с навесным рабочим органом, воздействие которого на грунт интенсифицируется асимметричным вибратором, преобразующим мощность двигателя трактора в импульсно-тяговое воздействие рабочего органа на грунт. На тракторе установлен дифференциальный ходоуменьшитель (рис. 1); его водило соединено с валом отбора мощности, одна солнечная шестерня осуществляет привод ходовой системы трактора, вторая через насос и гидромотор - привод асимметричного вибратора. Рабочий орган (бульдозера, кабелеукладчика, дренаукладчика, каналокопателя, рыхлителя и др.) связан с рамой трактора с помощью вертикального параллелограмма и гидроцилиндра 10, который одновременно служит амортизатором демпферной системы.

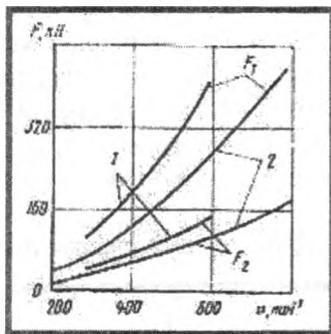


Рис.3. Зависимость импульсных сил F_1 и F_2 от частоты ν импульсов: 1-при $m=664,4$ кг; 2-при $m=425,7$ кг

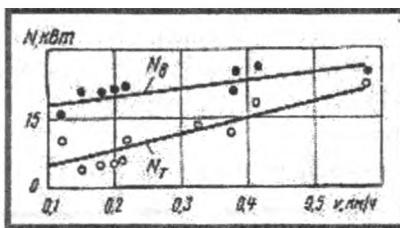


Рис.4. Зависимость мощности, расходуемой трактором N_t и вибратором N_v от рабочей скорости v машины (при $m=664,4$ кг)

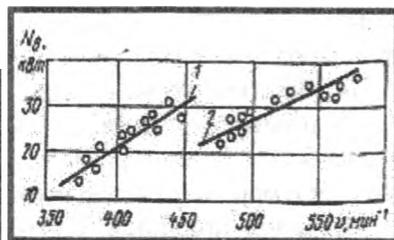


Рис.5. Зависимость мощности N_v , расходуемой на привод вибратора от частоты ν импульсов при различных значениях m вращающейся массы: 1-при $m=664,4$ кг; 2-при $m=425,7$ кг

Принцип работы рассматриваемой землеройно-мелиоративной машины сводится к следующему.

Возникающее при движении машины сопротивление заглублению рабочего органа в грунт приводит к возрастанию давления в штоковой полости гидроцилиндра до тех пор, пока оно не сравняется с давлением рабочей жидкости в соединенном с ним гидроаккумуляторе; рабочий орган при этом отодвигается в заднее положение. Одновременно возрастает сопротивление вращению полуоси 14 дифференциала и как только оно превысит сопротивление, создаваемое на валу насоса давлением в гидроаккумуляторе, начнут вращаться полуось 12 дифференциала и вал 11 насоса. По мере повышения угловой скорости вала 11 угловая скорость вала 13 снижается и, следовательно, машина движется медленнее. Насос, подавая рабочую жидкость в гидроаккумулятор, повышает его давление, вследствие чего возрастают крутящие моменты на валу 11 насоса и валу 13 привода бортредукторов, что приводит к увеличению тягового усилия машины. В это же время поршень гидроаккумулятора 4 под давлением поступающей в него рабочей жидкости открывает кинематический связанным с ним регулятором проходное сечение дросселя, и поток рабочей жидкости начинает поступать к гидромотору привода вибратора.

Асимметричные силовые импульсы, передаваемые вибратором рабочему органу, действуют вдоль оси машины. Причем силовой импульс с большей возмущающей силой F_1 действует в направлении движения машины (активный силовой импульс), а с меньшей F_2 – в обратном направлении (реактивный силовой импульс). Под действием силового импульса F_1 рабочий орган, отжатый в крайнее заднее положение, начинает, преодолевая сопротивление грунта, перемещаться вперед; при этом объем штоковой полости гидроцилиндра, куда рабочая жидкость поступает из гидроаккумулятора, возрастает на величину, соответствующую амплитуде колебания. Так как машина продолжает движение вперед, то развиваемое ею тяговое усилие через рабочую жидкость, находящуюся под давлением в штоковой полости гидроцилиндра, передаётся, суммируясь с активным силовым импульсом, на рабочий орган, помогая ему преодолеть сопротивление грунта. Этим создается возможность дополнительного к тяговому усилию машины значительного увеличения усилия воздействия рабочего органа на грунт. Уменьшение объема штоковой полости гидроцилиндра на величину, соответствующую расстоянию, которое пройдет машина за время действия реактивного силового импульса, обеспечивает восстановление первоначальной кинематики взаимодействия рабочего органа с грунтом.

Для безостановочного движения машины должно быть соблюдено условие $F_2 < P$, где P – суммарная сила сопротивления движению машины. При этом условии рабочий орган под действием реактивного силового импульса не будет при движении машины отжиматься в заднее положение, а машина будет продолжать перемещаться вперед.

Рассмотрим результаты исследования, проведенного на экспериментальном образце машины импульсного действия с дренажным рабочим органом, созданной на базе трактора Т-100Б (рис. 2)

Возмущающая сила вибратора

$$F_{1в} = m_1 w_1^2 e_1 + m_2 w_2^2 e_2 + m_3 w_3^2 e_3,$$

где m , w , e – эксцентрично вращающаяся масса, ее угловая скорость и эксцентриситет (индексы 1, 2, 3 относят величины к первой, второй и третьей парам валов вибратора). Учитывая, что для вибратора данной машины (см. рис. 1) принято

$$w_2в = 2w_1в \text{ и } w_3в = 3w_1в, \text{ получим}$$

$$F_{1в} = w_1в^2 (m_1 e_1 + 4m_2 e_2 + 9m_3 e_3)$$

При экспериментах значения вращающихся масс и эксцентриситетов изменялись, угловые скорости оставались постоянными.

Экспериментальные исследования, проведенные на суглинистом грунте ($C = 9-11$) показали, что вибратор создает силу F_1 , достигающую 260 кН, при $F_2 = 85-90$ кН (рис.3). С учетом силы тяги F_t трактора импульсная сила достигает 360- 380 кН, что более чем в 3,5 раза превышает тяговое усилие трактора Т-100Б. Степень увеличения усилия на рабочем органе импульсного действия характеризуется отношением F_1 / F_2 .

Зависимости мощности, расходуемой трактором N_t и вибратором $N_в$ от рабочей скорости v машины, полученные при резании грунта дренажным ножом на глубину 1,4 м с дренажом диаметром 200 мм (рис. 4), показывают, что с повышением v отношение $N_t / N_в$, возрастает. Так, если при $v = 0,2$ км/ч $N_t / N_в = 0,45$, то при $v = 0,5$ км/ч $N_t / N_в = 0,76$.

Зависимости мощности на привод асимметричного вибратора от частоты импульсов приведены на рис. 5.

Землеройно-мелиоративные машины импульсного действия, требующие больших тяговых усилий, могут эффективно агрегатироваться с энергонасыщенными тракторами при этом с меньшей массой и, следовательно, с меньшим давлением на рабочий грунт, что важно для эксплуатации, особенно на неосушенных болотах и заболоченных минеральных грунтах. Условный коэффициент сцепления таких машин может составлять 1,8-2 и более. Так, для экспериментальной машины массой 18,8 т с дренажным рабочим органом суммарная возмущающая сила составляет 360-380 кН.

Рабочая скорость машины импульсного действия, оборудованной гидравлическим дифференциальным ходоуменьшителем, может автоматически регулироваться в зависимости от сопротивления на рабочем органе. Если, например, сопротивление возрастает (вследствие увеличения прочности грунта или параметров резания), машина замедляет движение или даже может остановиться, так как сила, развиваемая вибратором при первоначальных условиях работы, оказывает

недостаточной для преодоления повышенного сопротивления; В этом случае полуоси дифференциала вызывают пропорциональное увеличение частоты вращения вала насоса, вследствие чего увеличивается объем поступающей в гидрелинию рабочей жидкости. Это приводит к повышению давления масла в гидроаккумуляторе и, как результат, к повышению частоты вращения гидромотора привода вибратора и возрастанию возмущающей силы F_1 , до тех пор, пока она не станет достаточной для преодоления повышенного сопротивления.

Расчёт экономической эффективности ряда машин импульсного действия на базе трактора Т-130Б показал перспективность их разработки и использования на тех технологически процессах, где требуются высокие тяговые усилия.

Выводы: 1.) Предложенный метод увеличения усилия воздействия рабочего органа на грунт, основанный на когерентных свойствах возмущающих сил асимметричного вибратора суммарном силовом импульсном эффекте, обеспечивает возможность превышения в 2,5-3,5 раза номинальной силы тяги трактора независимо от несущей способности грунта. 2.) Разработка техники импульсного действия требует проведения широких экспериментально-теоретических исследований применительно к машинам различного назначения.

УДК 621.825

Николаенко В.Л., Николаев В.А.

РАСЧЕТ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Точность срабатывания предохранительных устройств достигается путем введения обратной связи между величиной передаваемого крутящего момента и усилием, в результате действия которого возникает момент трения. С целью упростить механизм обратной связи с сохранением данной зависимости следует применять предохранительные устройства с упругой обратной связью (рис.1).

Муфта содержит корпус I, закрепленный на конце ведущего вала, и ведомую втулку 2, свободно сидящую на втулке корпуса I, которая через пакет фрикционных дисков соединена с нажимным диском 3. Наклонно стоящие в поперечном сечении нажимные элементы 4, выполненные в виде стержней круглого сечения, одним концом вставлены в глухие отверстия нажимного диска 3, а другим - в аналогичные отверстия корпуса I. Ведущие концы нажимных элементов находятся впереди ведомых по направлению вращения муфты и окружная сила отжимает стержневые пружины 4, уменьшая силу сжатия дисков. Таким образом, по мере возрастания передаваемого крутящего момента уменьшается сила, сжимающая диски, и по достижении предельного момента - диски проскальзывают.

Однако, это происходит, как описано выше, только в том случае, если наклонные участки нажимных элементов в зажатом состоянии прямолинейны. Если они прямолинейны в свободном стоянии, то при зажатии принимают криволинейную форму, что дает увеличение податливости в окружном направлении. Это приводит к тому, что в начале перегрузки сила трения покоя удерживает диски в сцепленной состоянии до тех пор, пока выбирается податливость отжимных элементов; затем диски срываются и сила трения скольжения, меньшая, чем трения покоя, позволяет ведущим дискам проскочить вперед под действием силы упругости отжимных элементов, а ведомые диски в это время имеют возможность вернуться назад под действием упругости ведомого вала, поскольку момент трения упал. Затем диски сцепляются и процесс повторяется» снижая точность срабатывания муфты и нагружая весь привод и машину вибрационными динамическими нагрузками.

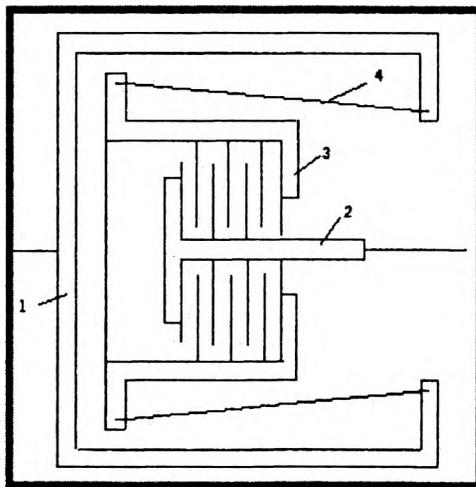


Рис.1. Фрикционная предохранительная муфта с упругой обратной связью

В предлагаемой конструкции наклонная часть отжимных элементов изогнута в свободном

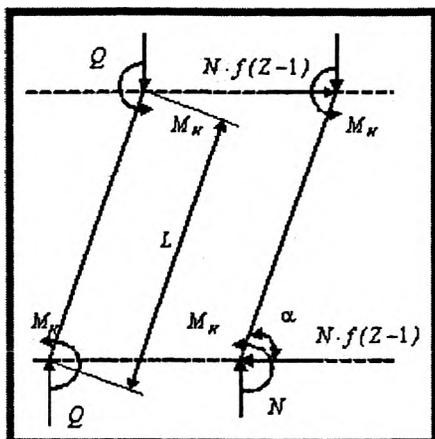


Рис.2. Расчетная схема муфты с упругой обратной связью:

- а - до передачи крутящего момента;
- б - при передаче предельного крутящего момента

состоянии по радиусам, обратно пропорциональным изгибающим моментам при их нагружении. Таким образом, при нагружении силой Q на зацепленные концы нажимных элементов действуют пары сил F , которые изгибают их в обратную сторону и нажимные элементы становятся прямыми в нагруженном состоянии. Благодаря этому система лишается податливости в окружном направлении.

Для определения крутящего момента срабатывания муфты рассмотрим два этапа расчетной схемы - до передачи крутящего момента и во время передачи крутящего момента (рис.2). При равновесии нажимного элемента к которому приложены силы к моменты, действующие на все пружины (поскольку все пружины работают одинаково) момент, изгибающий пружины в зацеплении до передачи крутящего момента:

$$M_n = \frac{QL \cos \alpha}{2}, \quad (1)$$

где Q - начальное усилие сжатия пакета фрикционных

дисков;

α - угол наклона нажимных элементов;

L - длина нажимного элемента.

При передаче предельного крутящего момента (проскальзывании):

$$M_n = \frac{NL \cos \alpha + Nf(z-1)L \sin \alpha}{2}, \quad (2)$$

где N - сжимающее диски усилие во время передачи крутящего момента;

f - коэффициент трения между фрикционными дисками;

z - число пар поверхностей трения (одна поверхность трется непосредственно о нажимной диск).

Из равенства правых частей приведенных уравнений (1 и 2)

$$N = \frac{Q}{1 + tg \alpha f (z - 1)}, \quad (3)$$

Номинальный крутящий момент, передаваемый муфтой:

$$T = NfR_f z = \frac{QfR_f z}{1 + tg \alpha f (z - 1)}, \quad (4)$$

где R_f - радиус трения фрикционных поверхностей.

Из формулы (4) следует зависимость угла наклона α нажимных элементов на величину передаваемого муфтой крутящего момента при определенном начальном усилии сжатия Q и фрикционных дисков - с увеличением этого отношения передаваемый предельный момент уменьшается, что представлено на рис.3.

Таким образом, с увеличением угла α , т.е. с увеличением коэффициента усиления обратной связи для передачи заданного крутящего момента необходимо увеличивать начальное сжатие, что ведет к увеличению удельного давления на фрикционные диски, которое ограничено свойствами фрикционных материалов (рис.3).

С другой стороны, большой угол наклона α нажимных элементов приводит к увеличению жесткости нажимных элементов в осевом (для муфты) направлении и усиливает в связи с этим чувствительность муфты к износу фрикционных дисков.

При этом износе нажимной диск перемещается вместе с ними отходя от корпуса муфты, в результате чего уменьшается начальное давление Q на диски и вместе с ним - передаваемый крутящий момент.

Свяжем осевое перемещение нажимных элементов с предварительный усилием сжатия Q (рис.4а).

При нагружении нажимных элементов силой Q (уменьшении H при зажатых концах) в защемлениях концов возникает изгибающие моменты M_H , уравновешивающие момент пары сил Q с плечом $H \cdot ctg \alpha$:

$$2M_H = QHctg \alpha \dots\dots\dots (5)$$

В виду осевой симметричности нагружения относительно середины стержня эпюра изгибающих моментов по его длине будет иметь вид показанный на рис.4а.

Для упрощения определения перемещения одного конца стержня относительно другого представим стержень состоящий из двух консолей, нагруженных по концам силами Q' , дающими эквивалентное нагружение стержней (рис.4б). Деформации от продольных сил не учитываем из-за

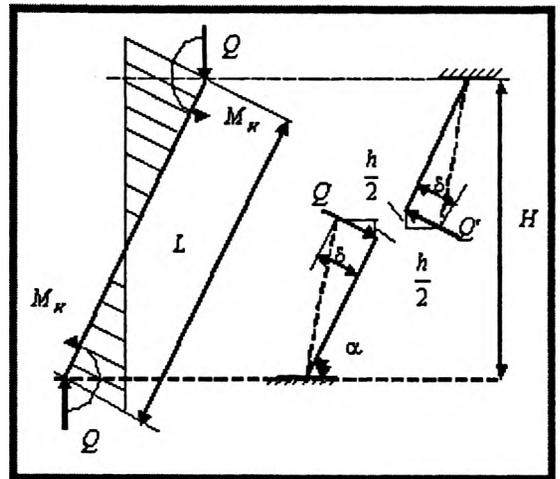
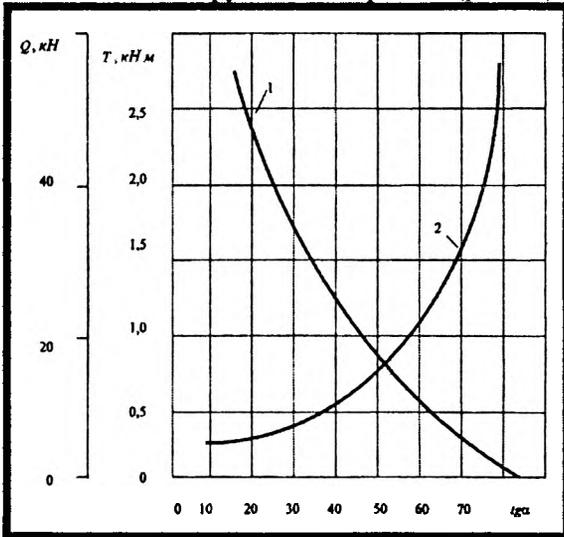


Рис.3. Зависимость влияния угла наклона α нажимных пружин на:
1 - предельный крутящий момент T
2 - усилие сжатия фрикционных дисков Q

Рис.4. Схема перемещений нажимных элементов при деформации

их сравнительно малой величины.

Таким образом, определяем уравновешивающий изгибающий момент-

$$M_H = \frac{Q'H}{2 \sin \alpha}, \quad (6)$$

откуда

$$Q' = \frac{2M_H \sin \alpha}{H}, \quad (7)$$

ставив сюда выражение M_H из (5) имеем:

$$Q' = Qctg \alpha, \quad (8)$$

Под действием силы Q' конец консоли перемещается на величину δ (рис.4б):

$$\delta = \frac{Q' \left(\frac{H}{\sin \alpha} \right)^3}{3EJ_i}, \quad (9)$$

где $J_i = \frac{\pi d^4}{64}$ - осевой момент инерции площади сечения нажимного элемента диаметром d ;

i - количество нажимных элементов;

$E = 2,15 \cdot 10^5$ МПа - модуль упругости материала нажимного элемента.

Соответствующее δ вертикальное перемещение конца консоли:

$$\frac{R}{2} = \delta \cos \alpha$$

Таким образом, изменение расстояния H между нажимным диском и обоймой под действием силы Q :

$$R = 2\delta \cos \alpha \quad (11)$$

Подставив сюда выражение δ из (9) и Q из (8), после соответствующих преобразований и сокращений, окончательно получаем аналитическую зависимость для определения h :

$$h = \frac{2Q \cos^2 \alpha H^3}{3 \sin^4 \alpha EJ_z i} \quad (12)$$

отсюда:

$$\frac{Q}{R} = \frac{3 \sin^4 \alpha EJ_z i}{2 \cos^2 \alpha H^3} \quad (13)$$

Изменение усилия нажатия на диски при суммарном износе пакета фрикционных дисков на 1мм пропорционально d^4 и α^2 и обратно пропорционально H^3 .

Поскольку Q определяет момент срабатывания муфты, то кривые (рис.5) по существу определяют собой зависимость крутящего момента от количества срабатываний (износа дисков) при различных значениях конструктивных параметров предохранительной муфты. При этом первостепенное значение имеет расстояние H между обоймой и нажимным диском. Этот размер следует брать максимально возможным.

Не менее важным является угол α : его уменьшение приводит к снижению чувствительности муфты к износу дисков, однако существенно уменьшает коэффициент усиления обратной связи. В связи с двойственностью его влияния экспериментально установлено:

$$\alpha_{opt} = 55^\circ$$

Количество нажимных элементов i влияет на чувствительность муфты к износу поверхностей трения непрямолинейно. С увеличением их числа уменьшается нагрузка на один элемент. Это приводит к уменьшению его диаметра d , сильно влияющего на чувствительность муфты к износу дисков, т.е. уменьшение диаметра d нажимных элементов сказывается на работе муфты положительно.

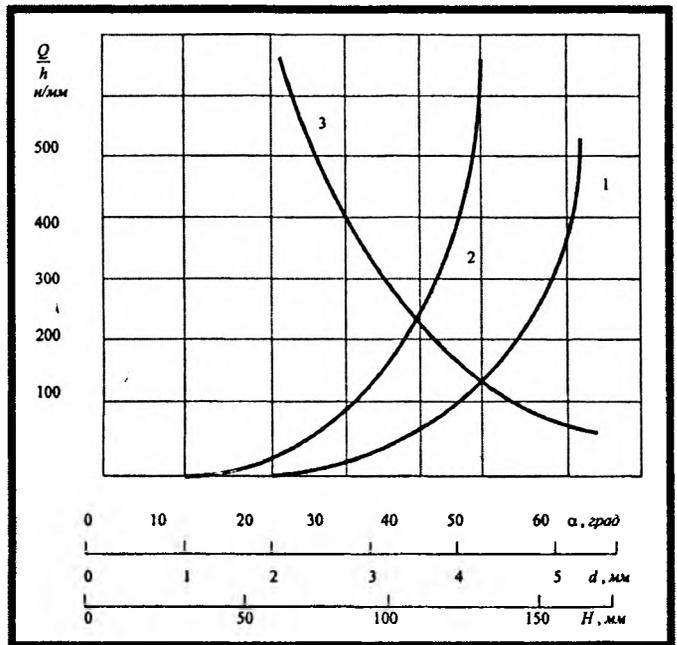


Рис.5. Зависимость изменения усилия сжатия дисков при суммарном износе фрикционов на 1мм от:
1 - угла наклона α нажимных элементов;
2 - диаметра d нажимных элементов;
3 - расстояния H между нажимным и упорным дисками

КОНСТРУИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ ТИПА «ДЕЛЬТА»

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Введение

Альтернативой многоцелевым металлорежущим станкам являются технологические машины на основе параллельных кинематических структур [1]. Такие структуры отличаются тем, что выходное звено связано с основанием несколькими кинематическими цепями, каждая из которых содержит привод, либо налагает некоторое число связей на движение выходного звена [1,2]. Для ориентации выходного звена необходима одновременная (параллельная) работа всех кинематических цепей. Каждая цепь содержит стойку (штангу) переменной длины.

Типичным представителем оборудования с параллельной кинематической структурой является станок на основе механизма, выполненного по схеме «Дельта» [2]. Схема такого механизма показана на рис. 1.

Выходное звено 1 с установленным на нем мотор-шпинделем 2 соединено с основанием 3 тремя кинематическими цепями. Каждая кинематическая цепь состоит из 2-х штанг 4 постоянной длины, которые одним концом при помощи шарниров 5 крепятся к выходному звену. Другой конец штанг закреплен при помощи аналогичных шарниров к линейному приводу 6. Выходное звено имеет три степени свободы (степени подвижности).

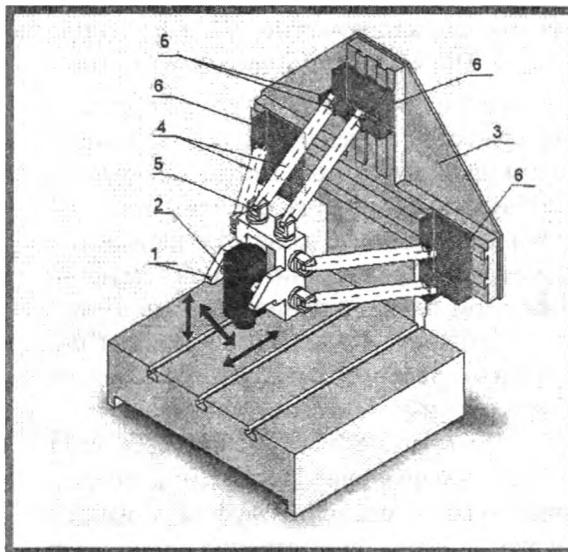


Рисунок 1 - Схема механизма на основе параллельной структуры типа «Дельта»

Данная схема обладает повышенной жесткостью выходного звена за счет дублирования штанг, а также обеспечивает достаточно высокие кинематические характеристики выходного звена. Концепция оборудования на основе схемы «Дельта» направлена на увеличение рабочей зоны со свободным доступом к ней.

Станки с параллельной кинематикой состоят из унифицированных узлов (шарниров, штанг, мотор-шпинделей, линейных приводов и др.), что значительно упрощает их производство. Но поскольку геометрические параметры механизма «Дельта» определяются требуемыми параметрами рабочей зоны станка, конструирование такого оборудования требует специальных расчетов. В данной работе рассматривается графоаналитический метод определения геометрических параметров механизма типа «Дельта».

Определение геометрических параметров механизма типа «Дельта»

Исходными данными для определения геометрических параметров механизма являются:

- размеры рабочей зоны проектируемого станка;
- расстояние от рабочей зоны до основания механизма;
- предельные углы поворота в шарнирах (ограничения).

Ниже представлена рабочая зона станка в виде параллелепипеда $ABCD A_1 B_1 C_1 D_1$, причем $AB=CD=A_1 B_1=C_1 D_1$; $AD=BC=A_1 D_1=B_1 C_1$; $AA_1=BB_1=DD_1=CC_1$. Расстояние от рабочей зоны до основания параллельного механизма равно S . Предельные углы поворотов в шарнирах:

- - в вертикальной плоскости - $\pm\gamma$;
- - в горизонтальной плоскости - $\pm\alpha$.

