

*Донецкий национальный технический университет*

*Южный федеральный университет*



---

---

---

---

## МАТЕРИАЛЫ

**Четырнадцатого международного  
научно-практического семинара**

**«ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ  
РАЗВИТИЯ ПАРТНЕРСТВА  
В СФЕРЕ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ»**

ТОМ 3

*15 – 18 апреля 2013 года*

*г.Донецк*



Донецк – Таганрог

*Донецкий национальный технический университет*

*Южный федеральный университет*

**«ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ  
РАЗВИТИЯ ПАРТНЕРСТВА  
В СФЕРЕ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ»**

**Материалы**

**Четырнадцатого международного научно-практического  
семинара**

*15 – 18 апреля 2013 года*

*г.Донецк*

**ТОМ 3**

**Донецк – Таганрог 2013**

УДК 378.008.8

«Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы»: Материалы четырнадцатого международного научно-практического семинара. г.Донецк, 15-18 апреля 2013г. В 3-х томах. Т.3 – Донецк: ДонНТУ, 2013. – 196 с.

Сборник содержит доклады ученых и специалистов России и Украины по вопросам повышения эффективности научно-методической работы в сфере высшей школы.

Сборник предназначен для ученых, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов высших учебных заведений.

Збірник містить доповіді вчених і фахівців Росії та України з питань підвищення ефективності науково-методичної роботи у сфері вищої школи.

Збірник призначений для науковців, викладачів, аспірантів, магістрантів і студентів вищих навчальних закладів.

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.т.н. проф. Минаев А.А., д.э.н. проф. Боровская М.А., д.т.н. проф. Захаревич В.Г., д.ф.-м.н. проф. Пашаев А.М., д.т.н. проф. Троянский А.А., д.т.н. проф. Башков Е.А., к.и.н. проф. Навка И.П., д.т.н. проф. Обуховец В.А., д.т.н. проф. Курейчик В.М., д.т.н. проф. Михайлов А.Н., д.т.н. проф. Бутенко В.И., д.т.н. проф. Суслов А.Г., д.т.н. проф. НААА Набиев Р.Н., д.т.н. проф. Зори А.А., д.п.н. проф. Стефаненко П.В., к.т.н. проф. Селивра С.А., к.т.н. доц. Турупалов В.В., к.п.н. проф. Левченко Г.Г., к.т.н. доц. Панычев А.И., к.т.н. доц. Грубка Р.М., к.т.н. доц. Шаповалов Р.Г., ст. преп. Голубов Н.В.

Рекомендовано к публикации ученым советом Донецкого национального технического университета. Протокол № 2 от 22 марта 2013г.

© ДонНТУ, ЮФУ 2013г.

## СЕКЦИЯ №4

### Современные проблемы техносферы. Автоматизация, технология и качество в производственных процессах

УДК 614.87

#### АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ СТОЛКНОВЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ С ПТИЦАМИ ЗА 2002-2012 ГОДЫ

Авдюшина А.Е., Звягинцева А.В.

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж. Россия  
Тел. (4732) 35-61-01, E-mail: 1307Fox@mail.ru, zvygincevaav@mail.ru

**Abstract:** This article provides an analysis of statistics on collisions of aircraft with birds and their consequences for the years 2002-2012.

**Key words:** aircraft, bird, collision, statistics

Одной из современных проблем техносферы является задача обеспечения безопасности пассажиро- и грузоперевозок. Авиационный транспорт при этом всегда относился к сферам повышенного внимания, так как основная область его применения – пассажирские перевозки, и любые нештатные ситуации в процессе полета могут привести к появлению многочисленных жертв.

В последние десятилетия в качестве одной из угроз для авиации стали рассматриваться птицы, так как столкновения их с самолетами начали приводить к многочисленным летным происшествиям. Случаи столкновения с птицами отмечались и во время первых полетов летательных аппаратов, но незначительная их интенсивность и малые скорости обеспечивали относительную безопасность, так как птицы успевали уклониться от столкновения. Кроме того, даже при столкновении они редко наносили серьезные повреждения из-за незначительной силы удара. По этим причинам опасность столкновений воздушных судов (ВС) с птицами практически в расчет не принималась. Однако с ростом скоростей самолетов эта опасность увеличивалась.

При рассмотрении опасности для авиации, создаваемой птицами, следует ответить на два вопроса: чем грозит самолету столкновение с птицами и как часто эти инциденты происходят. Для этого рассмотрим общедоступную благодаря развитию сети Интернет статистику столкновений ВС с птицами и их последствий.