Изобразим рабочую зону механизма в некотором масштабе (рис. 2). Длину стороны параллелепипеда АВ представим отрезком длиной l_{AB} . Тогда масштабный коэффициент μ_L будет определяться по формуле

$$\mu_L = \frac{l_{AB}}{AB}$$

Масштабный коэффициент - это отношение длины отрезка, обозначающего на чертеже размер какого-то элемента конструкции, к действительному размеру этого элемента. Тогда остальные размеры рабочей зоны будут определяться по формулам (2) - (4)

$$\begin{aligned} |A1B1| &= |AB| = |CD| = |C1D1| = \mu_L * AB; \\ |A1D1| &= |AD| = |BC| = |B1C1| = \mu_L * AD; \\ |AA1| &= |BB1| = |CC1| = |DD1| = \mu_L * AA1; \\ |S| &= \mu_L * S. \end{aligned}$$

Основание параллельного механизма располагается симметрично относительно рабочей зоны станка, в данном случае симметрично оси Y. Точку пересечения линии основания и оси Y обозначим R.

Максимальная длина штанг механизма соответствует расположению выходного звена в наиболее

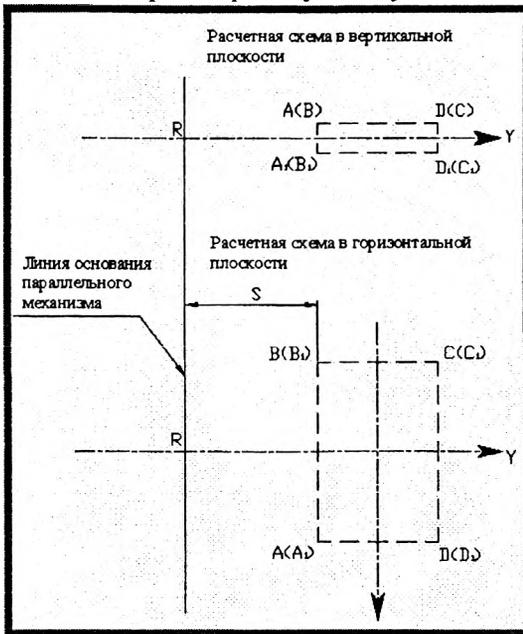


Рисунок 2 – Схема рабочей зоны механизма типа «Дельта» в масштабе μ_L

удаленной точке рабочей зоны, т.е. в точке D1.

Построение плана механизма

Для определения геометрических параметров механизма построим его план, совмещенный с рабочей зоной. Так как дублирование штанг в механизме служит для увеличения жесткости, то при определении геометрических параметров достаточно рассмотреть механизм с одинарными штангами. С целью упрощения схемы на рис. 3 и рис. 4 план механизма представлен отдельно для штанг, перемещающих выходное звено (платформу) в горизонтальной и в вертикальной плоскостях. Выходное звено представлено в виде пирамиды, вершина которой совпадает с осью шпинделя. Шарниры на выходном звене, к которым крепятся горизонтальные штанги, обозначены буквами K и M, а вертикальная - буквой L.

Для горизонтальных штанг в горизонтальной плоскости (рис. 3) из точки R по линии основания механизма отложим отрезок RK^H длиной $|RK^H|$ в направлении расположения шарнира приводной горизонтальной штанги. Длина отрезка определяется конструктивно размерами приводного механизма горизонтальной штанги и рассчитывается по формуле:

$$l_{RK^H} = \mu_L \left(\frac{L_M^H}{2} + L_3^H + L_{дон} \right),$$

где L_M^H - длина приводного механизма горизонтальной штанги, определяемая конструктивно;

L_3^H - длина защитного устройства направляющих; $L_{дон}$ - дополнительная длина.

Соединим точки K и K^H прямой линией. Отрезок KK^H представляет собой проекцию горизонтальной штанги на горизонтальную плоскость.

В вертикальной плоскости соединим точки K и R (через точку R проходит линия перемещения привода горизонтальной штанги). Отрезок KR представляет собой проекцию горизонтальной штанги вертикальную плоскость.

Для вертикальной штанги в вертикальной плоскости (рис. 4) от точки R по линии основания в направлении вертикального перемещения платформы (положительное направление оси Z) отложим отрезок RL^V длиной l_{RL^V} . Длина отрезка RL^V определяется конструктивно размерами приводного механизма вертикальной штанги и рассчитывается по формуле:

$$l_{RL^V} = \mu_L \left(\frac{L_M^V}{2} + L_H^V + L_{доо} \right),$$

где L_M^V - длина приводного механизма вертикальной штанги; L_3^V - длина защитного устройства направляющих; $L_{дон}$ - дополнительная длина.

Соединим точки L^V и L прямой линией. Отрезок $L^V L$ представляет собой проекцию вертикальной штанги на вертикальную плоскость.

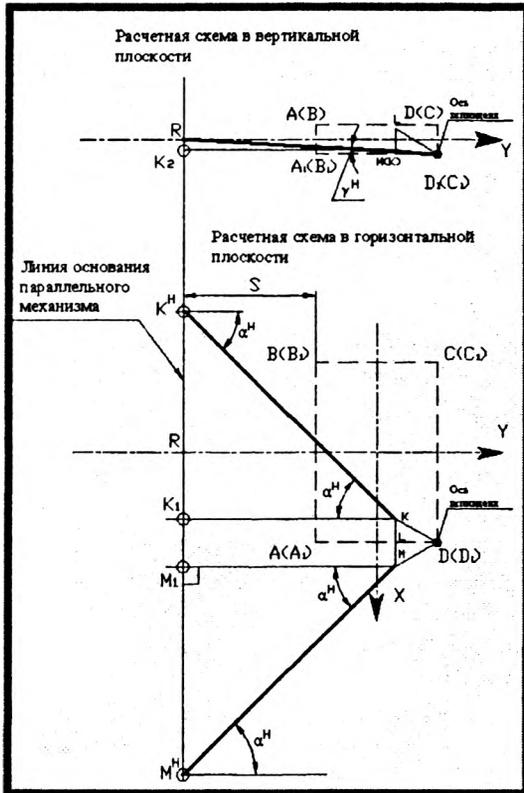


Рисунок 3 - План механизма для определения длины горизонтальных штанг

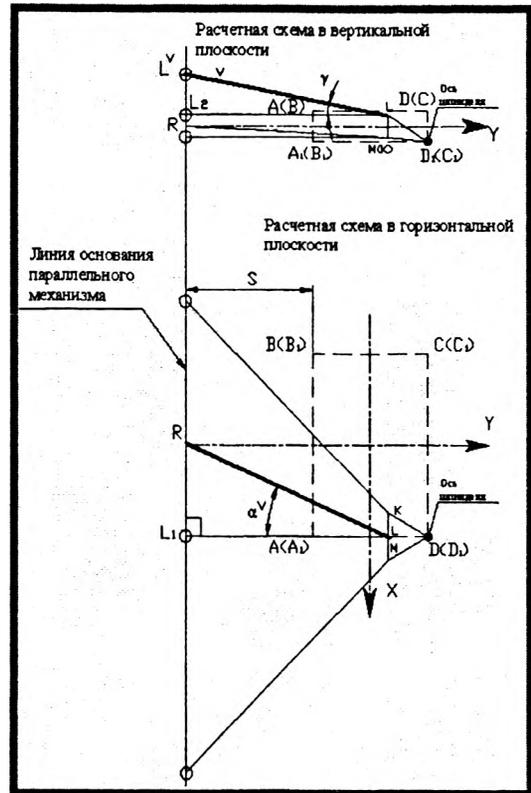


Рисунок 4- План механизма для определения длины вертикальной штанги

В горизонтальной плоскости соединим точки L и R (с точкой R в горизонтальной плоскости совпадает линия перемещения приводного механизма вертикальной штанги). Отрезок LR представляет собой проекцию вертикальной штанги на горизонтальную плоскость.

Определение длины горизонтальных штанг

Общая длина горизонтальной штанги H может быть определена по формуле:

$$H = \frac{l_H}{\mu_1} = \frac{\sqrt{(l_{KK^H})^2 + (l_{KR})^2}}{\mu_1},$$

где l_H - длина горизонтальной штанги на плане механизма; l_{KK^H} - длина проекции горизонтальной штанги на горизонтальную плоскость (замеряется на плане механизма); l_{KR} - длина проекции горизонтальной штанги на вертикальную плоскость (замеряется на плане механизма).

Так как параллельный механизм симметричен, то вторую горизонтальную штангу изобразим симметрично первой из точки M платформы. Шарнир на линии основания параллельного механизма обозначим точкой M^H .

После определения длины горизонтальной штанги необходимо найти угол между проекцией штанги на горизонтальную и вертикальную плоскости и нормалью к основанию шарниров. Обозначим данный угол в горизонтальной плоскости α^H . Для его расчета выполним некоторые построения. Проведем из точки K перпендикуляр к линии основания. Точку пересечения обозначим K_1 . Аналогичным образом получим точку M_1 . Обозначим углы α^H как показано на схеме. Угол α^H в горизонтальной плоскости равен:

$$\alpha^H = \arccos\left(\frac{M_1 M}{M M^H}\right) = \arccos\left(\frac{S + A_1 D_1 - D_1 L}{M M^H}\right).$$

Ограничение по углу поворота шарнира в горизонтальной плоскости:

$$-\alpha_{пр} < \alpha^H < +\alpha_{пр},$$

(1)

где $\alpha_{\text{пр}}$ - предельный угол поворота в шарнире. Знаки «+» и «-» показывают направление отсчета угла относительно оси симметрии в горизонтальной плоскости.

Аналогично определяется угол γ^H между нормалью к основанию шарнира и проекцией горизонтальной штанги на вертикальную плоскость. Для этого проведем перпендикуляр из точки М(К) на линию основания механизма. Точку пересечения обозначим K_2 . Получим:

$$\gamma^H = \arccos\left(\frac{K_2K}{RK}\right) = \arccos\left(\frac{S + A_1D_1 - D_1L}{RK}\right).$$

Ограничение по углу поворота шарнира в вертикальной плоскости:

$$-\gamma_{\text{пр}} < \gamma^H < +\gamma_{\text{пр}} \quad (2)$$

где $\gamma_{\text{пр}}$ - предельный угол поворота в шарнире. Знаки «+» и «-» показывают направление отсчета угла относительно оси симметрии в вертикальной плоскости.

Если условия (1) и (2) не выполняются, то необходимо изменить конструкцию механизма (вместо сферического шарнира применить карданный, либо изменить расстояние S между рабочей зоной станка и основанием механизма) и повторить расчет длины горизонтальной штанги.

Определение длины вертикальной штанги

Длина вертикальной штанги определяется по формуле:

$$V = \frac{l_V}{\mu_1} = \frac{\sqrt{(l_{RL^V})^2 + (l_{LR})^2}}{\mu_1},$$

где l_V - длина вертикальной штанги на плане механизма; l_{RL^V} - длина проекции вертикальной штанги на вертикальную плоскость (замеряется на плане механизма); l_{LR} - длина проекции вертикальной штанги на горизонтальную плоскость (замеряется на плане механизма).

После определения длины вертикальной штанги необходимо найти угол α^V между проекцией вертикальной штанги на горизонтальную плоскость и нормалью к основанию шарнира. Для этого в горизонтальной плоскости проведем из точки L перпендикуляр к основанию шарнира (линии платформы). Точку пересечения обозначим L_1 . Получим:

$$\alpha^V = \arccos\left(\frac{LL_1}{LR}\right) = \arccos\left(\frac{S + A_1D_1 - D_1L}{LR}\right).$$

Ограничение по углу поворота шарнира в горизонтальной плоскости:

$$-\alpha_{\text{пр}} < \alpha^V < +\alpha_{\text{пр}},$$

где $\alpha_{\text{пр}}$ - предельный угол поворота в шарнире. Знаки «+» и «-» показывают направление отсчета угла относительно оси симметрии в горизонтальной плоскости.

Аналогично определяется угол между осью штанги и нормалью к основанию шарнира в вертикальной плоскости γ^V . Для этого проведем перпендикуляр из точки L к линии основания механизма. Точку пересечения обозначим L_2 . Тогда:

$$\gamma^V = \arccos\left(\frac{RL}{LL^V}\right) = \arccos\left(\frac{S + A_1D_1 - D_1L}{LL^V}\right).$$

Ограничение по углу поворота шарнира в вертикальной плоскости:

$$-\gamma_{\text{пр}} < \gamma^V < +\gamma_{\text{пр}},$$

где $\gamma_{\text{пр}}$ - предельный угол поворота в шарнире. Знаки «+» и «-» показывают направление отсчета угла относительно оси симметрии в вертикальной плоскости.

Проверочный расчет

Целью расчета является проверка выполнения ограничений по углам поворота шарниров в различных точках рабочего пространства. Расчетная схема показана на рис. 5 и рис. 6.

Выполним проверку работоспособности механизма в точке E рабочей зоны.

На плане механизма для горизонтальных штанг в вертикальной плоскости (рис.5) отрезком прямой соединим точку М(К) с точкой R. Отрезок RM(К) представляет собой проекцию горизонтальной штанги на вертикальную плоскость. Длину проекции горизонтальной штанги на горизонтальную плоскость рассчитаем по формуле:

$$l_{KK_1} = \sqrt{(l_H)^2 - (l_{RM(K)})^2},$$

где l_H - длина горизонтальной штанги на плане механизма; $l_{RM(K)}$ - длина проекции горизонтальной штанги на вертикальную плоскость (замеряется на плане механизма). Затем в горизонтальной плоскости из точки К проведем дугу окружности радиусом l_{KK_1} до пересечения с линией основания механизма и получим точку K_1 . Соединим точки К и K_1 отрезком прямой, который представляет

собой проекцию горизонтальной штанги на горизонтальную плоскость. Аналогичные построения выполним для точки М и получим точку М₁. Затем из точки К проведем перпендикуляр к основанию механизма. Точку пересечения обозначим К₂. Угол между проекцией горизонтальной штанги на горизонтальную плоскость и перпендикуляром к основанию механизма α^{H1} равен:

$$\alpha^{H1} = \arccos\left(\frac{K_2K}{K_1K}\right) = \arccos\left(\frac{S - EL}{K_1K}\right).$$

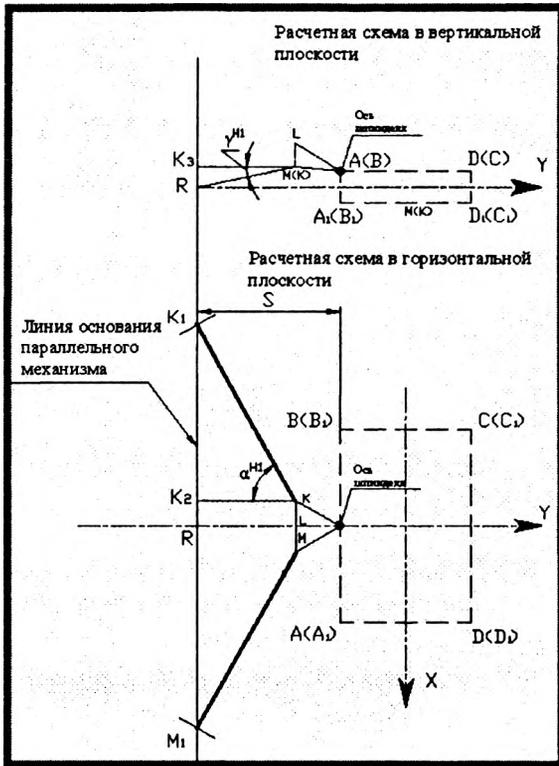


Рисунок 5 - План механизма для выполнения проверочного расчета горизонтальных штанг

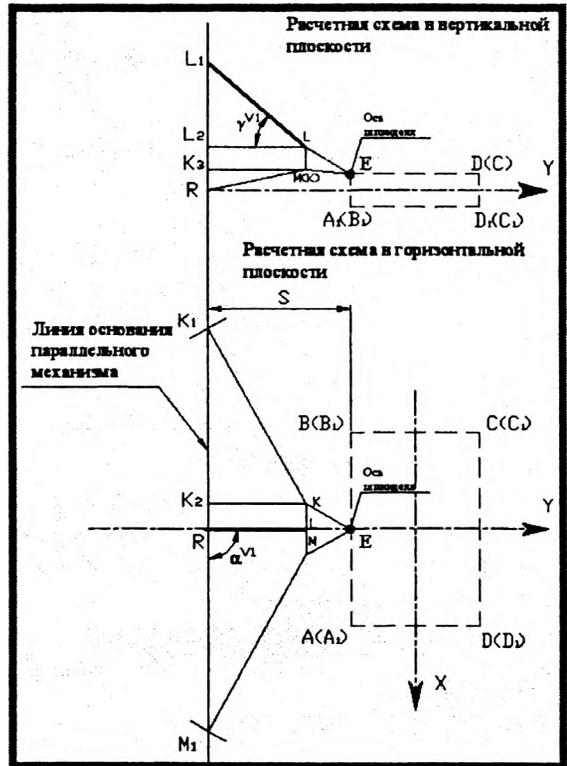


Рисунок 6 - План механизма для выполнения проверочного расчета вертикальной штанги

В вертикальной плоскости из точки К(М) проведем перпендикуляр к основанию шарнира. Точку пересечения обозначим К₃. Угол между проекцией горизонтальной штанги на вертикальную плоскость и перпендикуляром к основанию шарнира γ^{H1} равен:

$$\gamma^{H1} = \arccos\left(\frac{K_3K}{RK}\right) = \arccos\left(\frac{S - EL}{RK}\right).$$

Определив углы α^{H1} и γ^{H1} , необходимо проверить их по ограничениям (1) и (2).

На плане механизма для вертикальной штанги (рис. 6) в горизонтальной плоскости соединим отрезком прямой точки L и R. При нахождении выходного звена механизма в точке E проекция вертикальной штанги на горизонтальную плоскость и перпендикуляр к основанию механизма совпадают, следовательно, угол между ними $\alpha^{V1} = 0^\circ$.

Определим угол γ^{V1} между проекцией вертикальной штанги на вертикальную плоскость и нормалью к основанию механизма. Предварительно найдем длину проекции вертикальной штанги на вертикальную плоскость по формуле:

$$l_{L1} = \sqrt{(l_V)^2 - (l_{RL})^2},$$

где l_V - длина вертикальной штанги на плане механизма; l_{RL} - длина проекции вертикальной штанги на горизонтальную плоскость.

В вертикальной плоскости из точки L проведем дугу радиусом l_{RL} до пересечения с линии основания механизма и получим точку L₁. Отрезок L₁L представляет собой проекцию вертикальной штанги на вертикальную плоскость. Затем из точки L проведем перпендикуляр к основанию шарнира. Точку пересечения обозначим L₂. Угол γ^{V1} равен:

$$\gamma^{VI} = \arccos\left(\frac{L_2 \vec{L}}{LL_1}\right) = \arccos\left(\frac{S - EK}{LL_1}\right).$$

Расчитанный угол γ^{VI} , необходимо проверить по ограничению (2).

Аналогично по данному алгоритму производится проверочный расчет по другим крайним точкам рабочей зоны механизма.

Определение длины направляющих

Длина направляющих равна расстоянию между крайними положениями линейных приводов штанг, которые определяются при полном исследовании параллельного механизма для всех крайних точек траектории движения выходного звена. Необходимо также учитывать габаритные размеры линейного привода, защитных устройств, а также дополнительное расстояние, обусловленное работой приводного механизма в крайних точках траектории движения приводного механизма. Длину направляющих можно определить по формуле:

$$L_{напр} = \frac{l_{км}}{\mu_i} + h_m + h_{защ} + h_{доп},$$

где $l_{км}$ - расстояние между крайними точками линейного привода на плане параллельного механизма; h_m - габаритный размер привода в направлении его движения; $h_{защ}$ - габаритный размер защитного устройства направляющих; $h_{доп}$ - дополнительная длина направляющих.

Выбор конструкции шарниров

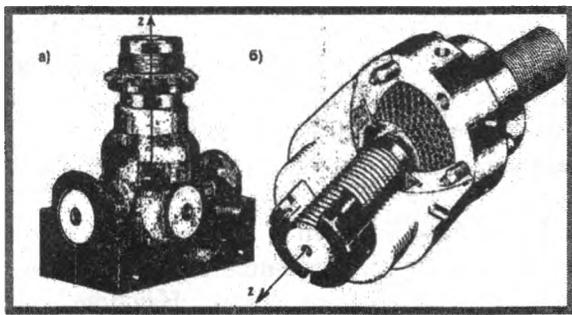


Рисунок 7 - Общий вид шарниров:
а) карданного; б) сферического

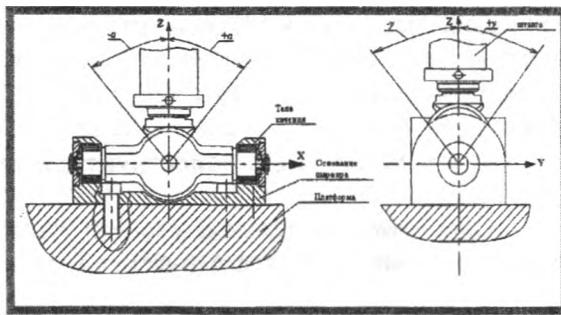


Рисунок 8-Предельные углы поворота карданного шарнира

В механизмах с параллельной кинематикой используются карданный и сферический шарниры: [2,3]. Общий вид шарниров показан на рис. 7, а предельные углы поворота на рис. 8. Краткая характеристика шарниров приведена в таблице 1. Критерием выбора конструкции шарнира является выполнение ограничений (1) и (2).

Таблица 1- Характеристика карданного и сферического шарниров

Тип шарнира	Число степеней подвижности	Предельный угол поворота в горизонтальной плоскости, град	Предельный угол поворота в вертикальной плоскости, град	Угол поворота относительно продольной оси Z, град.
Карданный	3	90	90	0
Сферический	2	90	45	360

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А. Потапов. Оборудование с параллельной кинематикой // СТИН. – 2003. – №3. – С. 35–40.
2. В.В. Бушуев, И.Г. Хольшев. Механизмы параллельной структуры в машиностроении // СТИН. – 2001. – №1. – С. 3–8.
3. www.ina.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕГАТРОННЫХ СЕНСОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
НА ОСНОВЕ ТУННЕЛЬНЫХ МДМ-НАНОСТРУКТУР

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Сверхтонкая диэлектрическая пленка МДМ-наноструктуры (металл–диэлектрик–металл), подвергнутая сильным внешним воздействиям (большие электрические и магнитные поля, высокий уровень токовой инжекции, значительная интенсивность оптического возбуждения) обнаруживает существенно нелинейное поведение: наблюдаются значительные отклонения от линейного (омического) соотношения между током и напряжением. При определенных условиях возникают неустойчивости такого типа как скачки и колебания тока и/или напряжения, переключение и гистерезис в вольт-амперной характеристике. В сенсорных микро-наносистемах указанные неустойчивости могут быть специально получены и использованы для контроля параметров различных физических параметров. Одной из таких неустойчивостей в туннельных сенсорных МДМ-наноструктурах является генерация электрических колебаний в супервысокочастотном диапазоне (от десятков гигагерц до десятков терагерц). По изменению параметров возбуждаемых колебаний судят о характере и величине внешнего воздействия на сенсорную МДМ-наносистему.

Туннельная МДМ-наноструктура как чувствительный элемент негatronной сенсорной системы

Одно из замечательных свойств туннельных МДМ-наноструктур — возможность получения на вольт-амперной характеристике участка с отрицательным дифференциальным сопротивлением.

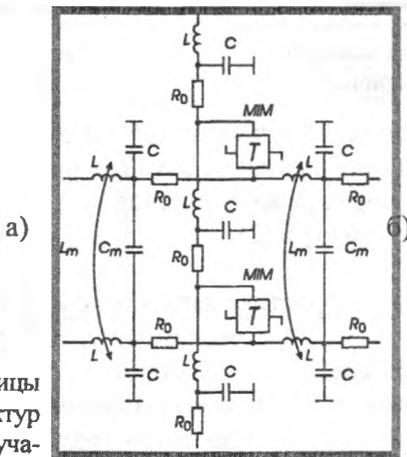
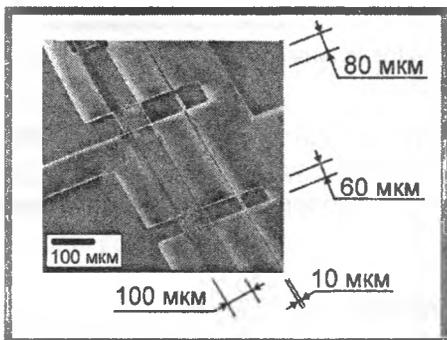


Рис. 1. Расположение проводников матрицы туннельных сенсорных МДМ-наноструктур (а) и упрощенная эквивалентная схема участка ее топологии (б).

Наличие такой характеристики позволяет создавать негatronные сенсорные системы с чувствительными элементами в виде туннельных МДМ-наноструктур. В данном случае сенсорные свойства негatronного элемента заключаются в том, что

МДМ-наноструктура включается в режим генерации электрических колебаний, частота которых изменяется под воздействием внешних факторов. Достоинством таких систем контроля является возможность использования их в составе сенсорных сетей с передачей данных по радиоканалу.

Вольт-амперная характеристика МДМ-наноструктуры, измеряемая в стационарных условиях, зависит как от микроскопических свойств туннельнотонкого диэлектрического слоя МДМ-наноструктуры, так и от параметров металлических проводников электрической схемы. Дело в том, что величина тока через МДМ-наноструктуру определяется параметрами всей электрической цепи, в которую включена МДМ-наноструктура. Электрическая цепь в данном случае рассматривается как сложное соединение активных и реактивных элементов, таких как сопротивления, индуктивности и емкости металлических проводников и контактов между ними.

В свою очередь, микроскопические свойства туннельнотонкого диэлектрика определяют зависимость плотности тока через МДМ-наноструктуру от величины приложенного к ней электрического поля. Если эта зависимость имеет область отрицательной дифференциальной проводимости, то есть если плотность тока уменьшается с ростом электрического поля или, наоборот, возрастает при уменьшении поля, то соответствующие стационарные состояния в общем случае неустойчивы. Данные соображения взяты за основу при определении подходов к вопросу аналитического моделирования негатронных сенсорных элементов, чувствительными элементами которых являются туннельные МДМ-наноструктуры с отрицательной дифференциальной проводимостью [1].

К созданию отрицательной дифференциальной проводимости приводят следующие техно-

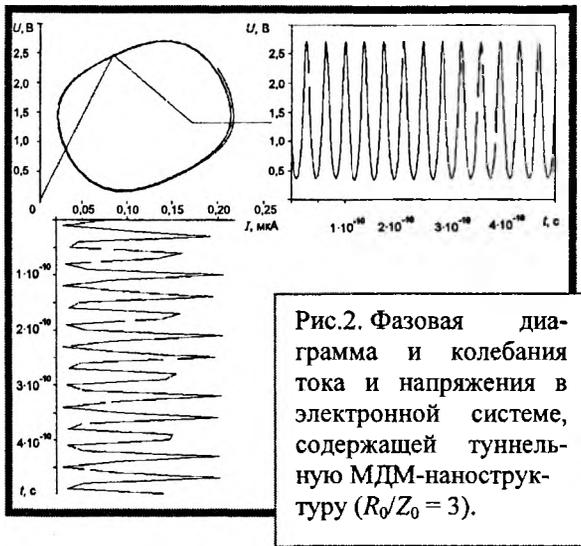


Рис.2. Фазовая диаграмма и колебания в электронной системе, содержащей туннельную МДМ-наноструктуру ($R_0/Z_0 = 3$).

логические приемы формирования МДМ-наноструктур и основные микроскопические механизмы, реализуемые в данных наноструктурах. Образование N -образной вольт-амперной характеристики происходит при ее электроформовке, а S -образная зависимость типична для случая электрического пробоя структуры с тепловой неустойчивостью. Эффект электрического переключения проводимости с памятью наблюдается также в МДМ-наноструктурах при использовании в качестве туннельнотонких диэлектриков соединений редкоземельных элементов, в частности, редкоземельных фторидов. Кроме того, переключение проводимости структуры возможно при фазовом переходе проводник-изолятор в оксидах переходных металлов в результате повышения температуры или давления.

Типичное для матрицы туннельных сенсорных МДМ-наноструктур расположение проводников представлено на рис. 1а [2, 3]. Каждый проводник внешней электрической цепи характеризуется распределенными значениями сопротивления, индуктивности и емкости. Взаимно перпендикулярные проводники в области пересечения образуют МДМ-наноструктуры, а между параллельными проводниками существуют емкостные и индуктивные связи. С учетом этого на рис. 1б показана упрощенная эквивалентная схема фрагмента топологии внешней электрической цепи туннельной МДМ-наноструктуры. Здесь R_0 , L — распределенные значения сопротивления и индуктивности проводника, C — распределенная емкость проводника относительно заземленных элементов конструкции; C_m , L_m — распределенные значения емкости связи и взаимной индуктивности между проводниками.

Сопротивление проводников внешней цепи МДМ-наноструктуры зависит от сопротивления R_Σ и длины l_Σ каждого отдельного участка общей конфигурации проводников:

$$R_0 = \Sigma R / \Sigma l. \quad (1)$$

где $R = R_S n$; $R_S = \square / d$; $n = l / b$; l , b , d — длина, ширина, толщина проводника соответственно; \square — удельное сопротивление материала проводника. Поскольку в области изгиба проводника плотность тока не остается постоянной, учитывается число квадратов, связанных с участками изгибов или других геометрических отклонений от прямолинейности, а также определяется их вклад в общую величину сопротивления. При этом сохраняется обычный расчет для прямолинейных участков и устанавливается сопротивление, вносимое квадратом на участке изгиба как часть сопротивления квадрата на прямолинейном участке.

Величина индуктивности проводников является функцией геометрии и магнитной проницаемости материала подложки и тонких пленок. При условии, что в конструкции МДМ-наноструктуры не применяются магнитные материалы, величина индуктивности проводников зависит только от их размеров. Предполагается также, что толщина пленочных проводников значительно меньше их ширины. В этом случае индуктивность одиночного прямолинейного тонкопленочного проводника на единицу длины определяется выражением:

$$L = \mu_0 / 2\pi \cdot [\ln(2l/b) + 1/2 + b/3l], \quad (2)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; l , b — длина и ширина проводника соответственно; $b \ll l$.

При расчете распределенной емкости проводников предполагается, что подложка простирается достаточно далеко по обе стороны от них, а длина проводников достаточно велика по сравнению с шириной и расстоянием между ними. Толщина пленочных проводников пренебрежимо мала по сравнению со всеми остальными размерами. Емкость на единицу длины двух параллельных проводников определяется выражением:

$$C = \epsilon_0 \epsilon c / 2, \quad (3)$$

где $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; $\epsilon \gg 1$ — диэлектрическая проницаемость материала подложки; $c = K'/K$, $K(k)$ — полный эллиптический интеграл I типа, являющийся табулированной функцией; $k = \text{th}(\pi a/4d)/\text{th}[\pi(a+2b)/4d]$; $k' = (1-k^2)^{1/2}$; l, b, a, d — длина и ширина проводников, расстояние между ними и толщина подложки, соответственно.

Параметры колебаний негатронной сенсорной системы на основе туннельной МДМ-наноструктуры

Выражение для автоколебаний в электрической схеме, содержащей элемент с отрицательной дифференциальной проводимостью, например туннельную МДМ-наноструктуру, можно представить в виде:

$$U_0/R = d^2 I_C/dt^2 + \{1 - [U_C(I_C)/I_C R]\} I_C + (1/Z_0)[dU_C(I_C)/dI_C + Z_0/R](dI_C/dt) \quad (4)$$

где U_0 — напряжение внешнего источника; R — сопротивление всей электрической цепи; I_C и U_C — ток через МДМ-наноструктуру и напряжение на ней; $Z_0 = (L_0/C_0)^{1/2}$ [4].

Оценка распределенных значений R, L и C проводников проводилась для наиболее характерных размеров: длина проводников 1–10 мм; ширина 0,01–0,1 мм; толщина 0,2–1,0 мкм; толщина подложки 0,2–0,5 мм. Генерация колебаний возникает при отношении R_0/Z_0 , лежащем в диапазоне 3–12; здесь $R_0 = R$ при $I_C = 0$.

Выражение для автоколебаний (4) является уравнением Ван-дер-Поля, которое при определенных начальных параметрах дает замкнутую фазовую траекторию (рис. 2). При малых R_0/Z_0 затухание вносит малое возмущение и решения типа предельного цикла для $U_C(t)$ и $I_C(t)$ почти синусоидальны, с ростом R_0/Z_0 характеристики становятся более пилообразны, а решения, не входящие в рассматриваемый диапазон R_0/Z_0 описывают затухающие колебания.

Результаты расчета показывают, что частота колебаний резко снижается с ростом значений R_0/Z_0 (рис. 3). Так, увеличение R_0/Z_0 с 3 до 12 приводит к снижению частоты колебаний с 20–30 ГГц до 1–3 ГГц. Таким образом, можно сделать вывод, что частота колебаний достаточно чувствительна к изменению параметров электрической цепи, содержащей туннельную МДМ-наноструктуру. Измеряя указанную частоту, можно судить о параметрах МДМ-наносистемы и, следовательно, выполнять контроль внешнего воздействия с использованием туннельных МДМ-наносенсоров.

Результаты расчета показывают, что частота колебаний резко снижается с ростом значений R_0/Z_0 (рис. 3). Так, увеличение R_0/Z_0 с 3 до 12 приводит к снижению частоты колебаний с 20–30 ГГц до 1–3 ГГц. Таким образом, можно сделать вывод, что частота колебаний достаточно чувствительна к изменению параметров электрической цепи, содержащей туннельную МДМ-наноструктуру. Измеряя указанную частоту, можно судить о параметрах МДМ-наносистемы и, следовательно, выполнять контроль внешнего воздействия с использованием туннельных МДМ-наносенсоров.

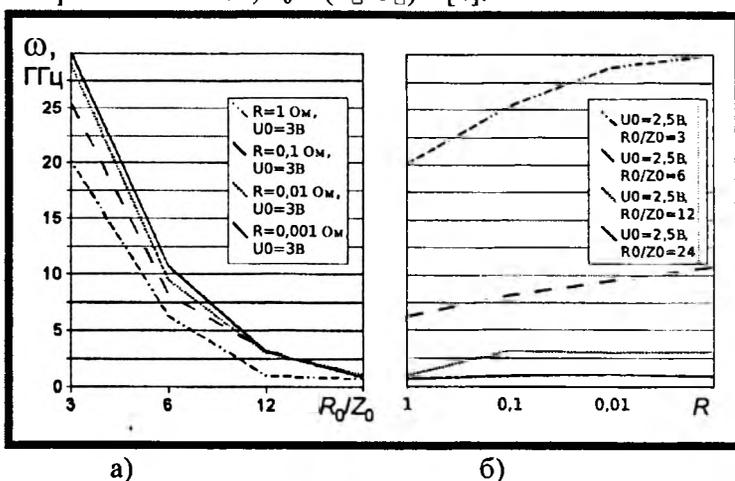


Рис. 3. Зависимость частоты колебаний от параметров электронной системы, содержащей туннельную МДМ-наноструктуру: а — от R_0/Z_0 ; б — от R .

ЛИТЕРАТУРА

1. Колешко В. М., Гулай А. В., Гулай В. А. Туннельные МДМ-наносенсоры: стратегии и технологии моделирования // Нано- и микросистемная техника. — № 9. — 2007. — С. 46–52.
2. Колешко В. М., Гулай А. В., Гулай В. А. Получение туннельных сенсорных МДМ-наноструктур на основе оксидов РЗЭ // Теоретическая и прикладная механика. — Вып. 22. — 2007. — С. 287–296.
3. Гулай В. А. Электрофизические свойства туннельных сенсорных МДМ-наноструктур на основе оксидов РЗЭ // Электроника-инфо. — № 9. — 2007. — С. 52–56.
4. Shaw M. P., Gastman I. J. Circuit Controlled Current Instabilities in “S-Shaped” Negative Differential Conductivity Elements // Appl. Phys. Lett. — 1971. — Vol. 19, N 7. — P. 243–245.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНВАРИАНТНЫХ МИКРО-НАНОТЕХНОЛОГИЙ СЕНСОРИКИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Существенным требованием к микро-нанотехнологиям является их инвариантность в условиях проявления дестабилизирующих факторов, определяющая как эффективность технологического цикла изготовления микро-наноприборов, так и характеристики качества готовой продукции [1]. Понятие «технологическая инвариантность» в контексте настоящей работы имеет смысл независимости одного из основных параметров анализируемого объекта — технологического процесса (комплекса микро-нанотехнологий) от изменения других его параметров или от влияния случайных внешних воздействий. Термин «микро-нанотехнология» определяет технологический процесс получения микро-наноприборов, например сенсорных микро-наносистем, как сложную динамическую систему (технологическую систему), в которой в единый комплекс объединены все ее технические элементы (значимые для нашего рассмотрения), вовлеченные в процесс изготовления указанных приборов.

Концептуальный подход к проблеме моделирования инвариантных микро-нанотехнологий

Микро-нанотехнология, рассматриваемая с позиций системного подхода, характеризуется следующими признаками: наличием иерархической структуры и сложной системой связей различной физической природы между элементами и подсистемами (в виде потоков вещества, энергии, информации), а также функционированием в условиях действия на технологический процесс разного рода внутренних и внешних возмущений. При таком подходе система «микро-нанотехнология» содержит следующую совокупность учитываемых нами наиболее важных подсистем: объект обработки или изготовления — микро-наноэлектронный или микро-наноэлектромеханический прибор, в частности сенсорную микро-наносистему; воздействующие физические факторы или технологическую среду, с использованием которых производится обработка; оборудование (устройство, установку, прибор) для проведения технологического процесса обработки.

Случайными отрицательно действующими на технологию факторами являются: нестабильность характеристик оборудования и параметров участвующих в обработке материалов и веществ; модификация объектов обработки и образование обратных связей с другими технологическими подсистемами; влияние внешней среды (изменение температуры, давления, влажности, внесение загрязняющих примесей). В качестве отрицательного фактора также рассматривается такое рассогласование электрофизических параметров элементов формируемых микро-наносистем при модификации технологии, которое существенно снижает качество получаемых готовых изделий.

Комплекс технологических процессов по получению изделий микро-наносенсорики представлен в виде «черного ящика» с контролируруемыми входными воздействиями X , неуправляемыми внешними возмущениями F и со значениями выходных параметров технологии обработки Y . При рассмотрении микро-нанотехнологии как объекта кибернетического моделирования и управления при ее структурировании применяется процедура экранирования возмущений, заключающаяся в том, что в модель управления вводится специальный блок (технологическая функция), маскирующий указанные возмущения. Изложенные выше представления о технологической инвариантности микро-нанотехнологий позволяют определить условия независимости выходной переменной Y от возмущающих влияний F , то есть «нечувствительности» параметра Y к отрицательному влиянию внешних факторов F .

Рассматриваемая кибернетическая модель инвариантных микро-нанотехнологий состоит из двух функционально и структурно обособленных технологических модулей (процессов): инварианта и адаптера (рис. 1). Инвариант представляет собой комплекс основных технологических операций получения сенсорного устройства, а адаптер реализует дополнительные технологические функции по экранированию воздействующих отрицательных факторов (случайных возмущений). При введении в систему управления адаптера в нем по величине F устанавливается определенная добавка Z к входным параметрам, которая, в свою очередь, воздействует на технологию

ский процесс таким образом, что изменение выходной переменной $\Delta Y(Z)$ экранирует возмущения $\Delta Y(F)$, реализуя условие инвариантности технологии. Более того, комплексное влияние Z на технологический цикл приводит к повышению положительных качеств технологии и выходных характеристик изделия. В результате, несмотря на постоянные изменения потока случайных возмущений, технологический цикл находится в заданном состоянии высокого качества (эффективности).

Следует особо подчеркнуть, что свойство инвариантности микро-нанотехнологий сенсорики в принятой нами интерпретации не предполагает прямой компенсации возмущающего воздействия $+F$ противоположным действием $-F$. Введение компенсации возможно, по-видимому, в случае, когда отдельные подсистемы рассматриваемого процесса, например производства [2], не имеют жесткой связи между собой и компенсирующие

операции не затрагивают всю анализируемую систему. Напротив, в микро-наносенсорике обеспечение технологической инвариантности приводит к модификации всего технологического цикла и изменению его характеристик. В связи с этим выбор модифицирующих факторов микро-нанотехнологии производится с учетом как свойства ее инвариантности, так и достижения высоких итоговых параметров, например высоких параметров готового изделия.

В соответствии с принятой в данной работе структурой технологической системы методы реализации свойства инвариантности (маскирования отрицательно действующего фактора) будут соответствовать основным подсистемам микро-нанотехнологии:

- конструктивно-технологический (за счет выбора определенных конструктивных решений изготавливаемого прибора, например его схемы, структуры, топологии; за счет выбора нетрадиционных информативных параметров прибора, менее подверженных влиянию или маскирующим влиянием возмущений);

- физико-технологический (путем использования новых физико-химических явлений при дополнительном энергетическом воздействии различной физической природы: акустическом, оптическом, плазменном, микроволновом; путем дополнительного вовлечения в физико-химические процессы в зоне обработки нового материала или вещества в виде поверхностной пленки, газовой среды, слоя жидкости, легирующей добавки);

- инструментально-технологический (за счет модификации, реконструкции или модернизации технологического оборудования на схемном или конструктивном уровне; за счет выбора определенного технологического инструментария (методов обработки и режимов функционирования оборудования)).

В процессах изготовления достаточно сложных сенсорных систем, технологические циклы получения которых содержат значительное число операций, структура инвариантной технологии является многомерной, имеет вид многоуровневой рекурсивной иерархии. Кибернетическое моделирование такой технологии позволяет проектировать технологические процессы, в которых чрезмерная структурная и ресурсная избыточность всего технологического цикла изготовления сенсорного изделия локализована в пределах адаптирующего компонента самого нижнего уровня, и тем самым уменьшить сложность технологии, снизить стоимость готовых изделий.

Таким образом, достижение инвариантности микро-нанотехнологии вполне можно рассматривать как процесс ее внутренней самоподстройки (однократной, статической или непрерывной, динамической) путем привлечения внутренних возможностей, ресурсов системы, заложенных, предусмотренных на этапе ее проектирования. Поиск таких ресурсов, внутренних механизмов и создание инвариантности при разработке микро-нанотехнологий может проводиться, например, на следующих уровнях: элементном, структурном, функциональном, параметрическом, генетическом. Данные кибернетические модели целесообразно использовать для компьютерного моделирования и анализа эффективности технологических процессов сенсорной техники, поиска направлений модернизации промышленных технологий.

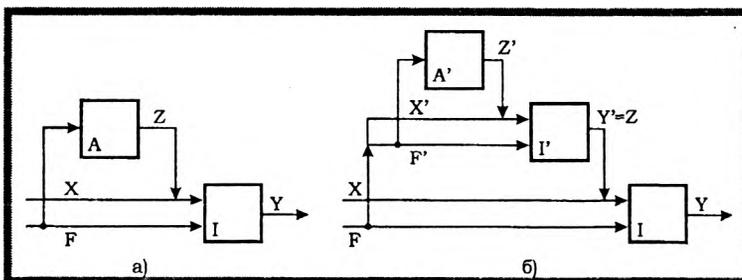


Рис.1. Структура модели инвариантных микротехнологий с минимальным уровнем иерархии (а) и имеющая вид многоуровневой рекурсивной иерархии (б):
I — инвариант; A — адаптер.

Технологическая инвариантность процесса формирования туннельных сенсорных наноструктур

Специфической проблемой для туннельных МДМ-наноструктур (металл-диэлектрик-металл), определяющей точность сенсорного контроля, является уменьшение отношения между величинами электрического сопротивления металлических электродов и расположенного между ними сверхтонкого диэлектрика [3]. Значимость данной проблемы возрастает с повышением степени микроминиатюризации сенсорных приборов, в частности, с уменьшением толщины пленок в конструкции МДМ-наноструктур. Так, снижение толщины металлической пленки приводит к увеличению ее сопротивления, в то время как уменьшение толщины пленки диэлектрика (для достижения туннельного характера проводимости) связано с повышением ее электропроводности, что затрудняет достижение требуемого соотношения между указанными сопротивлениями.

Моделирование токопереноса в туннельных МДМ-наноструктурах показало, что при толщинах диэлектрических пленок менее ~ 10 нм их проводимость определяется несколькими механизмами переноса заряда, причем она существенно увеличивается с ростом напряжения и температуры [4, 5]. Например, увеличение напряжения на электродах приводит к деформации потенциального барьера в МДМ-наноструктуре от прямоугольного к трапецидальному и к подключению механизма проводимости Фаулера–Нордгейма (дополнительно к прямому туннелированию). Увеличение температуры даже до 293 К включает процессы термостимулированной эмиссии электронов через потенциальный барьер по механизму Шоттки–Ричардсона и Пула–Френкеля.

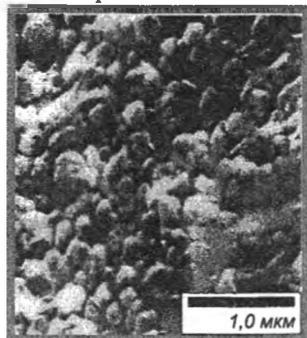
Математическое моделирование вольт-амперной зависимости, характерной для туннельной МДМ-наноструктуры, позволило определить отношение экспериментально измеряемого сопротивления между ее электродами R_m и истинного сопротивления туннельного перехода R_T : $R_m / R_T = \eta \operatorname{ch} \eta / \operatorname{sh} \eta - \eta^2$, где $R_m = V_m / I_m$; V_m , I_m — напряжение на МДМ-наноструктуре и ток вдоль электродов, измеряемые, например, четырехзондовым методом; $\eta = (R_F / 2R_T)^{1/2}$, R_F — полное сопротивление тонкопленочных электродов [6]. Как следует из анализа данного выражения, экспериментально измеряемое сопротивление равно истинному сопротивлению туннельного перехода только до тех пор, пока выполняется соотношение $R_F \ll R_T$.

При значительном уменьшении сопротивления тонкой диэлектрической пленки может наблюдаться $R_F > R_T$, что приведет к существенной погрешности измерения параметров МДМ-наноструктуры и снижению точности контроля влияния внешних воздействий на ее характеристики. Достижение инвариантности параметров МДМ-наноструктур относительно соотношения сопротивлений диэлектрической пленки и электродов возможно при $R_F \rightarrow 0$, что происходит при использовании сверхпроводящих электродов. В связи с этим исследовали процесс получения тонких пленок из материалов, обладающих высокотемпературной сверхпроводимостью (ВТСП), и моделировали влияние сверхпроводящих электродов на характеристики наноструктур сверхпроводник–диэлектрик–металл и сверхпроводник–диэлектрик–сверхпроводник.

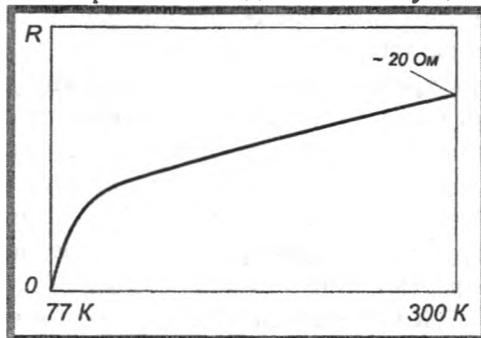
Тонкие пленки сверхпроводника получали методом высокочастотного магнетронного распыления мишеней из фторидов элементов, входящих в состав ВТСП-пленок [7–9]. Изготавливались мишени диаметром 93 мм и толщиной 3 мм из смеси порошков $\text{YF}_3 + \text{BaF}_2 + \text{Cu}$ в пропорции, обеспечивающей соотношение элементов $\text{Y} : \text{Ba} : \text{Cu} = 1 : 2 : 3$; $1,0 : 2,2 : 3,3$; $1,0 : 2,8 : 3,3$. Смеси порошков предварительно измельчали и гомогенизировали с помощью планетарной шаровой мельницы с халцедоновыми размольными шарами в течение 6–8 часов в гексане при скорости вращения 340 об/мин. Прессовались мишени методом импульсного нагружения с помощью взрывчатого вещества, в качестве которого использовался аммонит 6ЖВ (21% TNT + 79% NH_3NO_2). Давление и скорость детонации варьировались в пределах соответственно 2–4 ГПа и $2 \cdot 10^3$ м/с за счет изменения высоты заряда взрывчатого вещества.

Рентгенофазный анализ смесей $\text{YF}_3 + \text{BaF}_2 + \text{Cu}$ до и после импульсного прессования показал, что их фазовый состав в процессе получения мишени практически не изменяется. Из-за напряженного состояния смеси фторидов после взрывного нагружения происходит некоторое уширение всех дифракционных максимумов, интенсивность пиков несколько уменьшается, но отношения ширины на полувысоте разных максимумов изменяются слабо. Это свидетельствует об увеличении дефектной структуры материала в процессе импульсного нагружения, в то же время отсутствие каких-либо дополнительных линий на дифрактограмме говорит о том, что новые фазы в материал мишени не образуются.

Распыление мишеней из фторидных соединений проводили высокочастотным магнетронным методом в среде аргона при давлении 0,13–2,66 Па и мощности колебаний 50–150 Вт. В качестве подложек использовали пластины титаната стронция, поликора, ниобата лития, кремния. Для предотвращения взаимодействия материалов подложки и ВТСП-пленки на поверхность подложки наносили подслои двуокиси циркония, серебра или золота. Длительность процесса осаждения пленки составляла 30 мин, толщина пленки достигала 200–300 нм. Процесс отжига пленки и формирования сверхпроводящей фазы проводили в среде азота с парами воды, для чего азот пропускали через объем кипящей дистиллированной воды. Отжиг осуществляли в течение 15–30 мин при



а)



б)

Рис. 2. Структура поверхности (а) и зависимость сопротивления YBaCuO пленок от температуры (б) (подложка из поликора, подслой золота).

температуре 1023 К., охлаждение образцов проводилось в течение 10 мин в проточном кислороде. Структура поверхности формируемых ВТСП-пленок и зависимость их сопротивления от температуры показана на рис. 2.

Аналитические выражения для моделирования вольт-амперных зависимостей туннельного контакта сверхпроводник–диэлектрик–металл включают параметры исходных материалов электродов (метал-

ла и сверхпроводника) и потенциального барьера, образованного промежуточным диэлектрическим слоем. Вольт-амперная характеристика данной наноструктуры учитывает (через параметр нелинейности) зависимость тока как от напряжения и температуры, так и от ширины энергетической щели сверхпроводника.

Технологическая инвариантность сенсорных наноструктур на поверхностных акустических волнах

В сенсорных наноструктурах на поверхностных акустических волнах (ПАВ) энергия волн локализована в поверхностном слое звукопровода, толщина которого соизмерима с длиной волны. Это обуславливает возможность управления характеристиками ПАВ путем нанесения на поверхность звукопровода тонких пленок с отличными от материала звукопровода акустомеханическими и электрофизическими свойствами [10]. Решение задачи формирования инвариантных сенсорных систем на поверхностных акустических волнах достигается использованием тонких диэлектрических пленок, свойства которых выбираются с точки зрения реализации эффекта инвариантности контроля.