В целом в период с 2002 по 2008 годы уровень зарегистрированных столкновений испытывал колебания в пределах от 35 до 69 случаев в год (рисунок 1). По данным, поступившим из авиапредприятий, за 2008 год российские воздушные суда коммерческой авиации участвовали в 44 столкновениях с птицами, что на 15,7 % больше, чем за предыдущий год. Расследование проводилось для 25 (или 56,8 %) событий.

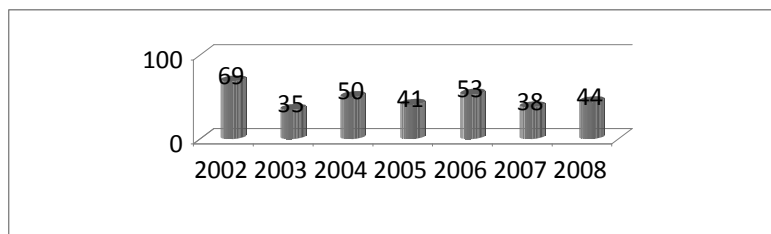


Рис. 1. Динамика уровня зарегистрированных столкновений воздушных судов коммерческой авиации с птицами в 2002-2008 гг.

Опасность, исходящая от птиц, неравномерна во времени и имеет значительные сезонные отличия, что связано с течением различных процессов в годовом цикле жизнедеятельности птиц. Картина изменений этой опасности за анализируемый период не является типичной, и в значительной степени отличается от показателей предыдущих лет (рисунок 2, таблица 2). Это явление наиболее вероятно обусловлено действием климатических факторов.



В весенние месяцы в связи с массовыми миграционными перемещениями птиц риск столкновений с ними, как правило, нарастает, распространяясь частично и на июнь. В 2008 году отмечался относительно меньший уровень столкновений, сопровождавшийся к тому же смещением сезонных пиков опасности с мая и июня на апрель и июнь.

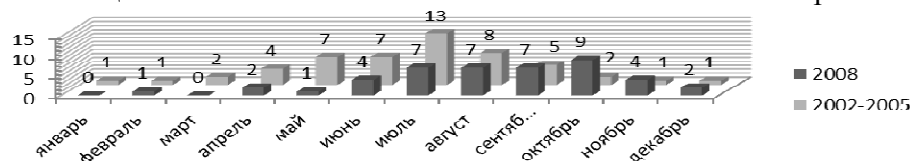


Рис.2. Распределение зарегистрированных столкновений воздушных судов с птицами по месяцам в 2008 г.

июль – в среднем 26,5 % столкновений от общего их объема, а в целом вторая половина лета – время присутствия в популяциях большого количества молодых птиц, не имеющих достаточного опыта, позволяющего в той или иной степени предотвращать опасные контакты с воздушными транспортными средствами. В 2008 году наблюдался устойчиво высокий уровень столкновений в июле, августе и сентябре с повышением до максимального за год значения в октябре.

За годовым максимумом обычно следует постепенное снижение риска столкновений до минимальных значений к концу календарного года. Рассматриваемый год также характеризовался подобным снижением, но при этом зарегистрированный уровень столкновений в ноябре и в декабре был выше в 4 раза по сравнению со средними относительными значениями предыдущих лет.

Таблица 2 – Распределение столкновений ВС с птицами по месяцам в 2008 г. в сравнении со средними показателями 2002-2005 гг.

Месяцы	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Итого
Годы													
2008 (%)	0 (0)	1 (2,3)	0 (0)	2 (4,5)	1 (2,3)	4 (9,1)	7 (15,9)	7 (15,9)	7 (15,9)	9 (20,5)	4 (9,1)	2 (4,5)	44 (100)
2002-2005, %	2,7	2,7	3,1	7,1	13,2	12,9	26,5	16,9	8,8	3,1	2,0	1,0	100
Доля увеличения, уменьшения	↓ 2,7	↓ 0,4	↓ 3,1	↓ 2,6	↓ 10,9	↓ 3,8	↓ 10,6	↓ 1,0	↑ 7,1	↑ 17,4	↑ 7,1	↑ 3,5	

Активность всех птиц на протяжении суток изменяется, но большинство видов активны в светлое время. В 2008 году 43,6 % столкновений отмечены днём, а ночные столкновения составили 12,8 %. Немалая часть конфликтных ситуаций (43,6 % в сумме) зафиксирована в утренние и вечерние сумерки (таблица 3). При этом наличие подобных столкновений оказало большое влияние на динамику уровня в течение года, практически определяя его высокие значения для августа, сентября и, в особенности, октября, и указывая также для этого месяца на активное участие в столкновениях мигрирующих птиц.