Резонансные ПАВ-наноструктуры для контроля давления формировались на звукопроводе из монокристаллического кварца Y -среза, при этом направление распространения поверхностных акустических волн выбиралось вдоль оси X кварца. Для повышения чувствительности сенсора к изменению давления звукопровод ПАВ-наноструктуры выполнялся в виде тонкой диафрагмы, внутренняя сторона которой подвергалась контролируемому воздействию, а по внешней ее стороне распространялись поверхностные акустические волны. Возбуждение и детектирование ПАВ осуществлялось с помощью идентичных аподизованных встречно-штыревых преобразователей, рассчитанных на длину волны $3,2 \cdot 10^{-5}$ м. Система распределенных отражателей ПАВ-наноструктуры выполнялась в виде двух сформированных на поверхности звукопровода решеток из 600 полосок алюминия (или канавок) в каждой, толщина (глубина) которых, нормированная относительно длины волны, составляла $1,25 \cdot 10^{-2}$. Резонансная частота полученной ПАВ-наноструктуры находилась вблизи $\sim 98,3$ МГц, эффективная добротность в 50-омном электрическом тракте равнялась $(1,4-1,8) \cdot 10^4$, величина вносимых потерь на резонансной частоте составляла 5,5–7,5 дБ.

В качестве элементов сенсорной системы, обеспечивающих инвариантность контроля, использовались тонкие пленки фторидов редкоземельных элементов (РЗЭ), нанесенные на поверхность звукопровода ПАВ-наноструктуры. Тонкие пленки формировались путем термического испарения фторидов редкоземельных элементов иттриевой подгруппы в вакууме, температура звукопровода в процессе осаждения пленок составляла 470 К. С целью проведения сравнительных

исследований формировались также тонкие пленки нитрида алюминия, оксида алюминия и оксида цинка, традиционно используемые для модификации ПАВ-наноструктур. Тонкие пленки AlN и ZnO осаждались на поверхность звукопровода методом магнетронного распыления на постоянном токе мишени из алюминия или цинка в газовой среде, содержащей соответственно азот или кислород; тонкие пленки Al₂O₃ наносились электронно-лучевым испарением. С использованием электронографических методов исследования было установлено, что осаждаемые тонкие пленки фторидов РЗЭ и нитрида алюминия аморфные, а пленки оксида цинка — поликристаллические.

Формирование тонкой пленки на поверхности звукопровода приводит к сдвигу резонансной частоты ПАВ-наноструктуры, что обусловлено, в частности, изменением скорости распространения поверхностных акустических волн в полученной системе пленка-подложка. Кроме этого, нанесение тонкой пленки существенно влияет на характер и величину температурной зависимости резонансной частоты ПАВ-наноструктуры, а также на зависимость резонансной частоты от величины механической деформации звукопровода. Для экспериментального определения вышеуказанных зависимостей ПАВ-наноструктура включалась в цепь обратной связи широкополосного высокочастотного усилителя и измерялась рабочая частота сформированного таким образом ПАВ-генератора, равная резонансной частоте ПАВ-наноструктуры.

Рабочая частота полученного генератора зависит, в частности, от температуры T и давления P внешней среды следующим образом: $f(T,P) = n/\tau(T,P) = n\nu(T,P)/l(T,P)$, где n — коэффициент, характеризующий выбранную моду колебаний; $\tau(T,P)$ — время задержки поверхностных акустических волн; $l(T,P)$, $\nu(T,P)$ — соответственно длина пути и скорость распространения поверхностных акустических волн. Таким образом, в качестве основного термоэффекта в ПАВ-наноструктурах рассматривается температурная зависимость временной задержки поверхностных акустических волн, обусловленная влиянием температуры на скорость распространения ПАВ и коэффициент линейного расширения материала звукопровода. В свою очередь, значительная величина температурного коэффициента временной задержки является причиной температурного дрейфа резонансной частоты ПАВ-наноструктуры. За счет снижения зависимости рабочей частоты ПАВ-генератора от температуры обеспечивается инвариантность контроля давления сенсорной ПАВ-наноструктурой.

Характер влияния тонких пленок на температурную зависимость параметров ПАВ-наноструктуры оценивался по величине относительного значения температурного коэффициента частоты $\Delta k^T/k_0^T = (k^T - k_0^T)/k_0^T$, где k_0^T — температурный коэффициент частоты исходной ПАВ-наноструктуры (без пленки на поверхности звукопровода; $h = 0$). Величина k^T в данном случае определяется как нормированное изменение резонансной частоты ПАВ-наноструктуры в диапазоне температур 233–323 К: $k^T = (f^{T_1} - f^{T_2})/\Delta T$, где $T_1 = 323$ К; $T_2 = 233$ К; $\Delta T = 90$ град.

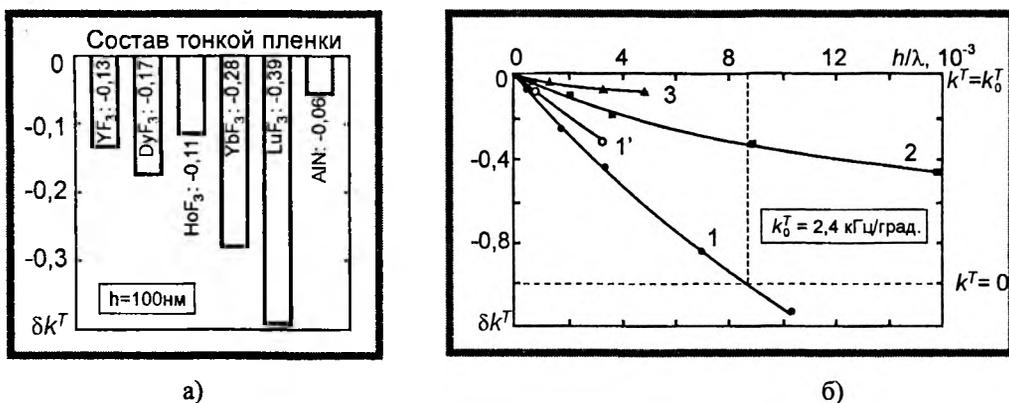


Рис. 3. Зависимость Δk^T ПАВ-наноструктуры от состава (а) и толщины (б) тонких пленок фторидов РЗЭ: 1, 1' — LuF₃; 2 — HoF₃; 3 — AlN; 1–3 — скорость осаждения 1,8 нм/с; 1' — 0,51 нм/с.

На рис. 3 представлены зависимости относительного значения температурного коэффициента частоты Δk^T от нормированной толщины тонких пленок h/λ на поверхности звукопровода. Анализ полученных зависимостей показал, что формирование тонких пленок фторидов РЗЭ приводит к снижению температурного коэффициента частоты, причем положительный эффект в данном случае значительно выше, чем при использовании пленок нитрида алюминия, традиционно применяемых с целью модификации ПАВ-наноструктур. Особо следует отметить, что при нормированной толщине тонкой пленки фторида лютеция $h/\lambda \approx 8,7 \cdot 10^{-3}$ значение $\Delta k^T = -1$, то есть в диа-

пазоне $T = 233\text{--}323$ К рабочая частота ПАВ-генератора не зависит от температуры. Таким образом, нанесение тонких пленок фторидов РЗЭ на поверхность звукопровода ПАВ-наноструктуры является эффективным способом достижения технологической инвариантности сенсорных систем для контроля давления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колешко В. М., Гулай А. В. Инвариантность микротехнологий // *Машиностроение* — 2005. — Вып. 21, т. 1. — С. 225–233.
2. Свирский Д. Н. Кибернетическое моделирование компактного производства в процессе его организации // *Наука и технологии на рубеже XXI века: Материалы Международной научно-технической конференции.* — Мн.: УП «Технопринт», 2000. — С. 594–596.
3. Колешко В. М., Гулай А. В., Гулай В. А. Технологическая инвариантность туннельных сенсорных МДМ-наноструктур // *Сборник докладов международной научной конференции «Актуальные проблемы физики твердого тела (ФТТ-2007)»*, 23–26 октября 2007 г., Минск. — Т. 2. — С. 159–161.
4. Колешко В. М., Гулай А. В., Гулай В. А. Моделирование токопереноса в туннельных сенсорных МДМ-наноструктурах // *Машиностроение* — 2007. — Вып. 23. — С. 332–336.
5. Колешко В. М., Гулай А. В., Гулай В. А. Туннельные МДМ-наносенсоры: стратегии и технологии моделирования // *Нано- и микросистемная техника.* — 2007. — № 9. — С. 46–52.
6. Живер И. Туннельный переход в системе металл–изолятор–металл // *Туннельные явления в твердых телах.* — М.: Мир, 1973. — С. 25–35.
7. Колешко В. М., Гулай А. В. и др. Способ получения мишеней для осаждения ВТСП-пленок // Патент РФ № 2064717. Опубл. 27.07.1996 г., бюлл. № 21.
8. Колешко В. М., Гулай А. В. и др. Распыляемые мишени из фторидных соединений для получения тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников // *Письма в Журнал технической физики* — 2006. — Т. 32 № 4. — С. 45–50.
9. Koleshko V. M., Gulay A. V., et al. Fluoride Compound Targets for the Sputter Deposition of Thin Films of High- T_c Superconductors // *Technical Physics Letters* — 2006. — Vol. 32, № 2. — P. 158–160.
10. Колешко В. М. и др. Микроэлектронные преобразователи информации на поверхностных акустических волнах // *Зарубежная электронная техника.* — 1985. — № 9. — 116 с.

УДК 05.06.07.12

Чигарев А.В., Мальцев А.Г., Мальцев И.А.

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОТРУБОК ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Как известно, общепринятого механизма формирования нанотрубок в настоящее время не существует. Форма трубок достаточно разнообразна, что может свидетельствовать о взаимодействии нескольких механизмов [1]. Особого внимания заслуживает информация о существовании оптимальных режимов образования нанотрубок в зависимости от условия горения дуги с графитовыми электродами [1]. Максимальный выход нанотрубок зафиксирован при минимально возможном токе дуги, необходимом для ее стабильного горения [1], что достигается поддержанием межэлектродного расстояния на фиксированном уровне и эффективной системой отвода тепла от электродов. При этих условиях до 90% всей массы углерода, распыленной с анода осаждаются на катоде в виде сложной пространственной структуры [1], имеющий форму цилиндра и состоящего из серого стержня, покрытого черным кольцом, окруженным серой оболочкой. Черное кольцо содержит множество нанотрубок различного диаметра и длиной в десятки микрометров. В катодном осадке содержатся также наночастицы, имеющих формы многогранников и других фигур.

По сравнению с методом термического распыления графитового электрода в плазме дугового разряда метод лазерного распыления обладает рядом особенностей, которые при определенных условиях позволяют получить нанотрубки более высокого качества за счет лучшей управляемости процесса. При использовании в качестве мишени композита, представляющего собой стержень спеченный из смеси Co/Ni выход высококачественных однослойных длинных нанотрубок достигал 50%, а при облучении двумя лазерами с различными длинами волн – 90%. [1]

Предлагается термомеханическая модель распыления 2-х компонентного композита с помощью лазерного облучения мишени и модель образования наноструктур.

Вычислим сначала эффективные коэффициенты композита с учетом технологии получения его. Согласно [2] композит получался из смеси высокочистого металла (или оксида металла) с графитом, которой заполнялась форма и выдерживалась под постоянным давлением и температуре 120°C в течение 4-5 ч. Затем спеченный стержень вулканизировался при 810°C в течение 8 ч. под потоком аргона. Затем полученные мишени в течение 12 ч. находились в потоке аргона при температуре до 1200°C.

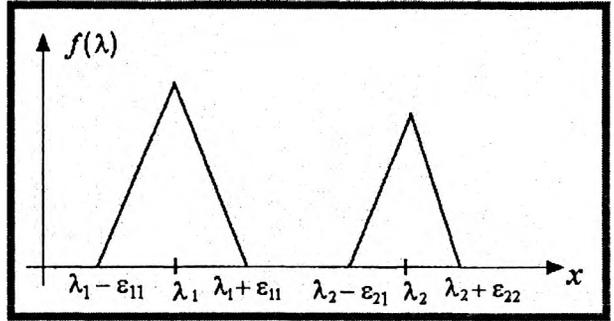


Рисунок 1.

Из описания технологии следует, что компоненты, в результате образующие композит изменяли свои упругие и теплопроводные свойства. Вследствие этого их эффективные коэффициенты не могут быть рассчитаны по формулам теории смесей или другим формулам, не учитывающим разброс свойств.

Метод расчета эффективных коэффициентов с разбросом свойств позволяет описать влияние технологии на физико-механические свойства формируемой мишени.

1. Расчет эффективных физико-механических свойств композитных мишеней.

Пусть мишень представляет собой композит спеченный из смеси двух материалов. Обозначим материальный коэффициент λ (упругости или теплопроводности) i -того компонента через λ_i ($i = 1, 2$). Введем функцию плотности распределения $f(\lambda)$ величины λ . В начальном состоянии (до спекания)

$$f(\lambda) = \sum_{i=1}^2 c_i \delta(\lambda - \lambda_i) \quad (1)$$

$$\delta(\lambda - \lambda_i) = \begin{cases} \infty & \lambda \neq \lambda_i \\ 0 & \lambda = \lambda_i \end{cases}, \quad \int_{-\infty}^{\infty} f(\lambda) d\lambda = \sum_{i=1}^2 c_i = 1.$$

Среднее значение λ вычисляется по формуле

$$\langle \lambda \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \lambda f(\lambda) d\lambda = \sum_{i=1}^n c_i \lambda_i \quad (2)$$

из которой следует, что c_i имеют смысл объемных концентраций компонентов λ_i . В результате спекания и других технологических операций компоненты композита претерпят некоторые изменения, которые будем описывать как появление разброса свойств от значений исходных компонент. Математически это соответствует тому, что функция $f(\lambda)$ будет иметь не δ -образный характер, а некоторый, редуцированный из него. Рассмотрим простую редуцию $f(\lambda)$ от вида (1) к треугольному распределению типа изображенного на рис. 1.

$$f(\lambda) = \begin{cases} \frac{2c_1}{\varepsilon_{11} + \varepsilon_{12}} + \frac{2c_2}{(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{12})\varepsilon_{11}} (\lambda - \lambda_1), & \text{если } \lambda \in [\lambda_1 - \varepsilon_{11}, \lambda_1] \\ \frac{2c_1}{\varepsilon_{11} + \varepsilon_{12}} - \frac{2c_2}{(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{12})\varepsilon_{12}} (\lambda - \lambda_1), & \text{если } \lambda \in [\lambda_1, \lambda_1 + \varepsilon_{12}] \\ 0 & \text{для остальных } \lambda, i = 1, 2. \end{cases} \quad (3)$$

$$c_1 + c_2 = 1.$$

Если эффективные модули упругости λ^* (коэффициентов теплопроводности) равны средним $\langle \lambda \rangle_f$, то получим

$$\langle \lambda \rangle_f = \lambda^* = \langle \lambda \rangle_c + [(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{12}) + (\varepsilon_{21} - \varepsilon_{22})] / 3,$$

верхнюю оценку истинных значений модулей упругости (коэффициентов теплопроводности), оценка Фойхта.

Полагая

$$\left(\frac{1}{\lambda}\right)_f^{-1} = \lambda^*, \quad \langle \lambda \rangle_f = \int_{-\infty}^{\infty} \lambda f(x) d\lambda, \quad \langle \lambda \rangle_c = \sum_{i=1}^2 c_i \lambda_i,$$

получим нижнюю оценку (оценку Рейсса) истинных значений модулей упругости (коэффициентов теплопроводности).

Изменение параметров ε_{ij} зависит от технологии получения композита из двухкомпонентной смеси и определения кинетическими уравнениями типа

$$\frac{d\varepsilon_{ij}}{dt} = f(t, \sigma_{ij}, e_{ij}, \delta_{ij}, T, \Omega_{ij}),$$

где t – время, σ_{ij} – напряжение, e_{ij} – деформация, T – температура, Ω_{ij} другие технологические параметры.

Композиты, представляющие собой смесь, имеют случайную неупорядоченную структуру, описываемую корреляционными функциями экспоненциального типа. Однако за счет проектирования структуры материала мишени можно управлять процессом формирования нанотрубок. Для этого необходимо сформировать структуру, которая в направлении падения лазерного импульса имеет слоистую структуру, в которой связность слоев значительно меньше, чем структур в пределах слоя. Кроме того структура каждого слоя имеет периодический или квазипериодический характер, причем периодичность ячейки связывается с размерами и формами нанотрубок.

Отметим, что одна из возможных корреляционных функций, описывающих такую структуру имеет вид

$$R(\rho, z - na) = R_0 \delta(z - na) R(\rho). \quad (4)$$

Возможные типы $R(\rho)$ для периодической и квазипериодической структур

$$R_p(\rho) = \cos \rho b, \quad \rho \left[(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \right]^{1/2},$$

$$R_{px}(\rho) = e^{-\rho/b} \left[\cos \rho / b + \frac{b_1}{b} \sin \rho / b_1 \right], \quad (5)$$

где n – номер слоя, a – толщина слоя, b – радиус корреляции, b_1 – период, $\delta(z - na)$ – δ -функция Дирака.

Технология производства мишени со слоистой структурой и с периодической структурой слоев может быть реализована методами парниковых технологий.

Рассмотрим теперь задачу о лазерном нагреве мишени и возможности ее разрушения с образованием зародышей структур типа нанотрубок. Лазерное воздействие характеризуется импульсным скачком температуры на поверхности, который приводит к резкому увеличению кинетической энергии некоторого кластера частиц, расположенных в граничном слое и достаточной для совершения работы по отрыву частиц кластера слоя от частиц нижележащего слоя. Неравномерность разрыва связей с соседним кластером в слое и с соседним слоем формирует геометрию отслоившейся структуры.

Отметим, что импульсное лазерное воздействие может возбудить в мишени волны, причем влияние динамических эффектов растет с уменьшением толщины граничного слоя [3].

Возбуждение волн, на фронте которых происходит скачок напряжений, скоростей, деформаций может приводить к скачку перемещений, что и характеризует отрыв слоя и его скручивание. Заметим, что модель процесса разрушения мишени с образованием наноструктур может быть модифицирована, если мишени изготавливать с заранее спроектированным полем остаточных напряжений, способствующих процессу послойного распыления мишени при меньших интенсивностях воздействия. Это является важным моментом, т.к. известно, что сравнительно небольшое превышение температуры над оптимальной ведет к спеканию образующихся структур [1]. Наложение ультразвукового поля на мишень также способствует тому, что мишень будет распыляться с образованием нужных структур при меньшей температуре.

2. Термомеханическая модель образования наноструктур

Пусть на торцевую часть цилиндра действует температура вследствие чего идут процессы горения, испарения, и разрушения поверхностного слоя. Процесс термического разрушения связан с растрескиванием нагреваемого слоя трещинами параллельными поверхности нагрева и пер-

пендикулярными к ней. Отслаивающиеся пластинки в зависимости от размеров, температуры, давления могут принимать различные формы, в том числе трубчатые Рис. 1

Оценим диапазон температур, необходимых для образования структур слоистого типа. Естественно предположить, что на процесс влияет температура в тонком пограничном слое, который в силу своей неоднородности деформируется неравномерно и прежде всего растрескивается, а затем получившиеся структуры подвергаются дальнейшим превращениям.

Тепловая энергия поступающая на поверхность тратится на увеличение внутренней энергии поверхностного слоя, образование сети трещин (образование сети свободных поверхностей), на сворачивание части крупных нанопластин в трубки. Если учитывать, что идет процесс абляции (унос вещества с поверхности), то необходимо учесть энергию тепла, преобразующуюся в кинетическую энергию абляции. Резкое тепловое воздействие возбуждает в цилиндре волны, которые при определенных условиях способствуют отрыву нанопластин.

Таким образом, можно записать

$$dQ = dA_{\text{дет}} + dA_{\text{к0нл}} + dA_{\text{кслл}} + dA_{\text{вал}} + dQ_3$$

$$dA_{\text{дет}} = \sigma_{ij} e_{ij}, \quad dA_{\text{к0нл}} = 2\gamma \sum_{i=1}^n \int \int S_i dS, \quad (6)$$

$$dA_{\text{кслл}} = \sum_{k=1}^N M_k d\varphi_k, \quad dA_{\text{вал}} = \sum_{i=1}^M m_i \frac{V_i^2}{2}.$$

Здесь по повторяющимся индексам идет суммирование, в $dA_{\text{к0нл}}$ суммируются элементарные работы на поверхностях всех образующихся трещин, в $dA_{\text{кслл}}$ суммируется работа на скручивание атомных плоскостей в трубки, образование других типов структур, $dA_{\text{вал}}$ работы по распылению (абляции) всех образовавшихся структур, dQ_3 – часть тепла на горение с образованием золы.

Пусть на мишень действует одиночный тепловой импульс на протяжении времени Δt так, что имеем

$$Q(t) = Q_0 [\theta(t) - \theta(t - \Delta t)],$$

где $\theta(t)$ – функция Хевисайда.

Нагрев описывается уравнением теплопроводности $a\Delta T = \frac{\partial T}{\partial t}$

$$\text{оп}\theta \quad t = 0 \quad T = \theta,$$

$$\text{оп}\theta \quad z = 0 \quad \frac{\partial T}{\partial z} = h(T - \theta). \quad (7)$$

Распределение температуры в пограничном слое находится из решения уравнения теплопроводности [3, 4] и имеет вид

$$T = \frac{z}{\lambda\sqrt{\pi}} \int_{\xi_0}^{\infty} \frac{Q}{\xi^2} e^{-\xi^2} d\xi, \quad \xi_0 = \frac{z}{2\sqrt{at}}. \quad (8)$$

Обозначим

$$a = \frac{\lambda}{c\gamma_1}, \quad \xi_1 = \frac{\xi_0}{\sqrt{1 - \frac{\Delta t}{t}}}, \quad (9)$$

Проинтегрируем (8) по частям и получим при $0 < t < \bar{t}$

$$\frac{\lambda T}{Q_0} = a\sqrt{2} \sqrt{\frac{t}{\pi}} \left\{ e^{-\xi_0^2} - \sqrt{1 - \frac{\Delta t}{t}} e^{-\xi_1^2} + [\Phi(\xi_0) - \Phi(\xi_1)] \xi_0 \sqrt{\pi} \right\}, \quad (10)$$

где $\Phi(\xi)$ – интеграл Гаусса.

Область резких перепадов температуры определяется условием

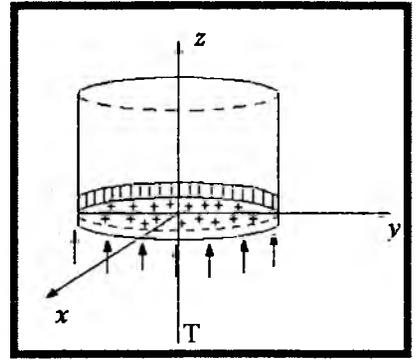


Рисунок 2

$$\xi < 1, \quad z < 2\sqrt{a\Delta t} \quad (11)$$

При условии (11) и при $t < \Delta t$ разложим функцию Гаусса в ряд по степеням ξ_0 , тогда получим

$$T = \frac{2\sqrt{a}Q_0}{\lambda} \sqrt{\frac{t}{\pi}} \left[1 - \xi_0\sqrt{\pi} + \xi_0^2 - \frac{1}{6}\xi_0^4 + \dots \right], \quad 0 < t \leq \bar{t}. \quad (12)$$

Толщина пограничного слоя $z = \delta_m$ – это такая глубина, на которой в конце теплового удара $t = \Delta t$ температура T обращается в нуль в линейном по z разложении (12), т.е. при $\xi_0 = \frac{1}{\sqrt{\pi}}$ и следовательно,

$$\delta_m = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{a\Delta t} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{\lambda\Delta t}{c\gamma_1}} \quad (13)$$

Внутри слоя ($z \leq \delta_m$) в период теплового импульса ($0 \leq t \leq \Delta t$) температура T определяется формулой

$$T = \frac{2\sqrt{a}Q_0}{\lambda} \sqrt{\frac{t}{\pi}} (1 - \xi_0\sqrt{\pi} + \xi_0^2). \quad (14)$$

Подслоем δ слоя δ_m будем называть такой слой, в котором температура, определяемая формулой (14) возникает к моменту времени t

$$\delta = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{at} = \delta_m \sqrt{\frac{t}{\Delta t}}, \quad t \leq \Delta t. \quad (15)$$

В формуле (14) ξ_0 имеет значение

$$\xi_0 = \frac{z}{2\sqrt{at}} = \frac{z}{\delta\sqrt{\pi}}, \quad z \leq \delta(t) \leq \delta_m. \quad (16)$$

В слое к моменту $t \leq \Delta t$ концентрируется все тепло, которое сообщается телу за время $t - Q_0t$ и величина тепла в слое δ согласно (14), равна

$$\int_0^{\delta} \rho\gamma_1 T dz = c_1\gamma_1 \delta \sqrt{\pi} \int_0^1 T d\xi = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{3}{4} - \frac{\sqrt{\pi}}{2} \right) Q_0 t. \quad (17)$$

Температура на поверхности $z = 0$ при $t = \Delta t$ равна

$$T_m = \frac{2\sqrt{a}Q_0}{\lambda} \sqrt{\frac{\Delta t}{\pi}} = \frac{\delta_m Q_0}{\lambda}. \quad (18)$$

Закон нарастания температуры в слое

$$T_0 = T_m \sqrt{\frac{t}{\Delta t}}, \quad \text{при } z = 0$$

$$T = T_m \sqrt{\frac{t}{\Delta t}} \left(1 - \frac{z\sqrt{\pi}}{2\sqrt{at}} + \frac{z^2}{4at} \right) \quad 0 \leq z \leq \delta_m. \quad (19)$$

Вычислим чему равны наибольшие напряжения и деформации в наружном слое. По условию задачи имеем

$$\sigma_r = 0, \quad \sigma_\theta = \sigma_z, \quad \varepsilon_r \neq 0, \quad \varepsilon_\theta = \varepsilon_z = 0.$$

Здесь индексы r, θ, z означают направления по радиусу, в окружном направлении и осевом соответственно.

Относительные изменения объема вещества слоя на глубине z_1 , равное $\varepsilon = \varepsilon_r$, связано со средним напряжением $2/3\sigma$ законом Гука

$$\sigma_\theta = \frac{3}{2} K(\varepsilon_r - 3\alpha_1 T_1). \quad (20)$$

Максимальное касательное напряжение τ и максимальный сдвиг γ на каждой глубине z_1 выражается через θ и r

$$\tau = -\frac{1}{2} \sigma_{\theta}, \quad \gamma = \varepsilon_r. \quad (21)$$

Величины τ и γ связаны между собой функцией упрочнения

$$\tau = F(\gamma). \quad (22)$$

Из (19) получаем закон упругости

$$\tau = \frac{3}{4} K(-\gamma + 3\alpha_1 T_1) \quad (23)$$

И добавляем закон упрочнения

$$\tau = F(\gamma) = G\gamma[1 - \omega(\gamma)]. \quad (24)$$

Для функции $\omega(\gamma)$ используется линейный закон

$$\omega = \begin{cases} 0 & \gamma \leq \gamma_s = \frac{\tau_s}{G} \\ \lambda_s \left(1 - \frac{\gamma_s}{|\gamma|} \right) & \lambda_s = \frac{G - G_s}{G}, \quad \gamma \geq \gamma_s \end{cases} \quad (25)$$

Из формул (23), (24) находим $\gamma = \gamma'$, $\tau = \tau_1$, соответствующие максимальной температуре.

Обозначая T_s – температуру растрескивания материала, находим

$$T_s = \frac{(3K + 4G)\gamma_s}{9K\alpha_1}. \quad (26)$$

Максимальные деформации сжатия в слое

$$\gamma' = \frac{\gamma_s}{1 - n\lambda_s} \left(\frac{T_1}{T_s} - n\lambda_s \right), \quad T_1 \geq T_s, \quad n = \frac{4G}{3K + 4G}. \quad (27)$$

Толщина нанослоев, из которых образуются трубки известна и равна δ_m , тогда из (18), (19) находится температура, которая должна быть создана на поверхности, чтобы напряжения в слое достигали предельных значений.

Таким образом, поверхностный слой будет разрушаться, причем вследствие случайной геометрии трещин продукты разрушения имеют различную структуру, в том числе трубчатую, которая в дальнейшем может служить зародышем для дальнейшего синтеза структур, например, закрытие трубок полусферой.

3. Учет динамических эффектов

Рассмотрим одномерное волновое движение, среды под действием температуры при котором $u = v = 0$, $w = w(z, t)$ [3]. Тогда

$$e_{xx} = e_{yy} = 0, \quad e_{zz} = \frac{1}{1 - \mu} \left[\frac{1 - 2\mu}{2G} \sigma_{zz} + (1 + \mu)\alpha T \right]. \quad (28)$$

Уравнение распространения волны имеет вид [3]

$$\frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} = \rho \frac{\partial w}{\partial t^2} \quad (29)$$

с учетом (28) из (29)

$$\frac{\partial^2 \sigma_{zz}}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \sigma_{zz}}{\partial t^2} = \frac{1 + \mu}{1 - \mu} \rho \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} \quad (30)$$

при $z = 0$ $\sigma_{zz} = 0$.

Решение (30) методом преобразований Лапласа дает выражение

$$\sigma_{zz} = K(F_1(z, t)) + \begin{cases} 0 & \text{оп } \theta \quad t < z/c \\ F_2(z, t) & \text{оп } \theta \quad t > z/c \end{cases} \quad (31)$$

где функции $F_1(z, t)$, $F_2(z, t)$ зависят от функции вероятностей Лапласа.

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \frac{1}{1 - \mu} \sigma_{zz} - \frac{F_2 T}{1 - \mu}. \quad (32)$$

Зависимость σ_{xx} / K и T / θ от $\xi = cz / a$ и представлена на рис. 3 [3] при $\tau = c^2 t / a = 1$.

При достижении σ_{xx} предела прочности на фронте волны происходит отслоение, а при достижении σ_{xx} , σ_{yy} пределов прочности происходит разделение слоя на множество трещин, которые получив импульс отделяются от поверхности образуя среду распыления мишени. Для поддержания режима распыления мишени необходимо создать обдув мишени, уносящий продукты абляции.

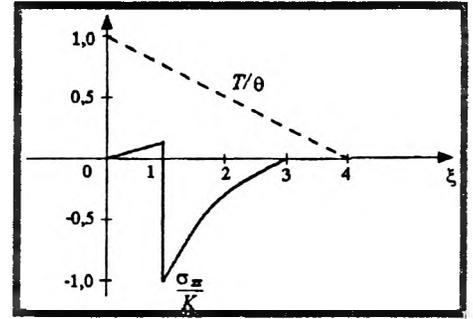


Рисунок 3

Вывод:

1. Необходимо создать на поверхности мишени кратковременный регулируемый скачок температуры, что возможно достигнуть с помощью лазера импульсного действия или лазера непрерывного действия для вращающейся мишени.
2. Мишень должна обладать структурой (неоднородностью физико-механических свойств) с помощью проектирования которой предопределяется геометрия структур, образующихся при распылении мишени.
3. Создание заданных полей остаточных напряжений в мишени, наложение ультразвуковых колебаний и обдув мишени способствуют устойчивому протеканию процесса распыления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елецкий А.В. Углеродные нанотрубки//УФН, т. 167, №9, 1997, с. 945-972.
2. Ball P. Nature (London) 382, 207(1996).
3. Parkus H. Instationäre Wärmespannungen, Wien, Springer-Verlag, 1959, s. 252.
4. Огибалов П.М., Колтунов М.А. Оболочки и пластины. Московский ун-в. 1969, 695 с.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫХ РАСЧЕТОВ В PRO/MECHANICA

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Получивший развитие в 60-е годы XX-го века анализ методом конечных элементов (МКЭ или FEA, Finite Element Method) является одним из самых старых приложений для компьютерного проектирования. Первоначально этот вид расчетов был в определенной степени элитарным. Это было вызвано тем, что компактную и вместе с тем точную модель для вычисления на относительно слабой ЭВМ мог разработать только специалист высокой квалификации. Сложность создания модели, в особенности трехмерной, служила своеобразной «защитой от дурака», отсеивая недостаточно подготовленных инженеров.

Положение начало меняться в 90-е годы, когда бурно начали развиваться САД-системы объемного моделирования, способные работать на персональных ЭВМ. Конструктор получил возможность легко и быстро разрабатывать трехмерные модели, которые можно было непосредственно использовать при МКЭ-расчетах. Одновременно вычислительная мощность ЭВМ возросла на несколько порядков. Появилась возможность в разумные сроки рассчитывать даже неоптимизированные конечно-элементные модели. Эту возможность использовали разработчики САПР. В результате, наряду с универсальными МКЭ-пакетами (ANSYS, NASTRAN), в большинстве современных САД-пакетов появились встроенные МКЭ-модули для прочностных и тепловых расчетов.

Встроенные модули предназначены, в первую очередь, для экспресс-оценки характеристик изделия на ранних стадиях проектирования. На этой стадии особенно важно иметь возможность сравнивать между собой различные варианты конструкции детали. Точные значения нагрузок еще не известны, поэтому высокая точность расчетов не обязательна. Отсюда вытекают главные требования к встроенным в САД расчетным модулям – простота подготовки исходных данных и скорость работы. Как правило, это достигается за счет снижения точности расчета и возможностей моделирования.

Кроме того, встроенные модули САЕ рассчитаны на малоподготовленных пользователей. Поэтому для них характерна предельная автоматизация проведения расчетов. Например, даже материал модели может определяться автоматически (если, конечно, он задан в САД-модуле). Сетка конечных элементов строится тоже автоматически и часто даже не показывается на модели. Возможности ее коррекции минимальны или вообще отсутствуют. Но при этом предусмотрено автоматическое сгущение сетки в местах геометрических особенностей (например, вокруг отверстий, во внутренних углах и т.д.) и в зонах приложения нагрузок и закреплений. Для моделирования геометрии используются ограниченный набор конечных элементов (как правило, только твердотельных или пластинчатых), причем выбор разных типов элементов в рамках одной модели возможен не всегда.

Возможности по заданию нагрузок и закреплений во встроенных пакетах существенно меньше по сравнению с универсальными пакетами. С другой стороны, поскольку встроенный САЕ-модуль тесно интегрирован с САД, в некоторых модулях можно естественным способом использовать условия сопряжения деталей в сборке для задания граничных условий (закреплений).

Состав различных видов анализа ограничен по сравнению с составом универсальных программ и в основном предназначен для решения таких задач, как линейный статический механический и тепловой анализ, определение собственных форм колебаний (модальный анализ), оценка устойчивости конструкции и т.д. Результаты расчета представляется стандартным для МКЭ-пакетов способом. Например, распределение механических напряжений или температур в модели показывают изменением цвета (раскрашиванием). Аналогично, деформация модели на экране утрирована, но пропорциональна расчетной деформации и т.д.

Существуют разные способы интеграции CAD и CAE модулей, но чаще всего доступ ко всем возможностям встроенного CAE-модуля обеспечивается непосредственно из интерфейса базового CAD-пакета. Таким уровнем интеграции обладают, например, Pro/ENGINEER, Visual Nastran или CATIA Analysis для CATIA, COSMOS/Works для SolidWorks, T-Flex Анализ для T-Flex и т.д.

К сожалению, простота подготовки данных и наглядность представления результатов при использовании встроенных МКЭ-пакетов может сыграть злую шутку над инженером-конструктором. Если для профессионального инженера-расчетчика оценка точности расчета представляет главную и часто наиболее трудоемкую часть работы, то конструктор иногда с трудом принимает саму необходимость такой оценки. Яркость и «научнообразность» представления результатов приводит к тому, что среднему конструктору психологически трудно сомневаться в результатах расчета, полученных с использованием «инновационных технологий». Кроме того, стандартная процедура расчета во встроенном МКЭ-пакете просто не предполагает оценки точности расчета. Поэтому часто результаты расчетов принимают как истину в последней инстанции, без какой-либо критической оценки.

В связи с этим оценим, хотя бы в первом приближении, точность статического прочностного расчета в CAE-модуле Pro/MECHANICA пакета САПР высшего уровня Pro/ENGINEER. Выбор пакета для оценки обусловлен тем, что Pro/ENGINEER является пионером в области параметрического трехмерного моделирования. Поэтому встроенный в него CAE-модуль PRO/MECHANICA, вероятно, самый «старый» и, соответственно, наиболее отработанный встроенный расчетный модуль. Кроме того, отдельный интерес представляет оценка точности конечных элементов, используемых в PRO/MECHANICA. В отличие от подавляющего большинства МКЭ-пакетов, PRO/MECHANICA использует не только линейные или параболические конечные элементы, но и позволяет аппроксимировать их полиномами вплоть до девятой степени (т.н. геометрические элементы). С одной стороны, такой подход позволяет точно описывать сложную геометрию минимальным количеством конечных элементов. С другой стороны, оценить погрешность расчета с использованием таких элементов становится труднее.

Сравним результаты конечно-элементных расчетов с результатами, полученными по аналитическим зависимостям для напряжений в телах простого сечения. В качестве первой тестовой задачи определим нормальные напряжения в гладкой пластине длиной 400 мм, шириной 40 мм и толщиной 10 мм. Конечно-элементная модель пластины, подготовленная в PRO/MECHANICA, представлена на рисунке 1. Левый край пластины жестко закреплен, а к правому приложена сила $F=1000$ Н, направленная вдоль оси пластины (ось X). Расчетное значение нормальных напряжений σ_{xx} в этом случае равно:

$$\sigma_{xx} = \frac{F}{S} = \frac{1000}{0.04 \times 0.01} = 2.5 \text{ МПа,}$$

что точно совпадает со значением, полученным в процессе МКЭ-расчета с однопроходной адаптацией, предлагаемым в PRO/MECHANICA по умолчанию (рисунок 1). Следует отметить, что такой результат получен при использовании всего только 13 конечных элементов.

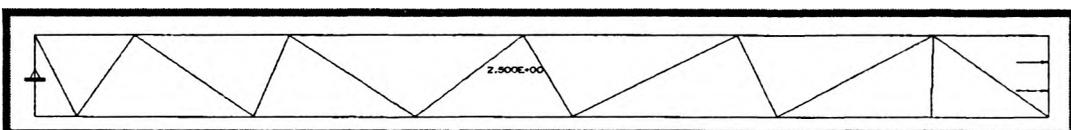


Рисунок 1 – Результат МКЭ-расчета гладкой пластины

Усложним тестовую модель и проведем расчет пластины с полукруглыми вырезами (концентраторами напряжений) в центре, радиус r и глубина t которых равна 10.9 мм. В этом случае расчетное значение нормального напряжения σ_{xx} равно [1]:

$$\sigma_{xx} = \alpha \frac{F}{S_{MIN}} = 1.45 \times \frac{1000}{(0.04 - 2 \times 0.0109) \times 0.01} = 7.967 \text{ МПа} \quad (1)$$

где S_{MIN} – площадь ослабленного сечения пластины; α – коэффициент, приблизительно равный 1.45 при условии $t = r$.

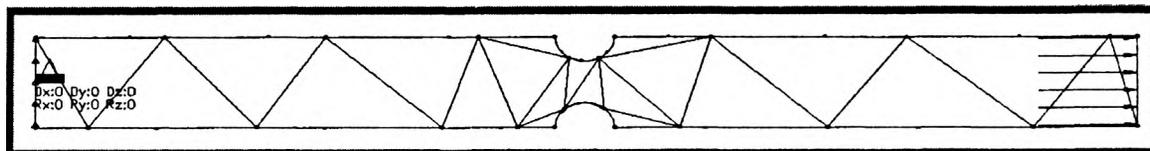


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель пластины, создаваемая по умолчанию

На рисунке 2 показана модель, создаваемая PRO/MECHANICA при установках по умолчанию (однопроходная адаптация). Максимальное значение нормальных напряжений σ_{xx} наблюдается в самом узком месте сечения пластины и равно 9.05 МПа. Погрешность в сравнении с теоретическим результатом (1) составляет 13.6%, что для столь простой задачи, безусловно, много.

Стандартный способ повышения точности при МКЭ-расчетах заключается в постепенном сгущении сетки конечных элементов в окрестностях проблемных мест. Процесс повторяется до тех пор, пока результаты не перестают заметно изменяться. Например, при расчете в универсальном МКЭ-пакете MSC/Nastran погрешность 0.6% в сравнении с результатом расчета по формуле (1) достигается уже при размещении 48 элементов на каждой полукруглой кромке выреза и практически не изменяется при дальнейшем сгущении сетки.

Была предпринята попытка увеличить точность расчета в PRO/MECHANICA, принудительно увеличивая число конечных элементов на ребрах вырезов. Результат оказался парадоксальным.

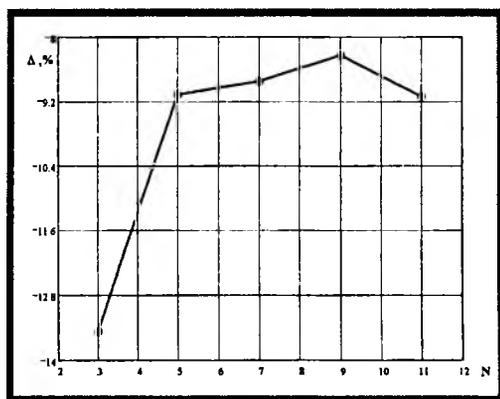


Рисунок 3 – Зависимость погрешности расчета от числа конечных элементов на ребрах вырезов

Первоначально, с увеличением числа конечных элементов, точность расчета возрастает, но при увеличении числа элементов выше 10 опять начинает падать. График на рисунке 3 иллюстрирует изменение погрешности расчета Δ , % в зависимости от числа конечных элементов N , размещенных на ребрах вырезов.

Можно предположить, что это явление объясняется ухудшением формы конечных элементов, в частности, вырождением их в длинные и узкие клинья, как показано стрелкой на рисунке 4. К сожалению, в PRO/MECHANICA отсутствуют средства гибкого управления сеткой конечных элементов, поэтому существенно повысить точность расчета сгущением сетки не удастся.

существует режим расчета с многопроходной адаптацией. С точки зрения пользователя, отличие в том, что в режиме многопроходной адаптации возможно задать более жесткие критерии сходимости решения и увеличить порядок полинома аппроксимации до предельных значений. Сама же сетка конечных элементов может остаться той же самой.

Как показали пробные расчеты, минимальная погрешность достигается при задании степени полиномов в диапазоне от 1 до 9 и процента сходимости (разницы между пробными решениями) равным 1%. В этом случае нормальные напряжения σ_{xx} оказываются равными 8.493 МПа, а погрешность в сравнении с теоретическим результатом (1) составляет уже только 6.35%, что более чем в 2 раза меньше, чем при расчете с установками по умолчанию. Однако следует отметить, что при максимальных установках время расчета тестовой пластины возрастает с 1.12 до 13.35 секунды.

Таким образом, для получения приемлемой точности при работе в PRO/MECHANICA представляется целесообразным использовать режим МКЭ-расчета «Многопроходная адаптация». При этом желательно выставлять допустимые значения степеней полинома в диапазон 1...9 и задавать минимально рекомендуемый (1%) процент сходимости. По-

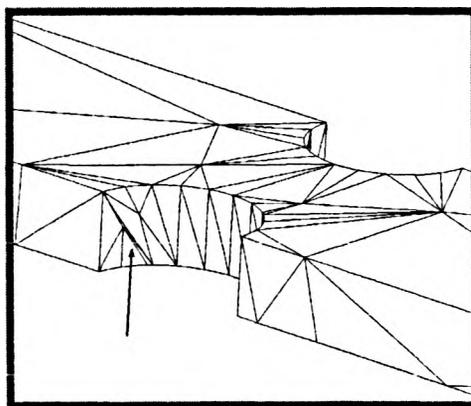


Рисунок 4 – Искажение формы конечных элементов при чрезмерном сгущении сетки

сколько во встроенных САЕ-модулях трудно оценить погрешность расчетов, следует быть осторожным при использовании результатов таких расчетов для оптимизации конструкции ответственных узлов и деталей.

Автор благодарен сотрудникам фирмы «Рэндбел» Баринову В.А. и Кузьмину И.А. за помощь в получении учебной лицензии на Pro/Engineer и ценные консультации по использованию пакета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.; Отв. ред. Писаренко Г.С. – 2-ое изд. – Киев: Наук. Думка, 1988. – 736 с. 2.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ МЕТОДОМ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Оптимизация режима резания является многокритериальной задачей [1], и один вариант режима оказывается лучше других по одной группе критериев и хуже по другой. Теория нечетких множеств позволяет в этой ситуации найти оптимальное решение [2]. Применим ее для оптимизации процесса сверления по критериям стойкости сверла T , высоты микронеровностей поверхности отверстий R_a , напряжения δ у края сквозного отверстия в момент приближения к нему сверла и производительности резания Q . При сверлении порошкового материала получены зависимости

$$\begin{aligned} T &= 278 V^{-0,96} S^{0,44} K_1 K_2, \\ R_a &= 2,9 V^{-0,22} S^{0,48} K_3 K_4, \\ Q &= 2,29 \cdot 10^{-4} V^{0,67} S^{0,95}, \\ \delta &= 468,8 V^{0,13} S^{1,1}, \end{aligned}$$

где V – скорость резания, м/мин; S – подача, мм/об; K_1 – поправочный коэффициент, учитывающий влияние состояния поверхности сверла на его стойкость; K_2 – коэффициент, учитывающий влияние смазочно-охлаждающей среды на стойкость сверла; K_3 и K_4 – коэффициенты, учитывающие влияние тех же факторов на шероховатость поверхности отверстий; T в мин; R_a в мкм; δ в $H^* \text{мм}^2$.

Оптимальный вариант режима резания должен обеспечить высокие уровни стойкости инструмента и производительности обработки, а также малую высоту микронеровностей поверхностей отверстий и минимальные напряжения у их краев с целью предотвращения их выламывания при сквозном сверлении. Критериям T , Q , R_a , δ соответствуют функции принадлежности

$$M_1 = 1 - \frac{T_{max} - T}{T_{max} - T_{min}} \text{ при } T > T_{min}; 0 - \text{ в противном случае;}$$

$$M_2 = 1 - \frac{Q_{max} - Q}{Q_{max} - Q_{min}} \text{ при } Q > Q_{min}; 0 - \text{ в противном случае;}$$

$$M_3 = 1 - \frac{R_a - R_{a\ min}}{R_{a\ max} - R_{a\ min}} \text{ при } R_a < R_{a\ max}; 0 - \text{ в противном случае;}$$

$$M_4 = 1 - \frac{\delta - \delta_{min}}{\delta_{max} - \delta_{min}} \text{ при } \delta < \delta_{max}; 0 - \text{ в противном случае;}$$

В этих функциях T_{max} – максимальная стойкость инструмента в рассматриваемой области D параметров режима резания; T_{min} – минимальная стойкость, соответствующая процессу обработки; Q_{max} – максимальная производительность процесса в области D ; Q_{min} – минимальная производительность, достаточная для выполнения программы; $R_{a\ min}$ – минимальная высота микронеровностей на обработанной поверхности в области D ; $R_{a\ max}$ – максимальная высота микронеровностей, допустимая требованиями к качеству обработанной поверхности; δ_{min} – минимальное напряжение у края отверстия в области D ; δ_{max} – максимальное напряжение, при котором не происходит выламывание материала у края отверстия при выходе сверла; T , Q , R_a , δ – значения соответствующего критерия при конкретном варианте режима резания.

Пользуясь функциями принадлежности, можно выделить предпочтительные варианты режима резания по каждому критерию. Функция принимает значение 1, если по данному критерию

вариант является наилучшим. Для определения лучшего варианта по всем критериям образуются нечеткое множество A , представляющее собой пересечение частных критериев, и его функция принадлежности, которую можно представить в виде произведения.

$$M_A = M_1 M_2 M_3 M_4.$$

Поскольку не заданы ограничения на выбранные критерии, значения функции M_A = находим при различных сочетаниях подачи S и скорости V , изменяющихся в области D . Чтобы найти оптимальную область режимов резания при $S = 0,104 \dots 0,23$ мм/об и $V = 9 \dots 30$ м/мин достаточно найти M_A при 20...30 сочетаниях S и V . Например, при $S = 0,104$ мм/об и $V = 9$ м/мин $M_1 = 0,94$; $M_2 = 0,15$; $M_3 = 1,0$; $M_4 = 0,80$ и $M_A = M_1 M_2 M_3 M_4 = 0,113$; при $S = 0,173$ мм/об и $V = 27$ м/мин $M_1 = 0,07$; $M_2 = 0,95$; $M_3 = 0,37$; $M_4 = 0,48$ и $M_A = 0,012$.

Первый вариант режима имеет предпочтение перед вторым. Сравнение всех исследованных вариантов показало, что обработку материала наиболее эффективно производить при $S = 0,133 \dots 0,153$ мм/об и $V = 14 \dots 17$ м/мин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якобс Г.Ю., Якоб Э., Кохан Д. Оптимизация резания. Параметризация способов обработки резанием с использованием технологической оптимизации: Пер. с нем. – М.: Машиностроение, 1981.
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.

УДК 378:371.671

Кочергин А.И.

ДИДАКТИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЕ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Учебный план специальности «Технологическое оборудование машиностроительного производства» включает дисциплины «Технологическое оборудование» и «Конструирование и расчет технологического оборудования». В первой студенты изучают основные характеристики оборудования: компоновку, кинематическую структуру, особенности конструкции узлов; учатся анализировать кинематические схемы сложных станков и производить кинематические расчеты. Изучая вторую дисциплину, студенты получают знания и навыки, необходимые для конструирования станочных узлов и технологических машин.

Учебная литература по названным дисциплинам должна включать учебники, лабораторные практикумы, сборники задач и упражнений, пособия по курсовому и дипломному проектированию, учебные справочники, атласы конструкций. В последние 15 лет появилось только несколько книг этого комплекса, к которым можно отнести учебник /1/, учебник-справочник /2/ и немногочисленные учебные пособия небольшого объема, освещающие отдельные темы курса. Учебные справочники, атласы конструкций, сборники задач и упражнений не издавались никогда. Неудовлетворительная обеспеченность учебной литературой по конструированию технологического оборудования связана с трудностями, встречающимися при подготовке такой литературы.

Дидактические основы проектирования учебной литературы для студентов высших учебных заведений изложены в ряде работ /3, 4, 5/, в то же время принципы создания учебников и пособий по конструированию технологического оборудования разработаны недостаточно.

Существенны противоречия, имеющие место при разработке учебной литературы по названным дисциплинам. Одно из них состоит в том, что значительную часть знаний о технологическом оборудовании специалист не сможет применить в практической деятельности из-за особенностей современной технологической производственной системы, существующей в нашей стране. В этой системе находится технологическое оборудование разных поколений, множества типов, преимущественно морально устаревшее. Поэтому при проектировании учебников, ориентирую-

щих студентов на практическое использование теоретических знаний, возникают затруднения с выбором объектов для изучения и задача о распределении объектов учебного материала, относящихся к современным, перспективным и имеющимся в производственной системе объектам. Эта задача решается, если в учебнике рассматриваются не конкретные образцы технологического оборудования, а принципы построения оборудования для производственной системы, развивающейся на основе достижений промышленных и информационных технологий.