За календарный год высота, на которой произошло столкновение с птицами, определена в 24 случаях, что составляет 54,5 % от общего их количества. В интервале высот от 0 до 100 метров отмечено подавляющее число столкновений – 19 случаев или

79,2 % от общего количества, на высоте от 101 до 400 метров – 2 случая или 8,3 % и на высоте от 401 до 1000 метров – 3 случая или 12,5 %. Полностью отсутствуют сведения, подтверждающие столкновения на высоте более 1 км. Для сравнения приводятся показатели 2002-05 гг.: 0-100 м – 84 % от всех случаев, 101-400 м – 8,5%, 401-1000 м – 3,8 %, более 1000 м – 3,8 %.

Таблица 3 – Распределение столкновений ВС с птицами по времени суток в 2008 г.

Месяц	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Итого в 2008 г.	В 2002-2005 гг.
Часть суток														
День		●		○	●		●●● ○	●●	●●○	●●	●△	●	17 (43,6%)	60,5%
Вечер							●●	●●	●		●	○	7 (17,9%)	8,6%
Ночь				●		●	●	●		●			5 (12,8%)	15,1%
Утро						△		●	●○	●●● ●●	●		10 (25,7%)	14,5%
Итого:	0	1	0	2	0	2	7	6	6	8	4	2	39 (100%) (88,6%)	100% 77,6%
Неизвестно						●△		●	●	●			5 (11,4%)	22,4%
Всего:	0	1	0	2	1	4	7	7	7	9	4	2	44 (100%)	100%

△ – столкновение за границей;

● – столкновение в воздушном пространстве РФ;

○ – столкновение с неизвестным местом события при выполнении полета по маршруту, для которого зарубежный аэропорт являлся пунктом вылета или посадки.

В целом те или иные повреждения ВС наблюдались в 58,3 % учтённых попаданий птиц, что свидетельствует о далеко не полной регистрации и массовом игнорировании случаев, не приведших к повреждению ВС. Чрезвычайно высокий показатель возникновения повреждений зарегистрирован в 2008 году у авиадвигателей – 20 или 74,1 % (аналогичный показатель 2002-2005 гг. – 66 %). В половине случаев к повреждению приводили попадания птиц в обтекатель РЛС, в 42,9 % случаев – при попадании крыло.

На фоне неполной регистрации столкновений без последствий для ВС и их полёта, как и в предшествующие годы, наибольшие трудности у авиационного персонала возникают со сбором и фиксацией информации, характеризующей факт столкновения с птицами, что связано в меньшей степени с объективными причинами и в большей степени с субъективными. В 2008 году в среднем по 44 случаям неизвестными остались 46,2 % информации (таблица 4) [4].

В сложившейся в настоящее время на российском воздушном транспорте ситуации регистрируются далеко не все случаи столкновений воздушных судов с птицами. Реальный уровень столкновений значительно выше приводимых данных.

Не подвергаются централизованному учёту случаи столкновений с птицами ВС иностранных эксплуатантов в воздушном пространстве РФ.

Общее количество зарегистрированных столкновений российских воздушных судов с птицами в 2002-2011 годах приведено на рисунке 3 [5].

Таблица 4 – Данные, оставшиеся неизвестными, по фактам столкновений ВС с птицами в 2002-2004, 2006, 2008 гг.

Показатели	Часть ВС, подвергшаяся удару при столкновении	Время суток	Этап полета	Высота	Групповая принадлежность	Видовая принадлежность птиц	В среднем известной информации
Годы							
2008	11,4%	11,4 %	36,3 %	45,5 %	77,3%	95,5%	46,2%
2006	3,4%	11,3 %	35,8	49%	81,1%	92,5%	45,5%
2002-2004	9%	23%	40%	48%	73%	94,8%	48%

По итогам первого полугодия 2012 года зафиксировано 23 инцидента, связанных со столкновениями воздушных судов с птицами, в том числе на этапах отрыва от ВПП или при приземлении – 2 инцидента, набора высоты после взлета – 4 инцидента, захода на посадку и на предпосадочной прямой – 7 инцидентов. В 10 случаях этап полета, на котором произошло столкновение, не был установлен. В первом полугодии 2011 года из-за столкновения с птицами произошло 18 инцидентов.