Недостаточный уровень системного подхода к изложению учебного материала о технологическом оборудовании проявляется в отсутствии в учебниках его функциональной структуры, конструктивной схемы, органоструктуры /6/, а также в иллюстрациях. На многих рисунках представлен внешний вид станка с излишними подробностями, но без изображения заготовки и инструмента, без обозначения движений рабочих органов. Эффективность таких иллюстраций не велика.

Чтобы научить студентов пользоваться кинематическими схемами, достаточно рассмотреть схемы лишь нескольких станков со сложной кинематикой, а в учебниках приводятся десятки схем, что затрудняет изучение дисциплины.

Для раскрытия принципа построения и работы большинства станков следует использовать структурно-технологические схемы, на которых изображаются контуры станка и его основных узлов, источники и направления движений, органы настройки кинематических цепей, заготовка и инструмент. В то время как кинематическая схема приводится для конкретной модели станка, часто устаревшей, структурно-технологическая схема отображает принцип действия станков определенного типа, в том числе и перспективных.

Лишь в немногих учебных пособиях по теоретической части курса содержатся контрольные вопросы, упражнения, примеры решений задач. Вопросы предназначены для контроля качества усвоения студентами учебного материала, должны охватывать содержание всех тем учебной программы. Темы упражнений могут быть составление уравнений кинематических цепей станков, выбор лучшего варианта конструкции, сравнение вариантов по разным критериям, выявление ошибок в схемах и чертежах изделий, расчеты элементов конструкций. Некоторые упражнения должны быть такими, чтобы для их выполнения требовались знания по другим дисциплинам учебного плана, в том числе по общетехническим. При разработке упражнений можно ориентироваться на книгу /7/. В связи с отсутствием необходимой информации в справочниках учебники следует дополнять приложениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Станочное оборудование автоматизированного производства /Под ред. В.В.Бушуева. – М.: Изд-во «Станкин». Т. 1, 1993; Т. 2, 1995. 2. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. /Под общ. ред. А.С.Проникова. Т.1. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1994.- 444 с.; Т. 2. 4.1. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана; изд-во «Машиностроение», 1995.- 320 с.; Т. 3. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, Изд-во «Станкин», 2000. – 584 с. 3. Дорофеев А.А. Дидактические основы проектирования учебной литературы по дисциплинам специальности технического университета. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. – 272 с. 4. Коржув А., Рязанова Е. Вузовский учебник: общедидактический аспект //Вестник высшей школы. Alma mater, 2004, № 3. С. 10-12. 5. Осипов И.Б. Формирование конструкторского мышления // Вестник высшей школы, 1986, № 3. С. 31-35. 6. Хубка В. Теория технических систем: Пер. с нем. – М.: Мир, 1987. – 120 с. 7. Бушуев В.В. основы конструирования станков. – М.: Изд-во «Станкин», 1992.- 520 с.

ТЕСТОВЫЕ СРЕДЫ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ФАКУЛЬТЕТЕ БНТУ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Тестирование, как одна из эффективных форм оценивания знаний студентов, в последние годы активно внедряется в вузах и применяется параллельно с традиционной системой оценки и контроля результатов обучения.

Несмотря на то, что педагогические тесты появились около ста лет назад [1], а первая автоматизированная обучающая система на базе ЭВМ – plato – более сорока, компьютерное дидактическое тестирование все еще рассматривается как инновация в педагогике, хотя на взгляд авторов уже давно должна перейти в разряд традиций. Рейтинг университетов в западноевропейских странах определяется среди прочего и уровнем развития тестового контроля. Эти страны в настоящий момент значительно опережают отечественную систему тестирования по подготовке научных кадров, по уровню развития теории тестовых методов, по технической и программной оснащенности процессов разработки, применения, обработки и хранения тестовых заданий. В отечественной системе образования в последние годы уже сформировалась тенденция увеличения масштабов тестирования как средства достижения высокого качества образования. Более активное применение находят тестовые методы оценки знаний в образовательном процессе на машиностроительном факультете БНТУ.

Тест - это система заданий определенного содержания, возрастающей трудности, специфической формы, позволяющая качественно оценить структуру и эффективно измерить уровень знаний, умений, навыков и представлений.

Тест как система заданий.

Система означает, что в тесте собраны такие задания, которые обладают системообразующими свойствами. Хотя любой тест состоит из тестовых заданий, последние представляют не совокупность произвольно объединенных заданий, а именно систему.

Тест, как система, обладает составом, целостностью и структурой.

Тест состоит из:

- ✓ заданий;
- ✓ правил их применения;
- ✓ оценок за выполнение каждого задания;
- ✓ рекомендаций по интерпретации тестовых результатов.

По методологии интерпретации результатов тестирования тесты подразделяются на нормативно-ориентированные и критериально-ориентированные. Эти два подхода различаются на всех этапах разработки с момента выбора содержания до момента интерпретации результатов.

Идея критериально-ориентированного тестирования и сам термин появились в 60-е годы прошлого столетия. К этому времени нормативно-ориентированное тестирование развивалось уже более полувека. Начиная с 70-х годов, критериально-ориентированные тесты получили всеобщее признание и стали широко применяться в сфере образования и профессиональной аттестации кадров.

Самая общая их характеристика заключается в следующем [1].

Нормативно - ориентированный подход (по-английски norm-referenced) позволяет сравнивать учебные достижения (уровень подготовки, уровень профессиональных знаний и умений) отдельных испытуемых друг с другом.

Критериально - ориентированный подход (по-английски criterion-referenced) позволяет оценивать, в какой степени испытуемые овладели необходимым учебным материалом.

Для аттестационного контроля уровня обученности более привычной и естественной является задача, решаемая в рамках критериально-ориентированного подхода. Тем не менее, в процессе тестового контроля оба подхода важны необходимы.

Тесты измеряют степень усвоения учебного материала овладения необходимыми знаниями, умениями и навыками.

В результате измерения степень проявления какого-либо свойств испытуемых выражается в тестовом балле, представляющем собой определенное число. Тестовые баллы располагаются на специальных шкалах, выбранных разработчиками.

Критериально-ориентированные тесты составлены для того, чтобы аттестовать результаты испытуемого в соответствии с областью определенных знаний, умений и навыков. Результаты критериально-ориентированного тестирования могут быть использованы для:

1. оценки итогового уровня обученности испытуемого, соответствия этого уровня государственным образовательным стандартам или программе обучения;
2. отбора студентов, достигших необходимого уровня обученности, в том числе и профессиональной компетенции;
3. оценки эффективности программы обучения в том или ином учебном заведении.

В литературе по тестологии (или педагогическим измерениям) выделяют два основных вида критериально-ориентированных тестов, отличающихся друг от друга по ряду характеристик. Установившихся названий для этих видов на русском языке, а также в зарубежной литературе пока не существует.

Критериально-ориентированные тесты намеренно составляются таким образом, чтобы аттестовать уровень индивидуальных достижений студентов по отношению к заранее определенной области содержания.

Создание заданий для теста, ориентированного на область содержания, требует более детальных и точных правил. Для этого требуется точная и строго определенная спецификация области содержания теста. Этот тип критериально-ориентированных тестов предназначен для оценки доли от полного объема учебного материала, которую усвоил испытуемый. В зарубежной литературе его обычно называют *domain-referenced test* [2]. Мы будем называть этот тип критериально-ориентированных тестов термином «тесты на объем знаний». Предполагается, что в результате обучения учащиеся должны приобрести определенную сумму знаний, умений и навыков, которая является областью содержания теста, полный объем которого условно принимается за 100 процентов. Уровень учебных достижений каждого испытуемого можно выразить в проценте от полного объема области содержания теста. Наиболее естественно применять именно этот тип тестов для итогового и промежуточного контроля знаний.

Одним из важных элементов теста является тестовая форма.

Тестовая форма - способ связи, упорядочения элементов задания.

По форме все известные в практике тестовые задания можно разделить на четыре основные группы:

- ✓ Закрытой формы
- ✓ Открытой формы
- ✓ На установление соответствия
- ✓ На установление правильной последовательности

Задания закрытой формы в свою очередь подразделяются на задания

- ✓ с выбором одного правильного ответа,
- ✓ с выбором нескольких правильных ответов.

Существуют различные виды тестов: бумажные, вербальные, визуальные и компьютерные. В последние годы при оценке уровня знаний все большее применение получают компьютерные тесты

Методика создания компьютерного теста предполагает следующие шаги:

1. "Планирование теста" - то есть подробное определение цели теста, возможных способов достижения цели, ограничений на процесс достижения цели (например временных), математических показателей качества будущего теста и допустимых отклонений этих характеристик.

2. В соответствии с планом теста проводится *генерация тестовых заданий*, то есть создание списка стимулов, вариантов правильных ответов и отвлекающих. Тип задания (закрытое, открытое) и конкретный способ его предъявления определяются, исходя из требований к математическим характеристикам качества теста (валидности и надежности).

3. Из тестовых заданий составляются 2 равноценных набора заданий: основной и запасной, предназначенный для проведения повторного тестирования.

4. Определяется порядок следования вопросов в тесте.

5. Проводится пробное тестирование на экспертах, не участвовавших в составлении заданий. Цель тестирования - проверить очевидную валидность заданий - то есть доходчивость формулировки задания, способа ответа на него, исправление ошибок - логических, предметных и грамматических. Экспертов просят предварительно оценить трудность каждого задания проставив ему оценку по некоторой шкале, например десятибальной.

6. Исправленный тест проводится на малой выборке (до 3-х человек) из контингента, равнозначного целевому. Цель - ранжировать вопросы по трудности путем корректировки "весов вопросов", предварительно расставленных экспертами.

7. Тест проводится на целевой выборке. Результаты обрабатываются. Тест корректируется в сторону повышения очевидной валидности, приведения в соответствие со стандартом (например, образовательным), корректируется система оценки по тесту, так, чтобы оценка по тесту примерно соответствовала экспертной оценке проставленной конкретному студенту.

На практике, для ускорения работы по созданию теста начинают как раз с генерации тестовых заданий, обращая особое внимание на качество составляемых заданий и их "общепотребительность". Задания должны проверять степень владения предметом, способность к решению практических задач, а не знание особенностей, характерных для конкретной организации (учебного заведения).

При разработке компьютерных тестов можно пользоваться языками программирования (Delphi, C++ и др.) и создавать свой тест от начала до конца, а можно использовать готовые оболочки.

В учебном процессе машиностроительного факультета БНТУ на кафедрах «Интеллектуальные системы» и «Металлорежущие станки и инструменты» используется готовая тестовая оболочка - программа «Краб 2», разработанная на кафедре технических средств обучения БГПУ [3]. Она представляет собой открытую систему для организации и проведения обучения и тестирования по любому предмету.

По тестовой форме она относится к заданиям закрытого типа с выбором одного правильного ответа.

Программа предлагает работать с двумя документами: «Журнал», который позволяет вести учет успеваемости учащихся (рис. 1):

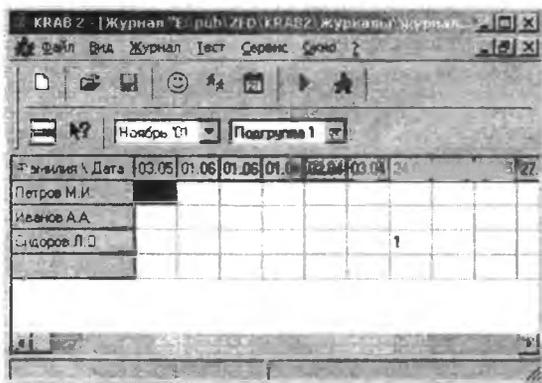


Рисунок 1 – диалоговое окно документа «Журнал»

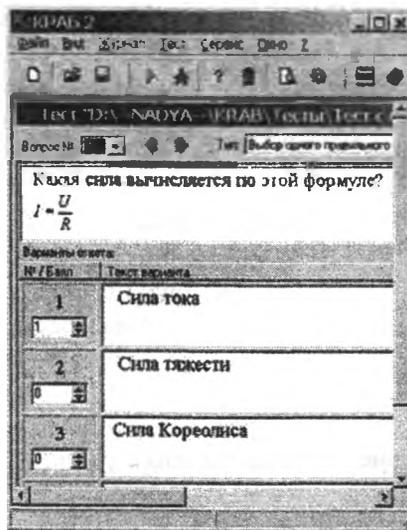


Рисунок 2 - диалоговое окно документа «Тест»

«Тест» – для создания, отладки и проведения тестовых заданий (рис. 2):

С помощью инструментальной программы «КРАБ 2» можно производить тестирование на одном локальном или нескольких удалённых компьютерах, подключённых к сети, и записывать результаты в журнал.

На кафедре «Интеллектуальные системы» тестовый контроль знаний используется по дисциплине «Информатика» - студенты сдают зачет в виде теста; и по дисциплине «Математическая информатика» - в форме теста принимается экзамен (т.е., фактически для итогового контроля знаний в конце семестра).

На кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» тесты используются по дисциплине «Автоматизация инструментального производства» для промежуточного контроля усвоения теоретического материала перед выполнением задач по программированию.

При составлении тестов для оценки знаний студентов используется критериально-ориентированный подход в виде тестов на объем знаний (domain-referenced test).

«Краб 2» позволяет выводить результаты теста либо в виде итоговой оценки, либо показывать в процентах количество правильных ответов на вопросы. Необходимые опции устанавливаются в процессе разработки теста в диалоговом окне «Параметры теста», вкладка «Результат» (рис. 3):

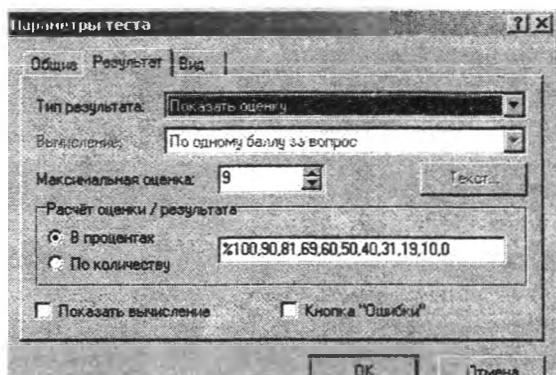


Рисунок 3 – диалоговое окно «Параметры теста»

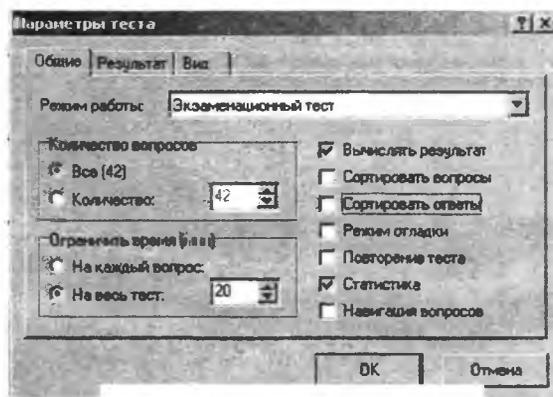


Рисунок 4 – вкладка «Общие»

На вкладке «Общие» устанавливается время, отводимое на прохождение теста, а также определяется возможность возврата к предыдущим вопросам, сортировка вопросов и пр. (рис. 4):

Компьютерные тесты обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными, но также имеют и ряд недостатков.

Преимущества компьютерного контроля знаний: испытуемые находятся в равных условиях, исключается субъективный подход, уменьшается психологическое воздействие на студентов со стороны преподавателя (для чувствительных студентов), студентам однозначно понятна оценка их знаний, поставленная в соответствии с количеством правильных ответов. Недостатки являются прямым следствием исключения из тестирования личностного фактора при общении преподавателя и студента: не всегда возможно до конца оценить способность студентов мыслить логически, не полностью оценивается системность знаний студента и умение владеть терминологией по данному предмету.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аванесов В.С. Научные проблемы тестового контроля знаний.–М., 1994.–136 с. 2. Educational measurement (Ed. by Linn R.) N.Y. Macmillan, 1989 – 610 с. 3. <http://tso.iatp.by/works.htm>.

УДК 378.663.026

Кануцiч Т.М.

ФАРМІРАВАННЕ МАЎЛЕНЧЫХ НАВЫКАЎ У ПРАЦЭСЕ НАВУЧАННЯ

*Беларускі дзяржаўны аграрны тэхнічны ўніверсітэт
Мінск, Беларусь*

Адна з ключавых кампетэнцый маладых спецыялістаў – гэта кампетэнцыя, якая адносіцца да авалодвання вуснай і пісьмовай камунікацыяй. Выбар той ці іншай формы адбываецца ў залежнасці ад абставін, напрыклад, працоўнай дзейнасці: з адным камунікантам больш прыемна і паспяхова размаўляць непасрэдна, з іншым жа прасцей праз службовую перапіску ці факс. Абедзве формы існавання з'яўляюцца функцыянальна разнастайнымі, універсальнымі, абслугоўваюць рознабаковыя сферы грамадскай дзейнасці. Нельга дапускаць меркавання: спецыяліст, які працуе ў тэхнічнай сферы, не павінен валодаць культурай маўлення, моўная

кампетэнцыя яму без патрэбы. А як жа весці перамовы, заключаць кантракты, пераконваць падначаленых, наладжваць адносіны ў калектыве? Запатрабаванымі напрамкамі выкарыстання звязнага маўлення ў прафесійнай дзейнасці з'яўляюцца наступныя:

- устанаўленне сацыяльных кантактаў;
- перадача і атрыманне інфармацыі;
- уздзеянне на аўдыторыю (субсяседніка);
- афармленне дакументаванай інфармацыі;
- вырашэнне маральна-этычных зносін і інш.

Несумненна, на першым месцы – прафесійная падрыхтаванасць, але здольнасць перадаць свой вопыт, уласныя веды і метады – гэта таксама майстэрства, якое з бедным слоўнікавым запасам ажыццявіць складана.

Маўленне асобы – гэта паказчык яе інтэлектуальнага ўзроўню. Для будучага спецыяліста нефілалагічнай сферы, які павінен умець выпрацоўваць рашэнні, заключаць кантракты, прымаць абавязацельствы, афармляць дакументаваную інфармацыю, валоданне багатай і дакладнай прафесійнай мовай – неад'емная частка прафесійнага іміджу.

Мэта, якую ставіць перад сабой выкладчык мовы, абавязкова павінна ўключаць наступныя аспекты: узбагачэнне лексічнага запasu студэнтаў, авалодванне спецыяльнай тэрміналогіяй, уменне фармуляваць вуснае і пісьмовае выказванне. Даволі часта даводзіцца чуць ад студэнтаў наступнае: “разумею, але сказаць не магу”. Каб зразумець моўныя праблемы студэнтаў, неабходна пастарацца апусціцца да ўзроўню іх моўнай адукаванасці, таму што любое навучанне павінна пачынацца на тым узроўні, на якім знаходзіцца студэнт. Засваенне моўнага матэрыялу – гэта не толькі пазнанне інфармацыі і яе завучванне, а ўменне прымяняць у новых абставінах.

У маўленчых службовых зносінах абавязкова прысутнічае жывая мова: выступленне перад супрацоўнікамі, правядзенне сходаў, адказы на пытанні, фармулёўкі патрабаванняў і інш. Такія навыкі выпрацоўваюцца ў час дзелавых гульняў, дзе ёсць магчымасць самастойна выбраць моўнае афармленне (прывітанне, уступная частка або яе адсутнасць у канкрэтнай моўнай сітуацыі, асноўны выклад матэрыялу, абавязковае падагульненне, прапановы, падзяка), невербальныя сродкі, акрамя таго, праверыць сваю абаяльнасць, харызматычнасць і ўпэўненасць. Не патрэбна пазбягаць вырашэння складаных, нават канфліктных, моўных сітуацый, таму што ў сітуацыі неканфліктнасці адсутнічае развіццё.

Адна з распаўсюджаных метадык узбагачэння лексічнага складу студэнтаў – праца з тэкстамі навуковага, афіцыйна-справавога і публіцыстычнага стыляў (аналіз ужывання моўных сродкаў, пераклад, праяўленне камунікатыўных якасцей і інш.).

Адукацыя, як і сфера паслуг, павінна прапаноўваць выбар сродкаў у працэсе навучання. З аднаго боку, гэта вывучэнне камунікатыўных якасцей маўлення і ступень іх праяўлення ва ўсіх функцыянальных стылях мовы, а з другога, прымяненне дадзеных патрабаванняў у сваім маўленні. Напрыклад, у афіцыйна-справавым стылі – правільнае, лаканічнае, дакладнае фармуляванне тэксту дакументаў (сітаксічнае афармленне, выключэнне ўстарэлых выразаў, выкарыстанне сінанімічных паняццяў і інш.), у навуковым тэксце – правільная, лагічная, дарэчная будова разважання на зададзеную тэму (тлумачэнне, доказ, апісанне і інш.), у публіцыстычным варыянце – выразнае, багатае, чыстае выступленне перад аўдыторыяй (віншаванне, данясенне інфармацыі, крытычныя заўвагі, інструктаж і інш.). Заданні індывідуальнага характару павінны быць разнастайнымі: параўнанне, аналіз, крытыка, аргументаванне, супрацьпастаўленне, падагульненне і т. п. Станоўчы вынік прыносяць разнастайныя моўныя дзеянні, таму што пры рашэнні аднастайных задач асоба на развіваецца.

Моўная падрыхтаванасць – гэта сума атрыманых практычных уменняў і навыкаў, якая абапіраецца на індывідуальны творчы патэнцыял і асабістую ініцыятыву. Культура маўлення маладога спецыяліста адлюстроўвае ўменне правільна і пераканаўча выказвацца, дакладна і чыста мысліць, адэкватна забяспечваць моўнымі сродкамі жыццёвыя і прафесійныя сітуацыі.

Сучаснае грамадства не толькі дае магчымасць, але і патрабуе творчага развіцця патэнцыялу асобы. Асноўная роля тут належыць сям'і, школе і выбранай навучальнай установе. Ужо ў школьныя гады асобным вучням не хапае падручніка, яны шукаюць адказы на свае пытанні ў настаўніка, у спецыяльнай літаратуры, у інтэрнэце ці ў іншых крыніцах. Задача вышэйшай навучальнай установы – падтрымаць і развіць задаткі і здольнасці студэнтаў, у тым ліку і інтарэс да навукова-даследчай дзейнасці.

Паколькі асабісты рэйтынг студэнта складаецца з такіх напрамкаў, як вучэбная, навуковая і грамадская работа, то з першага курса патрэбна выдаць неабходную інфармацыю, зацікавіць

асобу, прапанаваць выбар. Сацыялагічныя даследаванні ўказваюць на тое, што большасць студэнтаў-актывістаў праяўляе сябе і ўключаецца ў канкрэтную сферу адразу, з першага семестра.

Для заахвочвання першакурснікаў неабходна матывацыя і канкрэтная рэклама, якая сведчыць аб значных поспехах старэйшых калег. Мэтазгодна правесці навуковы семінар – адкрыты дыялог супрацоўнікаў аддзела па навукова-даследчай рабоце студэнтаў, выкладчыкаў, кіраўнікоў лепшых навуковых студэнцкіх прац, куратараў груп і курсаў, студэнтаў, адказных за навукова-інфармацыйную работу ў групах і інш. Вопыт паказвае, што ў час такой жывой гутаркі адбываецца не проста абмен думкамі, а выяўляюцца асноўныя патрабаванні і перспектывы самастойнай даследчай дзейнасці навучэнцаў, канкрэтызуюцца напрамкі навуковай школы адукацыйнай установы. Для першакурснікаў найважней даць надзею, аказаць падтрымку ў выбары тэматыкі, акрэсліць перспектыву, напрыклад: мэтанакіраваныя публікацыі і даследаванні пад кіраўніцтвам вопытнага выкладчыка з трэцяга курса павінны перарасці ў курсавы праект, а затым вырасці ў паўназначную выніковую дыпломную работу. Такім чынам, перш чым выйсці на міжнародны ўзровень студэнты спачатку спрабуюць свае сілы на ўнутрыуніверсітэцкіх навуковых канферэнцыях: выпрацоўваюць і пашыраюць тэматыку на кафедраальных, факультэцкіх і універсітэцкіх этапах.

Даследчую работу абавязкова патрэбна арганізоўваць паэтапна:

падрыхтоўчы (уводны) этап	1 – 2 курсы
развіццёвы (асноўны) этап	3 – 4 курсы
даследчы (выніковы) этап	5 курс

Падрыхтоўчы этап фарміруе навыкі арганізацыі работы з літаратурнымі крыніцамі, з асноўнымі структурнымі элементамі пісьмовага тэксту. Развіццёвы этап – гэта ўдасканаленне навыкаў непасрэднай даследчай дзейнасці, уменне крытычна мысліць, выяўляць інавацыйныя элементы і разглядаць іх. Выніковы этап – уменне абагуліць сабраны матэрыял і рэальны вопыт, правесці самастойнае даследаванне навукова-практычнай праблемы.

Паміж асобнымі этапамі абавязкова вытрымліваюцца ўмовы пераемнасці і максімальнай самастойнасці. З цягам часу з'яўляецца ўменне не толькі пісьмова і графічна выкладаць думкі, але і дастойна трымацца перад аўдыторыяй, будаваць маналагічнае маўленне, распрацоўваць прэзентацыю, што затым перарастае ў прафесійны імідж.

Вынікі цэнтралізаванага тэсціравання сведчаць аб слабым узроўні падрыхтаванасці моладзі па культуры маўлення, таму любая дысцыпліна павінна прапаноўваць сістэму, якая павышае культурнае валоданне мовай, развівае моўнае пачуццё.

На падрыхтоўчым этапе актыўна выкарыстоўваюцца такія традыцыйныя віды пісьмовай працы, як рэферат і анатацыя. Рэферат вучыць выбіраць неабходную інфармацыю шляхам крытычнага пераасэнсавання зместу. Анатацыя ўключае галоўныя тэзісы, не канцэнтруе ўвагу на прыкладах, дэталях, цытатах.

Навуковаму кіраўніку варта акцэнтаваць увагу маладога даследчыка на распаўсюджаных памылках пісьмовых і вусных выступленняў: складаны сінтаксіс, выкарыстанне неасвоеных тэрміналагічных паняццяў, шаблоннасць фармулёвак, фанетычныя недакладнасці і г.д. Камунікатыўна-стылістычны напрамак дзейнасці выпрацоўвае ўменне выказвацца дакладна, лагічна, выбіраць дарэчныя ў моўнай сітуацыі моўныя выразы. Пры магчымасці неабходна прапаноўваць студэнту некалькі варыянтаў ці альтэрнатыўных падыходаў, з якіх ён вымушаны зрабіць адзіны правільны выбар.

Сістэма адукацыі нашай краіны садзейнічае падрыхтоўцы асобы да асноўнай дзейнасці ў эканамічнай, культурнай, грамадска-палітычнай сферах. Сучасны малады спецыяліст павінен камфортна адчуваць сябе ў сацыяльна-эканамічных умовах жыцця, адаптавацца ў зменлівых паўсядзённых сітуацыях, умець самастойна набываць неабходныя веды, выкарыстоўваць іх на практыцы, развіваць уласны інтэлектуальны патэнцыял. Таму задача навучальнай установы – даць магчымасць для творчага развіцця асобы, стварыць спрыяльны асяродак для самавыражэння і самавыяўлення будучага спецыяліста. Партнёрства выкладчыка і студэнта ў навукова-навучальным працэсе павінна быць накіравана на самаразвіццё і самаадукацыю асобы ў працэсе яе адукацыйнага станаўлення.

Перавага сучасных пісьмовых формаў кантролю ведаў вядзе да лексічнага збяднення мовы сучаснай моладзі, што адзначаецца выкладчыкамі сацыяльна-гуманітарных дысцыплін. Маўленне перспектыўнага спецыяліста развіваецца і папаўняецца не праз пазнаванне правільнага адказу, у што звычайна ператвараецца распаўсюджаны сёння тэст, а шляхам пабудовы вуснага павсядзённага разважання, доказу, дыскусіі.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБУЧЕНИИ РАЗДЕЛУ «СТРУКТУРА МЕХАНИЗМОВ» КУРСА ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Раздел «Структура механизмов» является начальным при изучении курса «Теория механизмов и машин» и посвящен вопросам исследования и проектирования механизмов. Как правило, курс излагается в третьем семестре, поэтому обучаемые не имеют даже начальных знаний о терминологии, чтении схем механизмов, условных обозначениях элементов схем, развитого представления о движении отдельных частей друг относительно друга.

Следует обратить внимание на особую важность данного раздела в связи с тем, что от правильно выполненного структурного анализа механизмов зависят и последующие кинематические и динамические исследования. Другими словами, незнание или ошибки в структуре механизмов не позволяют продолжить проектирование схемы того или иного механизма.

По учебным планам из планируемых 51 часа лекций в связи с высокой информационной насыщенностью курса на раздел «Структура механизмов» выделяется всего 4 часа. Традиционно применяемые методы обучения в процессе чтения лекций, на практических занятиях, где в лучшем случае используются плакаты, слабо развивают воображение студентов и не способствуют развитию творческого мышления. Частично это компенсируется во время лабораторной работы, но количество рассматриваемых на ней моделей механизмов чрезвычайно мало. К тому же многие учебные заведения располагают скудной лабораторной базой.

В связи с вышеизложенным, на кафедре «Теория механизмов и машин» БНТУ проводится целенаправленная работа по разработке и внедрению в учебный процесс инновационных образовательных технологий, учитывающих потребность в изменении содержания курса, профессиональной адекватности преподавательского состава, новых форм и методов обучения. Рассмотрим, как это реализуется на примере раздела «Структура механизмов».

Так из лекций и лабораторной работы по структуре исключены устаревшие методы замены механизмов с высшими кинематическими парами на механизмы с низшими парами. Широкое применение аналитических методов в последующей кинематике и динамике механизмов позволило сделать это безболезненно.

Постановка вопроса о профессиональной адекватности преподавательского состава вызвана тем, что на сегодняшний день имеется два взгляда на теорию механизмов и машин, как науку.

С одной стороны, ТММ традиционно рассматривается как наука об основных методах проектирования и исследования механизмов и машин без учета их функционального назначения. Такое представление подразумевает, что в данной общепрофессиональной дисциплине не учитывается функциональное назначение механизмов и машин, функциональные особенности будут излагаться в последующих специальных дисциплинах. Пользуясь данной концепцией, что и имеет место, например, на автотракторном факультете, можно организовывать крупные лекционные потоки, в которых обучаются достаточно разнородные специальности

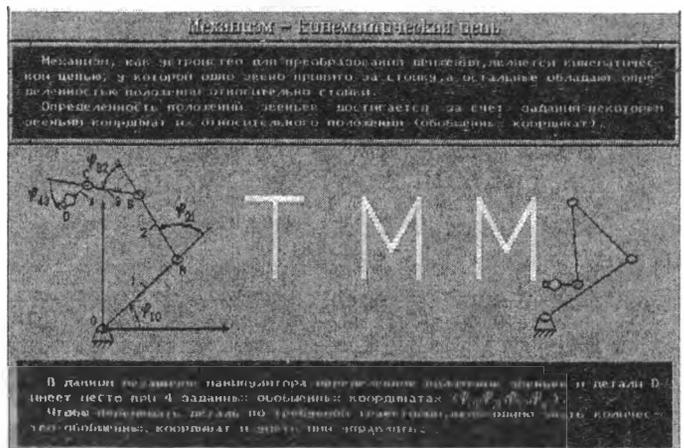


Рис. 1. Механизм – кинематическая цепь.

С другой стороны, ТММ представляется как наука, занятая вопросами теоретического и экспериментального исследования и проектирования механизмов и машин с учетом технологических процессов, передачи и преобразования энергии, а в ряде случаев и информации. В этом случае требуется высокий профессионализм педагогов, наличие глубоких знаний по специальному оборудованию, выполняемым на нем технологическим процессам. В курсовом проектировании рассматриваются машины, характерные для соответствующей специальности. Лекционные потоки должны быть хотя бы умеренно разукрупнены. Такое представление о месте ТММ в учебном процессе, как занимающей место между общепрофессиональной и специальной, характерно для специализированных механико-технологического, машиностроительного факультетов.

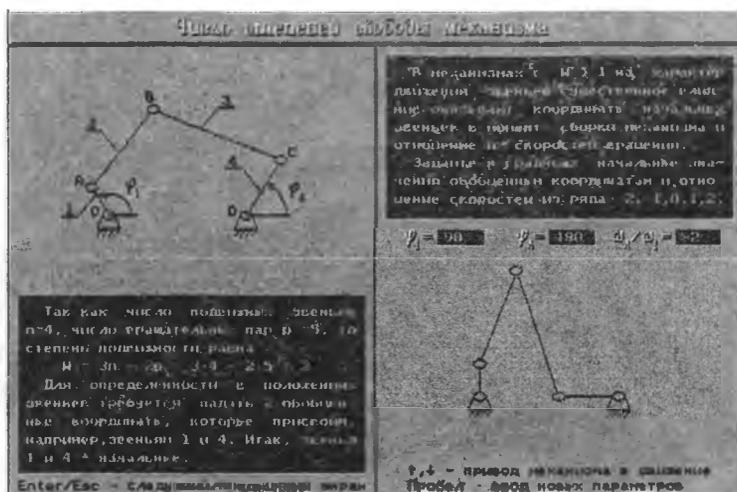


Рис. 2. Синтез замкнутого рычажного механизма с $W = 2$.

Кафедра ТММ стремится придерживаться последней концепции, несмотря на то, что для решения специальных вопросов преподавателям не выделяется соответствующая учебная нагрузка.

Для облегчения понимания и глубокого усвоения структуры механизмов созданы обучающая и контролирующая программы, дающие возможность показать в цветовой гамме на экране движение механизмов, что, формируя образные компоненты мышления, существенно повышает уровень зрительного восприятия в сравнении с абстрактным изложением учебного материала в аудитории и схематическим (статическим) изображением на доске.

В обучающей программе «Геометрические и кинематические связи в рычажных механизмах» изложены основные положения синтеза и анализа механизмов. Приведена и показана в динамическом режиме классификация звеньев, кинематических пар и кинематических цепей.

Показаны принципы образования механизмов из открытых (рис. 1) и замкнутых (рис. 2) кинематических цепей.

Приведен рычажный механизм OABCD, образованный из замкнутой кинематической цепи превращением звена OD в стойку. Из подсчета следует, что степень подвижности механизма равна 2. В данном случае обобщенные координаты φ_1 и φ_4 присвоены звеньям 1 и 4. В механизме, образованном из замкнутой кинематической цепи, при степени подвижности больше единицы законы движения звеньев и траектории точек их зависят не только от законов изменения обобщенных координат, но и от положения начальных звеньев в момент сборки механизма. В данном кадре имеется возможность синтезировать механизмы с различным начальным положением звеньев 1 и 4 и задавать различные отношения их скоростей ω_4 / ω_1 .

Одним из способов образования замкнутых рычажных механизмов является превращение одного из звеньев в стойку. Рассмотрены 3 случая:

- а) образован кривошипно-ползунный механизм;
- б) кулисный механизм с вращающейся кулисой;
- в) образован кулисный механизм с качающейся кулисой.

Целесообразно клавишами управления курсором синтезировать последовательно каждый из механизмов и изучить характер движения их.

Наиболее распространенным является образование механизмов по принципу Л.В.Ассура (Рис. 3).

В кадре показан механизм 1-го класса (начальное звено со стойкой) и 5 нулевых структурных групп 2-го класса. Имеется возможность выбора с помощью клавиш управления курсором

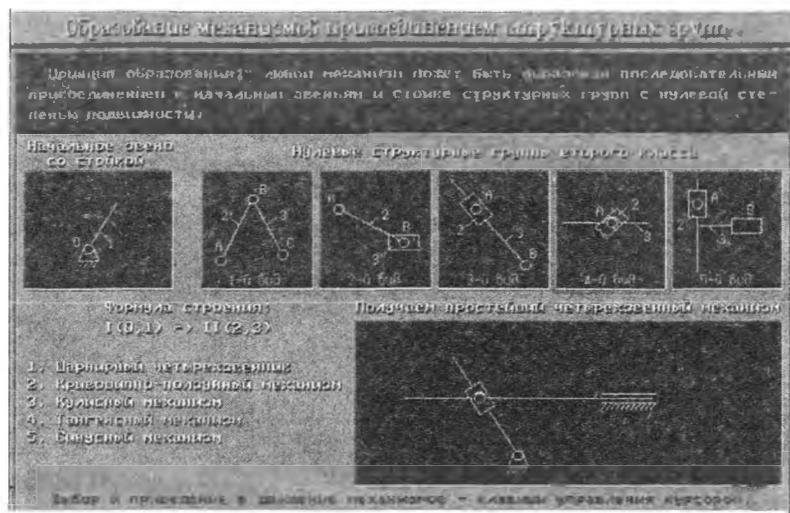


Рис.3. Образование механизмов присоединением структурных групп

одной из групп, в результате происходит сборка начального звена со стойкой и структурной группы в четырехзвенный механизм, появляющийся в демонстрационном окне, наименование механизма высвечивается желтым цветом. Клавишами «вверх» и «вниз» предлагается задать движение механизма.

Контролирующая программа по структуре механизмов, увлекает студентов и вызывает живой интерес. Студенты без принуждения со стороны преподавателя стараются разобраться в теоретическом материале и получить более высокую рейтинговую оценку.

Использование инновационных технологий в учебном процессе позволяет значительно повысить научность курса и привести его в соответствие с современным уровнем науки и техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1988. - 640 с.
2. Артоболевский И. И., Эдельштейн Б. В. Сборник задач по теории механизмов и машин. - М. : Наука, 1975. - 256 с.
3. Теория механизмов и машин / Под ред. К. В. Фролова. - М. : Высш. шк., 1987. - 496 с.
4. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / Под общ. ред. Г. Н. Девойно. - Мн. : Выш. шк., 1986. - 285 с.
5. Лабораторные работы по теории механизмов и машин / Под общ. ред. Е. А. Камцева. - Мн. : Выш. шк., 1976. - 176 с.

УДК 621.01(076.5)

Анципорович П.П., Акулич В.К., Дубовская Е.М.

ОСОБЕННОСТИ ИЗЛОЖЕНИЯ РАЗДЕЛА «СИНТЕЗ ЗУБЧАТЫХ ЗАЦЕПЛЕНИЙ» В КУРСЕ ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ, МАШИН И МАНИПУЛЯТОРОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Одним из основных разделов в курсе «Теория механизмов, машин и манипуляторов» является раздел «Синтез зубчатых зацеплений и передач». Сведения, полученные студентами при изучении его, используются, в частности, в курсе «Детали машин» при изложении методики расчетов зубчатых передач на прочность, а также в специальных курсах при рассмотрении вопросов конструирования зубчатых передаточных механизмов, коробок скоростей и т.д.

В соответствии с учебной программой курса, утвержденной Министерством образования РБ, на изучение основных положений синтеза зубчатых зацеплений отводится 10 часов лекционных занятий. При этом излагаются следующие вопросы:

- 1) основная теорема зацепления;
- 2) геометрические параметры зубчатых колес;
- 3) свойства, характеристики и качественные показатели эвольвентного зацепления цилиндрических зубчатых колес;
- 4) основные методы нарезания зубчатых колес;

- 5) станочное зацепление, колеса без смещения и со смещением исходного контура;
- 6) подрезание зубьев и его устранение;
- 7) общие сведения о косозубых колесах, неэвольвентных зацеплениях, конических и червячных передачах.

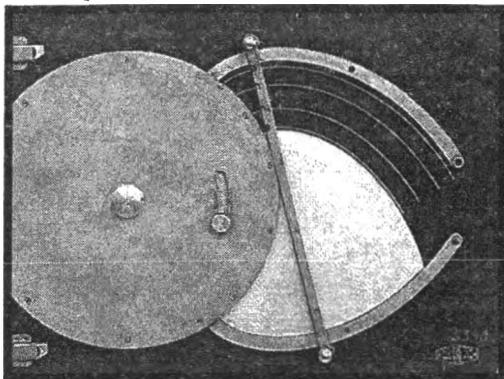


Рисунок 1. Макет, имитирующий образование эвольвенты.

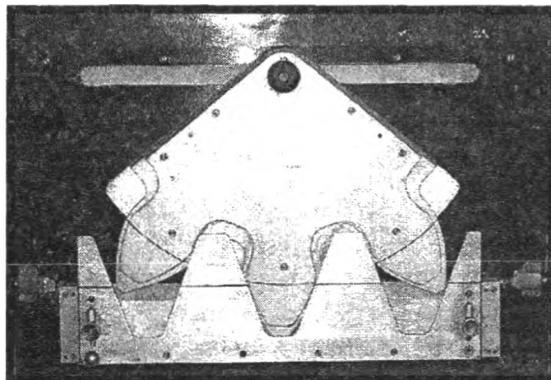


Рисунок 2. Макет, демонстрирующий явление подрезания зубьев.

Изложение ряда вопросов, связанных с геометрическими и др. расчетами зубчатых передач, должно быть увязано с особенностями технологий и методами нарезания зубчатых колес. Но, поскольку лекционный курс «Теория механизмов, машин и манипуляторов» приходится на четвертый семестр обучения, когда студенты еще не имеют должного представления о формообразования зубьев на зуборезных станках, возникают определенные трудности при преподавании и усвоении студентами программных вопросов. Это вызывает необходимость постоянного совершенствования методики обучения, разработки наглядных пособий, макетов, плакатов, чтобы, используя различный наглядный материал, дать возможность студентам чисто визуально представить некоторые абстрактные понятия, необходимые для усвоения излагаемого материала, и тем самым повысить качество и эффективность обучения.

К настоящему времени сотрудниками кафедры теории механизмов и машин спроектированы и изготовлены стенды «Виды зубчатых передач» и «Методы нарезания зубчатых колес», на которых представлены реальные зубчатые передачи с параллельными осями (цилиндрические), с пересекающимися осями (конические), со скрещивающимися осями (гипоидные, червячные, глобоидные), а также реальный зуборезный инструмент (фрезы, резцы и т.д.). Указанные стенды размещены в лабораториях кафедры.

На занятиях имеется возможность демонстрировать студентам особенности различных способов изготовления зубчатых колес. Для этой же цели на лекциях используется достаточно большой набор плакатов.

Кафедра имеет макеты, дающие возможность показать в движении образование эвольвенты, как геометрической кривой (рис. 1), процесс зацепления пары цилиндрических колес с указанием основных геометрических характеристик зацепления, а также влияние смещения инструментальной рейки на формообразование зубьев (рис.2).

Очень важными в рассматриваемом разделе курса являются вопросы расчета параметров зубчатых колес, их нарезание и синтез зубчатого зацепления пары колес. Ранее эти вопросы основательно рассматривались в курсовом проектировании, где синтезу зубчатого зацепления был посвящен отдельный лист. В связи с сокращением объема курсового проекта появилась потребность компенсировать возникший пробел в обучении. Для этого была модернизирована лабораторная работа «Построение зубьев эвольвентного профиля методом обкатки», в которой имитируется процесс нарезания цилиндрических зубчатых колес методом обкатки с помощью ресчного инструмента. С этой целью используется учебный прибор ТММ-42 (рис.3), позволяющий моделировать нарезание как нулевых зубчатых колес с малым числом зубьев (что приводит к подрезанию зубьев), так и колес с положительным смещением, необходимым для устранения подрезания.

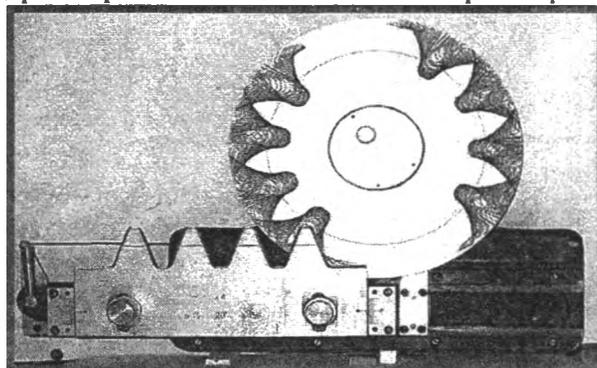


Рисунок 3. Прибор ТММ-42

Заготовкой нарезаемых колес служит картонный круг (рис. 4), а вырезание материала имитируется обводкой зубьев инструментальной рейки карандашом.

После нарезания и выполнения расчетов параметров колес на нарезанных колесах изображаются расчетные окружности и толщины зубьев. Анализ этого рисунка позволяет наглядно увидеть, в чем проявляется подрезание и как оно устраняется.

Лабораторный практикум был дополнен работой «Определение параметров и построение эвольвентного зацепления пары цилиндрических зубчатых колес», в которой производится построение картины эвольвентного зацепления двух зубчатых колес с положительным смещением, полу-

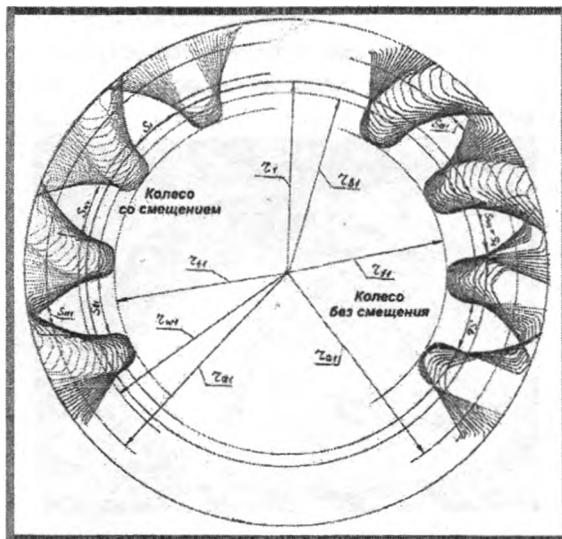


Рисунок 4. Зубчатые колеса, нарезанные на приборе ТММ-42.

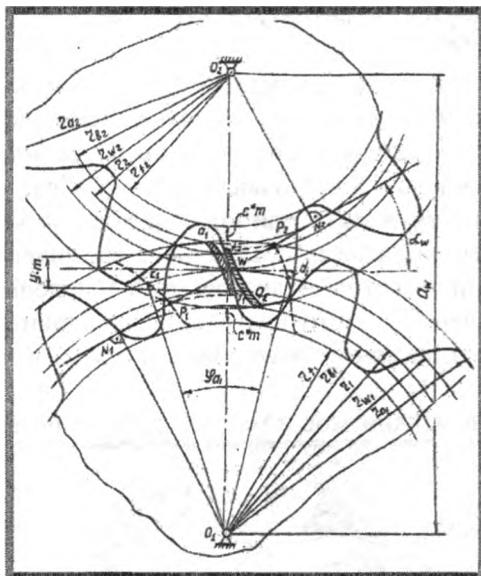


Рис.5. Картина зубчатого зацепления колес со смещением.

ченными в предыдущей

работе. На построенной картине зацепления (рис. 5) показываются основные геометрические характеристики зацепления (угол зацепления, активные профили зубьев, радиальные зазоры, воспринимаемое смещение т.д.). Таким путем удастся компенсировать пробелы курсового проектирования.

Для уменьшения объема вычислительной работы на кафедре разработано программное обеспечение, позволяющее определять параметры зубчатых колес и передачи во время лабораторного занятия.

Для облегчения самостоятельной работы студентов при подготовке к лабораторным работам подготовлено учебное пособие «Нарезание цилиндрических эвольвентных зубчатых колес и построение схемы зубчатого зацепления», в котором содержатся основные теоретические сведения по разделу «Синтез зубчатых зацеплений и передач», методика выполнения двух лабораторных работ, примеры типовых

расчетов геометрических и качественных параметров зацепления и оформления протоколов. В пособии приводится много иллюстративного материала, контрольные вопросы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акулич В.К., Мицкевич Н.И., Цитович О.Н. Зубчатые передачи: Текст лекций. - Мн.: БПИ, 1973. – 95 с.
2. Анципорович П.П. Нарезание цилиндрических эвольвентных зубчатых колес и построение схемы зубчатого зацепления: Лабораторные работы по курсу «Теория механизмов, машин и манипуляторов / П.П.Анципорович, В.К.Акулич, Е.М Дубовская. – Мн.: БНТУ, 2007. – 46 с.
3. ГОСТ 16532-70. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет геометрии. – М.: Изд-во стандартов – 1971.
4. Теория механизмов, машин и манипуляторов. Учебная программа для высших учебных заведений по специальностям профиля 1. Рег. № ТД-246/тип 2002 г.

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.85.052.44

Баханович А.Г. Конструкторские методы повышения надежности зубчато-ременных передач // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 7.

Разработаны современные конструкции и технология производства приводных зубчатых ремней с втулочно-петлевым армированием зубьев. Исследовано напряженно-деформированное состояние разработанных ремней методом конечных элементов в среде ANSYS. Установлено, что втулочно-петлевое армирование зубьев позволяет снизить напряжения и деформации в опасном сечении на 75...87 %, что позволяет рекомендовать данные зубчато-ременные передачи вместо цепных в энергоемких приводах технологического оборудования.

Ил.17. Библиогр. – 15 назв.

УДК 621.01

Авсиевич А.М., Булгак Т.И., Николаев В.А., Реут Л.Е., Адаменко Д.В. Особенности изнашивания вращательных пар рычажных механизмов в машинном агрегате // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 13.

Рассмотрены факторы износа вращательных пар рычажных механизмов. Показаны различия процесса изнашивания вращательных пар в рычажном механизме и абстрактной пары «вал»-«втулка». Математически описаны кинематические параметры, влияющие на процесс изнашивания пары трения. Обсуждены пути уточнения расчетов на износ. – Ил. 4. Библиогр. 8.

УДК 621.4Д23

Лихтарович Е.С., Присевок А.Ф. Моделирование и разработка системы питания ДВС // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 19.

Предложен и смоделирован двигатель с установленной на ней новой и современной системой питания ДВС. Произведен расчет в зависимости от характеристик двигателя и топлива, на котором данный двигатель осуществляет работу.

УДК

Дулевич А. Ф., Киселев С. В. Выбор и обоснование конструкции установки для ускоренных испытаний ленточных пил // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 21.

В статье рассмотрена необходимость создания экспериментальной установки для испытаний ленточных пил. Приведен краткий обзор существующих испытательных стендов для усталостных испытаний на изгиб плоских образцов. Рассмотрены их конструкции и принцип действия, приведены их основные недостатки, не позволяющие их использование для моделирования условий работы пилы на станке. Приведена схема нагружения новой экспериментальной установки, воспроизводящая основные нагрузки (статическое напряжение и циклический изгиб). Рассмотрена конструкция установки, принцип ее работы и устройство основных узлов. – Ил. 6. Библиогр.4.

УДК 621.785.532

Симанович В.А., М. Н. Пищов, С. Е. Бельский. Методы исследований по прогнозированию ресурса работы транспортных средств // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 25.

В статье освещена эксплуатационная оценка работы колесных лесных машин как сложных динамических систем, полученных с учетом внешних и внутренних факторов переходных и установившихся режимов эксплуатации, позволяющих правильно разграничить их влияние на природу возникновения динамических процессов, описываемых законами статистической динамики. Предложенная методика по эксплуатационной оценке работы может быть распространена на транспортные средства и оборудование, работающие в лесных условиях эксплуатации. – Ил. 1. Табл. 2. Библиогр. 5.