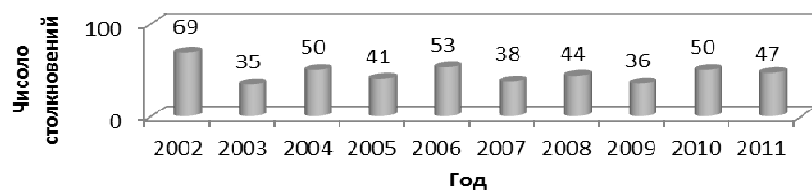


Рис. 3. Количество зарегистрированных столкновений российских воздушных судов с птицами в 2002-2011 годах

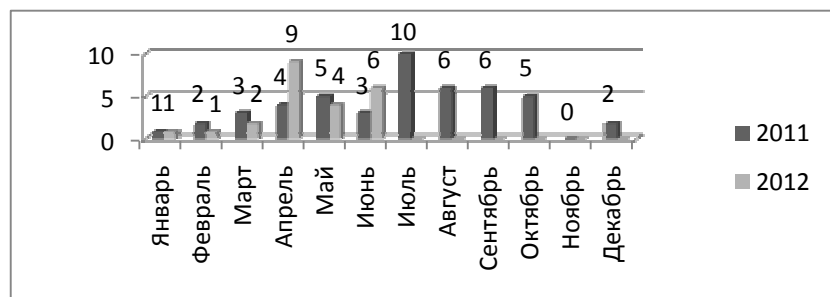


Рис. 4. Распределение числа инцидентов, связанных со столкновением ВС с птицами, по месяцам 2011 и 2012 годов

логическое обеспечение безопасности полетов. Москва: Транспорт, 1984. 126 с. 2. Деметьев Г.П., Гладков Н.А. Птицы советского союза. Москва: Советская наука, 1951. 3. Weick F. Birds of Prey of the World. London: Collins, 1980. 159 pp. 4. С.К. Рыжов, ОГАО в составе ГЦБП ВТ, 2009 г. Столкновения гражданских воздушных судов с птицами в России в 2008 г. Аналитические материалы // Отраслевая группа авиационной орнитологии. 2009. URL: <http://otpugivanie.narod.ru/documents/analiz2008.html> (дата обращения: 27.01.2013). 5. Отраслевая группа авиационной орнитологии. Уровень столкновений российских ВС с птицами // Отраслевая группа авиационной орнитологии. 2012. URL: <http://www.otpugivanie.narod.ru/bird-strike-rate.html> (дата обращения: 10.02.2013).

На частоту возникновения подобных инцидентов влияют сезонные особенности выполнения полетов (рисунок 4).

Приведенные факты показывают серьезность опасности, которые птицы представляют для полетов воздушных судов, что позволяет рассматривать этот вопрос как одну из важных проблем современной техносферы.

**Список литературы:** 1. Рогачев А.И., Лебедев А.М. Орнито-

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СТОЙКОСТИ ФРЕЗ С ПЕРЕМЕННЫМИ СКОРОСТЯМИ РЕЗАНИЯ ПО ДЛИНЕ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ЗУБА

Аль-Судани Т.Т., Михайлов А.Н., Шейко Е.А.

ДонНТУ, Донецк, Украина

Тел.: +38 (050) 6202396; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

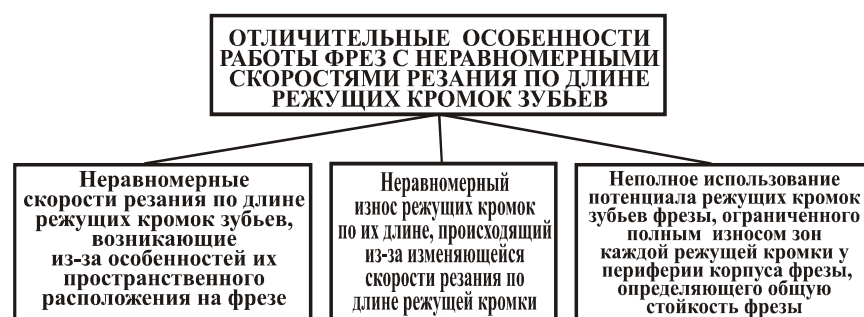
**Abstract:** В данной статье приведены данные по повышению параметров качества фрез с переменными скоростями резания по длине режущей кромки зубьев, которые основываются на обеспечении изменяющихся параметров свойств режущей кромки в зависимости от действующих эксплуатационных функций. Приведены структуры технологических процессов для обеспечения изменяющихся свойств режущих кромок зубьев фрез и повышения параметров качества фрез в целом. В работе разработана методика экспериментальных исследований стойкости фрез, обработанных в соответствии с предлагаемой технологией. Выполнены сравнительные исследования стойкости обычных фрез и обработанных по специальным технологическим процессам.