УДК 621.01

Гарах В.А., Астахов Э.И. Анализ динамической нагруженности подшипников уравновешенного рычажного механизма стенда // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 31.

Показана методика определения реакций в подшипниках шарнирно-рычажного механизма стенда для испытания гусениц и расчетные диаграммы нагруженности подшипников как исходного механизма, так и после постановки маховика. Приведена схема и расчет противовесов уравновешенного механизма, обеспечивающего уменьшение нагруженности подшипников. – Ил. 4. Библиогр. 4.

УДК 69.002.5 : 621.01

Астахов Э.И., Гарах В.А., Макаров А.Д. Динамический анализ движения поршня гидропривода ножничного подъемника // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 34.

Показана методика динамического анализа движения ножничного подъемника с четырьмя секциями шарнирных антипараллелограммов по динамической модели с поступательным звеном приведения, в качестве которого принят поршень гидропривода. Для закона постоянного ускорения приведен расчет сил, перемещений в зависимости от времени для обеспечения плавного разгона и торможения при подъеме рабочей площадки.

УДК 621.825.7.088.8

Бондаренко А.Г., Шпилевский В.И., Ефимцев В.С. Шинно-пневматическая муфта // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 37.

Представлена конструкция и дано описание работы шинно-пневматической муфты. Приведены зависимости для определения крутящего момента муфты и условия ограничения величины передаваемого момента. – Ил.2. Библиогр.3.

УДК 621.825.44.004

Бондаренко А.Г., Шпилевский В.И. Жесткость зубьев ремней // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 39.

Рассмотрена методика определения динамической жесткости зубьев зубчатых ремней. – Ил.1. Библиогр.5.

УДК 621.94.084

Миронов Д.Н. Моделирование процессов деградации эффективных физико-механических и конструктивных характеристик деталей двигателя при термосиловых воздействиях // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 41.

Рассмотрены модели хрупкого, “вязкого” и смешенного разрушения, которые могут быть реализованы в деталях двигателя как механизм деградации свойств материала за счет изменения плотности, разрыхления. – Ил. 11. Библиогр. 14.

УДК 621.9.011:517.962.1

Довнар С.С. Напряжения и деформации в зоне наростообразования в процессе резания металла // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 77.

Проведено конечно-элементное моделирование врезания в металл резца с наростом. Описано напряженно-деформированное состояние материала в зоне резания. Обсужден процесс разделения металла на три потока в процессе резания с наростообразованием. Обнаружено существенно неравномерное сжатие нароста. Описано локализованное скольжение между вершинной прослойкой нароста и обрабатываемым материалом. Обсуждена роль такого скольжения в процессе резания. – Ил. 7. Библиогр. 6.

УДК 621.941-529.004

Мищенко С.Н., Туромша В.И. Моделирование износа и стойкости инструмента при токарной обработке сложных контуров с переменной скоростью резания // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 81.

Приведены математические модели, позволяющие определить период стойкости (эквивалентный диаметр) и величину износа инструмента при токарной обработке с переменной скоростью резания деталей со сложным контуром. Выполнены расчеты на примере обработки элементарных поверхностей: сферы, эллипсоида, конуса, торца и поверхности с образующей в виде гиперболы. Образующая поверхности может быть задана теоретическим уравнением и аппроксимирующим полиномом. Приведены также математические модели, позволяющие определить период стойкости, величину износа инструмента и время резания при обработке сложных контуров, представляющих собой совокупность элементарных поверхностей. – Ил.15. Табл.1. Библиогр.4.

УДК 621.9.025

Фельдштейн Е.Э. Параметры стружкообразования при точении стали R35 токарными пластинами с покрытиями // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 87.

Рассмотрено влияние скорости резания и подачи на форму стружки, коэффициент утолщения стружки угол сдвига и коэффициент трения на передней поверхности при точении стали R35 пластинами из твердого сплава T14K8 без покрытия и с покрытием BALINIT® FUTURA NANO, материал покрытия TiAlN. Использование покрытия способствует более четкому разделу форм стружки. При подачах менее 0,35 мм/об образуется стружка в виде спиралей, при более высоких – путаная. Деформации стружки и коэффициенты трения на передней поверхности в случае резания пластинами с покрытиями уменьшаются на 5 – 10% по сравнению с использованием непокрытых пластин, а углы сдвига соответственно увеличиваются. – Ил.4. Библиогр. 2.

УДК 621.9.025

Фельдштейн Е.Э. Проектирование протяжек для обработки узких фасонных пазов // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 89.

В статье рассмотрены принципы распределения припуска между отдельными секциями комплектной протяжки для обработки узкого фасонного паза в бронзе CuZn39Pb2 (ЛЦ40С). Предложена методика выбора подъемов на зуб и формы режущих кромок обеспечивающая равномерную нагрузку на секциях протяжки. – Ил.5. Библиогр. 5.

УДК 621.95.01

Фельдштейн Е.Э. Сверление отверстий в титановом сплаве Ti6Al4V ELI сверлами с износостойкими покрытиями// *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 92.

Рассмотрено влияние скорости резания, подачи и типа покрытия на образование заусенцев, форму стружки и разбивку отверстия при сверлении на проход отверстий в титановом сплаве Ti6Al4V EL. Сравнивались покрытия BALINIT®FUTURA NANO (материал TiAlN с наноструктурой), BALINIT®HARDLUBE (материал TiAlN + WC/C, многослойное) и BALINIT®X-TREME (материал TiAlN, однослойное). При использовании непокрытых сверл выявлены различные формы заусенцев, при использовании покрытых – встречаются только заусенцы, вытянутые вдоль направления подачи сверла. В этом случае преобладают стружки в виде спиралей различных типов, тогда как непокрытые сверла образуют также стружки путанные и в виде отдельных витков и полувитков. Режимы обработки не влияют на разбивку просверленных отверстий, тогда как наличие покрытия на сверле оказывает существенное влияние, снижая разбивку в 2 раза. – Ил.4. Табл.2. Библиогр. 1.

УДК 621.963

Мрочек Ж.А., Шадуя В.Л., Кожуро Л.М., Кожуро С.Л. Исследование эффективности процесса шлифования поверхностей алмазным кругом с ориентированными режущими зёрнами // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 95.

Установлено и показано, что использование алмазного абразивного круга с ориентированными зёрнами при шлифовании способствует увеличению микротвердости поверхности, способствует дроблению блоков и росту микроискажений тонкой структуры, уменьшает напряжения второго рода. – Табл. 3.

УДК 621. 941.088

Ивашин Э.Я., Ивашин В.Э. Особенности токарной обработки эксцентричных деталей // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 98.

Рассмотрены отличительные особенности устройства для токарной обработки эксцентричных деталей. Предложена конструкция устройства для токарной обработки, которая обеспечивает дробление стружки при точении и позволяет снизить расход мощности, необходимой на осуществление процесса резания. – Ил. 2. Библиогр. 3.

УДК 674.05.621.9.02.

Раповец В. В., Бурносов Н. В. Разработка и оптимизация конструкций двухлезвийных резцов для фрезерно-брусующих станков // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 100.

В статье рассматривается разработка и оптимизация конструкций двухлезвийных резцов для фрезерно-брусующих станков. Представлены варианты новых конструкций составных двухлезвийных резцов, описаны их преимущества и недостатки. Полученные экспериментальным путем данные силового взаимодействия режущего инструмента с обрабатываемым материалом могут служить основой расчета при проектировании и изготовлении режущего инструмента для фрезерно-брусующих станков.– Ил.6. Табл.1. Библиогр.3.

УДК 621.7

Шматов А.А., Девойно О.Г. Комбинированное упрочнение режущего инструмента из быстрорежущей стали // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 108.

В работе представлены результаты исследования структуры и свойств быстрорежущих сталей, подвергнутых объемному упрочнению - упрочняющей термоциклической термообработке (УТЦО). Разработанный процесс приводит к получению мелкоизмельченной гетерогенной микроструктуры, в которой равномерно распределены карбидные частицы. В результате прочность при изгибе быстрорежущих сталей увеличивается на 10-15%, ударная вязкость – в 1,5-1,7 раза, твердость HRC на 1,5-2,5 единицы, а износостойкость - более 2 раз, по сравнению со стандартной термообработкой. В работе также представлен и изучен низкотемпературный метод поверхностного упрочнения – наногидрохимическая обработка (НГХО) инструментальной стали путем ее химической обработки в специально приготовленной водной суспензии на базе нанокарбида титана и последующей термообработке при температуре – 130-200°С. Комбинирование способов УТЦО и НГХО позволяет в 1,6 – 10,8 раза повысить эксплуатационную стойкость режущего инструмента по сравнению со стандартным. Ил. 5. Табл. 1. Библиогр. 12.

УДК 621.94.084

Дечко Э.М., Колесников Л.А., Брилевский В.В. Деформация шнековых сверл // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 108.

Выполнено исследование математической модели колебательных процессов при сверлении сталей шнековыми сверлами. Проведено сравнение экспериментальных данных с расчетами на ЭВМ по разработанной модели.

УДК 612.821.8:004.89:004.4

Колешко В.М., Хмурович Н.В., Воробей Е.А., Польшкова Е.В. Интеллектуальная биосенсорная система с программным обеспечением экспресс-диагностики крови. Часть 1 // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 114.

Описана разработка интеллектуальной биосенсорной экспресс-диагностической лаборатории на кристалле типа «электронный язык и электронный нос» для анализа газовых, жидких и гетерогенных сред, которая на основе применения микро-наносистем на поверхностных акустических волнах способна идентифицировать биохимические образы сложных веществ, сравнить их с эталоном и определить концентрации отдельных компонентов в них. — Ил. 5, Табл. 3, Библиогр.9.

УДК 612.821.8:004.89:004.4

Колешко В.М., Хмурович Н.В., Воробей Е.А., Полянкова Е.В. Интеллектуальная биосенсорная система с программным обеспечением экспресс-диагностики крови. Часть 2 // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 119.

Описана разработка программного обеспечения “Био-ЭДК” для интеллектуальной биосенсорной экспресс-диагностической лаборатории на кристалле типа «электронный язык и электронный нос», позволяющая на основе биохимических образцов крови человека с использованием кластерных методов распознавания вероятностно идентифицировать скрытые патологии в организме. – Ил. 5, Табл. 1.

УДК

Чигарев В.А., Чигарева Ю.А. Развитие промышленных роботов и методов их программирования // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 123.

Рассмотрен основной метод классификации роботов, описаны основные тенденции развития промышленных роботов. Подробно описан передовой метод программирования промышленных роботов – офлайн метод. – Ил. 2.

УДК 004.89+004.912

Колешко В.М., Шиманович Е.А. Определение языка текста в интеллектуальной лингвистической системе // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 126.

Разработана и протестирована программа определения языка текста на основе особенностей работы алгоритма сжатия данных.

УДК 621.75.002

Бабук И.М., Гребенников И.Р. Обоснование критерия экономической эффективности технологической подготовки производства // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 129.

Обоснование критериального показателя при расчете экономической эффективности проектов остается одной из актуальных задач экономической науки. В данной статье рассматриваются возможные подходы к решению этого вопроса, когда в качестве проекта рассматривается технологическая подготовка производства.

Рассматривается критерий минимум совокупных затрат за жизненный цикл (расчетный период) при приведении денежных потоков к различным моментам времени – Ил. 3.

УДК 657.312

Гребенников И.Р. Порядок разработки бизнес-плана инвестиционного проекта // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 131.

В современных условиях бизнес-план является одним из наиболее востребованных документов при организации и реорганизации предприятий, привлечении инвестиций, обосновании господдержки. В данной работе рассматривается алгоритм разработки бизнес-планов на предприятии. – Ил. 1. Библ. 3.

УДК 621.75.002:658

Бутковская В.П., Лавренова О.А. Веб-сайт и особенности его жизненного цикла // Машиностроение: сб. – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 134.

Исследованы подходы к классификации веб-сайтов и выявлены основные виды сайтов. Определены содержание и особенности этапов жизненного цикла веб-сайта. Приведены рекомендации и основные мероприятия по успешному продвижению и обслуживанию веб-сайта. – Ил.1. Библиогр. 5.

УДК 621.75.002:658

Миланович Д.Ю., Лавренова О.А. Анализ механизма интернет-трейдинга и определение критериев выбора брокера // Машиностроение: сб. – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 138.

Исследованы современное состояние Интернет-трейдинга, его возможности для привлечения потенциальных инвесторов, преимущества, недостатки и риски технологии Интернет-трейдинга. Определены критерии выбора брокера с точки зрения минимизации рисков. – Ил.2. Табл.1. Библиогр. 3.

УДК 621.75.002:658

Шумак Е.С., Лавренова О.А. Особенности торговых площадок и условия повышения эффективности их работы // Машиностроение: сб. – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 142.

Изучены организация и механизм функционирования онлайн-торговых площадок. Приведена структура эффективной торговой площадки. Определены условия эффективной работы онлайн-торговых площадок. – Ил.1. Табл.1. Библиогр. 4.

УДК 339.137.2

Плясунов А.В., Криволапова В.В. Сущность понятия «конкурентоспособность предприятия» // Машиностроение: сб. – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 146.

Рассмотрены подходы к определению сущности понятия «конкурентоспособность предприятия». Предложено уточнённое определение данного понятия, которое лучше отражает его суть и подход к его оценке. Библиогр.9.

УДК 681.3.01:339.138

Повжик М.И., Торская И.В. Роль брендинга в реализации стратегических целей организации // Машиностроение: сб. – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 153.

Рассмотрено понятие бренда, а также основные отличия этого понятия от понятия торговой марки. Проанализирована роль брендинга как важного инструмента роста нематериальных активов предприятия. Рассмотрена группа прямых и непрямых методов оценки рыночной стоимости бренда. Описан подход компании Interbrand Group к оценке марочного капитала, основанного на использовании бренд-мультипликатора. Приведены примеры торговых марок таких белорусских предприятий, как РУП «МЗКТ» и ОАО «МПЗ». – Ил.2. Табл.1. Библиогр.4.

УДК 681.3.01:339.138

Повжик М.И., Торская И.В. Роль брендинга в реализации стратегических целей организации // Машиностроение: сб. – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 153.

Рассмотрено понятие бренда, а также основные отличия этого понятия от понятия торговой марки. Проанализирована роль брендинга как важного инструмента роста нематериальных активов предприятия. Рассмотрена группа прямых и непрямых методов оценки рыночной стоимости бренда. Описан подход компании Interbrand Group к оценке марочного капитала, основанного на использовании бренд-мультипликатора. Приведены примеры торговых марок таких белорусских предприятий, как РУП «МЗКТ» и ОАО «МПЗ». – Ил.2. Табл.1. Библиогр.4.

УДК 339.138

Попова Н.Д. Проектирование матрицы маркетинговых коммуникаций промышленного предприятия // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 158.

Рассмотрены маркетинговые коммуникации в виде матрицы маркетинговых коммуникаций, в которой каждому элементу маркетинговых коммуникаций присущи определенные технические и социальные характеристики. Ил. 9. Табл. 0. Библиогр. 2.

УДК 621.002:338

Бурейко Е.В., Торская И.В. Комплексная методика оценки инвестиционной привлекательности промышленного предприятия // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 160.

Рассмотрены понятие инвестиционной привлекательности промышленного предприятия и современные подходы к оценке данной экономической категории. Для РУП «МТЗ» проведена рейтинговая оценка платежеспособности на основе методики, используемой АСБ «Беларусбанк»; оценка уровня риска, связанного с качеством управления и вероятностью банкротства; а также оценка степени рациональности инвестирования в анализируемое предприятие. Ил.1.Библиогр.3.

УДК 339.534

Торская И. В., Хованская Н.М. Оценка экспортного потенциала промышленного предприятия // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 165.

Рассмотрено понятие экспортного потенциала промышленного предприятия, основанное на дифференциации его структурных элементов. Обоснована модель комплексной оценки экспортного потенциала, построенная на базе многокритериального анализа его элементов. Проведена комплексная оценка экспортного потенциала РУП “МТЗ” по оригинальной методике, в основе которой лежит построение радара экспортного потенциала. - Ил.3.Библиогр.3.

УДК 336.14

Плясунков А.В., Комина Н.В. Бюджетирование как инструмент финансового планирования // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 169.

Рассмотрены подходы к процессу бюджетирования. Предложен алгоритм разработки бюджета на предприятии.

УДК 658.012.4

Плясунков А.В. Особенности стратегического планирования на предприятии // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 172.

Рассмотрены особенности стратегического управления и планирования деятельностью организации на основе финансовых и нефинансовых показателей. Разработана методика стратегического планирования на предприятии. – Ил. 1. Табл. 0. Библиогр. 2.

УДК 001.895

Костюкевич Е.Н. Влияние факторов инновационной активности на конкурентоспособность предприятия // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 184.

Рассмотрены факторы, определяющие инновационные возможности предприятия. Предложен ряд факторов инновационной активности для оценки конкурентоспособности предприятия. – Ил.1. Табл.1. Библиогр.4.

УДК 621.9

Дьяков И.И., Белицкий А.В., Белицкая А.И. Станок для двухстороннего оребрения длинномерных плоских элементов теплообменников с непрерывной подачей // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 192.

Разработанная конструкция станка позволяет обеспечить двухстороннее оребрение плоских заготовок значительной длины по безотходной технологии с возможностью варьирования параметров оребрения в широких пределах и с высокой производительностью.

УДК 621.91.04

Данилов В.А., Киселев Р.А. Обеспечение универсальности металлорежущих станков на основе управляемых схем формообразования // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 194.

Рассмотрены методы управления схемами формообразования, основанные на задании соотношения скоростей, направлений, относительного расположения и перемещения траекторий элементарных движений, настройке геометрических параметров схемы обработки, а также на использовании для формирования производящих линий поверхности различных участков траектории исполнительного движения. Применительно к обработке деталей с зубчатым контуром показано применение этих методов для обеспечения универсальности металлорежущих станков. – Ил.4. Библ.9.

УДК 621.91.04

Данилов В.А., Чепурной А.А. Синтез кинематической структуры станка для обработки круговых винтовых поверхностей // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 198.

Исходя из анализа геометрии круговой винтовой поверхности, определена рациональная схема ее формообразования при обработке резанием, положенная в основу кинематической структуры станка. Рассмотрена кинематическая структура станка для обработки круговых и других типов винтовых поверхностей. Показана возможность ее реализации при модернизации токарно-затыловочных станков. – Илл.3. Библ. 4.

УДК 621.9.014.5.001.57

Чечетко А.А., Туромша В.И. Технологическое оборудование на основе механизмов с параллельной кинематической структурой // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 202.

Выполнен анализ кинематической структуры и конструкции технологического оборудования на основе механизмов с параллельной кинематической структурой (PKM – Parallel Kinematic Machines). Приведены структурные схемы станков с различным числом степеней подвижности (свободы) – биподов, триподов и трицептов, четырехподов, пятиподов, гексаподов. – Ил.15. Библиогр.6.

УДК 626.86002.51 :62.868.001.4

Балицкий В.А. Землеройно-мелиоративная машина с инерционно-импульсивным приводом // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 207.

Рассмотрены конструктивно-технологические вопросы повышения тягово-сцепных свойств землеройно-транспортных машин. Проведенные экспериментальные исследования согласуются с теоретическими положениями. Предложенный метод увеличения усилия воздействия рабочего органа на грунт, основанный на когерентных свойствах возмущающих сил асимметричного вибратора суммарном силовом импульсном эффекте, обеспечивает возможность превышения в 2,5-3,5 раза номинальной силы тяги трактора.

УДК 621.9.014.5.001.57

Туромша В.И., Чечетко А.А. Конструирование технологического оборудования с параллельной кинематической структурой типа «Дельта» // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 214.

Изложена методика проектирования оборудования с параллельной кинематической структурой на основе механизма, выполненного по схеме «Дельта», с учетом заданных

параметров рабочей зоны станка и ограничений по предельным углам поворота в шарнирах. — Ил.8. Табл.1. Библиогр.3.

УДК 621.382.049.77

Колешко В. М., Гулай А. В., Гулай В. А. Моделирование негатронных сенсорных элементов на основе туннельных МДМ-наноструктур // *Машиностроение: сб.* — Минск, 2009. — Вып. 24. — С. 220.

Рассмотрены особенности туннельных МДМ-наноструктур при использовании их в качестве чувствительных элементов негатронных сенсорных систем. Проанализированы условия возбуждения автоколебаний в электрических схемах, содержащих МДМ-наноструктуры. Исследована зависимость частоты возбуждаемых автоколебаний от параметров негатронных сенсорных систем на основе туннельных МДМ-наноструктур. — Ил. 3. Библиогр. 4.

УДК 621.382.049.77

Колешко В. М., Гулай А. В., Гулай В. А., Полинкова Е. В. Моделирование инвариантных микро-нанотехнологий сенсорики // *Машиностроение: сб.* — Минск, 2009. — Вып. 24. — С. 223.

Рассмотрены особенности инвариантных микро-нанотехнологий сенсорики и методы их кибнетического моделирования. Исследована технологическая инвариантность процесса формирования туннельных сенсорных наноструктур металл-диэлектрик-металл. Показано, что достижение инвариантности МДМ-наноструктур возможно при выполнении их на основе тонких ВТСП-пленок. Разработан способ получения тонких пленок из ВТСП-материалов для туннельных наноструктур путем распыления фторидных мишеней. Изучен процесс формирования сенсорных ПАВ-наноструктур для контроля давления, инвариантных по отношению к изменению температуры. Выполнен анализ инвариантности сенсорных ПАВ-наноструктур при осаждении на звукопровод тонких пленок фторидов РЗЭ. Установлены оптимальные параметры процесса получения инвариантных сенсорных ПАВ-наноструктур на основе редкоземельных фторидов. — Ил. 3. Библиогр. 10.

УДК 05.06.07.12

Чигарев А.В., Мальцев А.Г., Мальцев И.А. Термомеханическая модель формирования нанотрубок при лазерном воздействии // *Машиностроение: сб.* — Минск, 2009. — Вып. 24. — С. 228.

Рассмотрена модель образования нанотрубок при распылении композитной машины лазерным излучением. Предложенные механизмы волн скачков напряжений. — Ил. 3. Библиогр. 1.

УДК 621.9.06.001.57

Колесников Л.А. Оценка точности конечно-элементных расчетов в Pro/Mechanica // *Машиностроение: сб.* — Минск, 2009. — Вып. 24. — С. 235.

Проведена оценка погрешности расчетов в САЕ-модуле Pro/Mechanica пакета Pro/Engineer на примере решения тестовой задачи растяжения пластины с полукруглыми вырезами. Показано, что величина относительной погрешности изменяется от 13.6% при установках по умолчанию до 6.35% при максимальных установках. — Ил. 4. Библиогр. 1.

УДК 621.9

Кочергин А.И. Оптимизация режима резания методом теории нечетких множеств // *Машиностроение: сб.* — Минск, 2009. — Вып. 24. — С. 239.

Изложена сущность метода оптимизации процесса резания методом теории нечетких множеств. — Библиогр. 2.

УДК 378: 371.671

Кочергин А.И. Дидактические требования к учебной литературе по конструированию технологического оборудования машиностроительного производства // *Машиностроение: сб.* — Минск, 2009. — Вып. 24. — С. 240.

Указаны противоречия, имеющие место при разработке учебной литературы по конструированию технологического оборудования машиностроительного производства, и пути их преодоления. – Библиогр. 7.

УДК 6:378

Романюк С.И., Романюк Г.Э. Тестовые среды в образовательном процессе на машиностроительном факультете БНТУ // Машиностроение: сб. – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 242

Рассмотрено применение тестового контроля знаний в процессе обучения студентов. Показано использование тестовой оболочки «Краб 2» для промежуточного контроля усвоения теоретического материала и для итогового контроля. – Ил. 4. Библиогр. 3.

УДК 378.663.026

Капусціч Т.М. Фарміраванне маўленчых навыкаў у працэсе навучання // Машиностроение: сб. – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 245.

Изложены основные направления работы преподавателей по формированию речевых компетенций студентов. Перечислены методики, направленные на развитие культуры речи, стимулирующие речевую и языковую подготовку будущего специалиста технической сферы.

УДК 621.01

Анципорович П.П., Дворянчикова А.Б. Инновационные технологии в обучении разделу «Структура механизмов» курса теории механизмов и машин // Машиностроение: сб. – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 248.

В статье рассмотрены особенности применения инновационных технологий обучения разделу «Структура механизмов» курса теории механизмов и машин. В частности, рассмотрены вопросы содержания раздела, профессиональной адекватности преподавательского состава, новых форм и методов обучения. Приводятся соответствующие иллюстрации. – Ил. 3. Библиогр. 5.

УДК 621.01(076.5)

Анципорович П.П., Акулич В.К., Дубовская Е.М. Особенности изложения раздела «Синтез зубчатых зацеплений» в курсе теории механизмов, машин и манипуляторов // Машиностроение: сб. – Минск, 2009. – Вып. 24. – С. 250.

В статье приводятся содержание и особенности методического обеспечения раздела «Синтез зубчатых зацеплений и передач», излагаемого в курсе «Теория механизмов, машин и манипуляторов». Дается описание стендов, макетов, учебных установок, которые демонстрируются студентам во время занятий, а также содержание лабораторного практикума. Приводятся соответствующие фотографии и иллюстрации. – Ил. 5. Библиогр. 4.

Научное издание

МАШИНОСТРОЕНИЕ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ
СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Выпуск 24

В двух томах

Том 2

Ответственный за выпуск А.И. Бачанцев
Компьютерная верстка Н.В. Руднева

Подписано в печать 02.02.2009.

Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 30,57. Уч.-изд. л. 11,95. Тираж 60. Заказ 1360.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.

Проспект Независимости, 65, 220013, Минск.