**Ключевые слова:** функционально-ориентированная технология, повышение стойкости фрез, экспериментальные исследования.

### 1. Введение

С развитием научно-технического прогресса непрерывно повышаются требования к качеству металлорежущих инструментов, в том числе фрез, которые работают с неравномерными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев [1, 2, 3, 4, 5]. Отношение максимальной и минимальной скоростей резания по длине режущей кромки зуба у этих фрез, характеризующее неравномерность скоростей резания, в ряде случаев, достигает  $k_v = 2 \dots 4$ . Это приводит к снижению производительности и стойкости этих фрез [6].

Наличие неравномерных скоростей резания по длине режущих кромок зубьев фрезы обуславливают следующие отличительные особенности их работы (рис. 2):



- неравномерные скорости резания по длине режущих кромок зубьев, возникающие из-за особенностей их пространственного расположения на фрезе;

- неравномерный износ режущих кромок по их длине, происходящий из-за

Рис. 1. Особенности работы фрез с неравномерными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев

изменяющейся скорости резания по длине режущей кромки;

- неполное использование потенциала режущих кромок зубьев фрезы, ограниченного полным износом зон каждой режущей кромки у периферии корпуса фрезы, определяющего общую стойкость ее работы.

Приведенные особенности работы этих фрез вызывают необходимость разработки целого ряда различных мероприятий по повышению их работоспособности [6, 7].

В частности, в этой работе предложено выполнить изменяющиеся свойства по длине режущей кромки в зависимости от особенностей действия эксплуатационных функций. Выполнение этих мероприятий обеспечит повышение производительности и стойкости работы фрез данного класса. Однако для широкого использования таких фрез необходимо решение следующих основных задач (рис. 2):



Рис. 2. Основные задачи по повышению производительности и/или стойкости фрез с неравномерными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев

изменяющихся свойств в следующих направлениях:

- выполнение изменяющейся геометрии режущего клина по длине режущей кромки фрезы, включая радиус закругления режущего клина;
- обеспечение изменяющихся свойств материала режущей кромки по ее длине.

Однако следует иметь в виду, что изменяющиеся свойства режущих кромок зубьев по их длине необходимо сохранить на максимально длительный период времени, а также снизить их износ в целом для достижения максимального эффекта. Для этого необходимо разработать целый комплекс технологического обеспечения (рис. 2).

Целью данной работы является повышение качества фрез работающих в условиях неравномерных скоростей резания по длине режущих кромок зубьев за счет обеспечения изменяющихся свойств режущих кромок зубьев по их длине в зависимости от действующих эксплуатационных функций и применения специальных композиционных покрытий, путем реализации функционально-ориентированных технологических процессов и технологического обеспечения.

В соответствии с поставленной целью в работе определены следующие основные задачи:

- выполнить разработку функционально-ориентированного технологического процесса и обеспечения для реализации изменяющихся свойств режущих кромок зубьев по их длине;

- обеспечение равномерного износа режущих кромок зубьев по их длине;

- достижение полного потенциала использования режущих кромок зубьев по их длине;

- сохранение изменяющихся свойств режущих кромок зубьев по их длине в зависимости от условий эксплуатации;

- снижение износа режущих кромок зубьев фрезы в целом.

Можно отметить, что в работе предусматривается реализацию

- разработать методику экспериментальных исследований по определению стойкости фрез с изменяющимися свойствами режущих кромок зубьев по их длине;
  - выполнить сравнительные экспериментальные исследования стойкости предлагаемых и стандартных фрез;
  - разработать рекомендации по повышению производительности и стойкости фрез имеющих неравномерные скорости резания по длине режущих кромок зубьев.
- Эти задачи решаются в данной работе.

## 2. Технологическое обеспечение изготовления фрез со специальными свойствами

Выполненные исследования [6] позволили разработать следующие варианты структур технологических процессов дополнительной обработки фрез (рис. 3): рис.3,а –

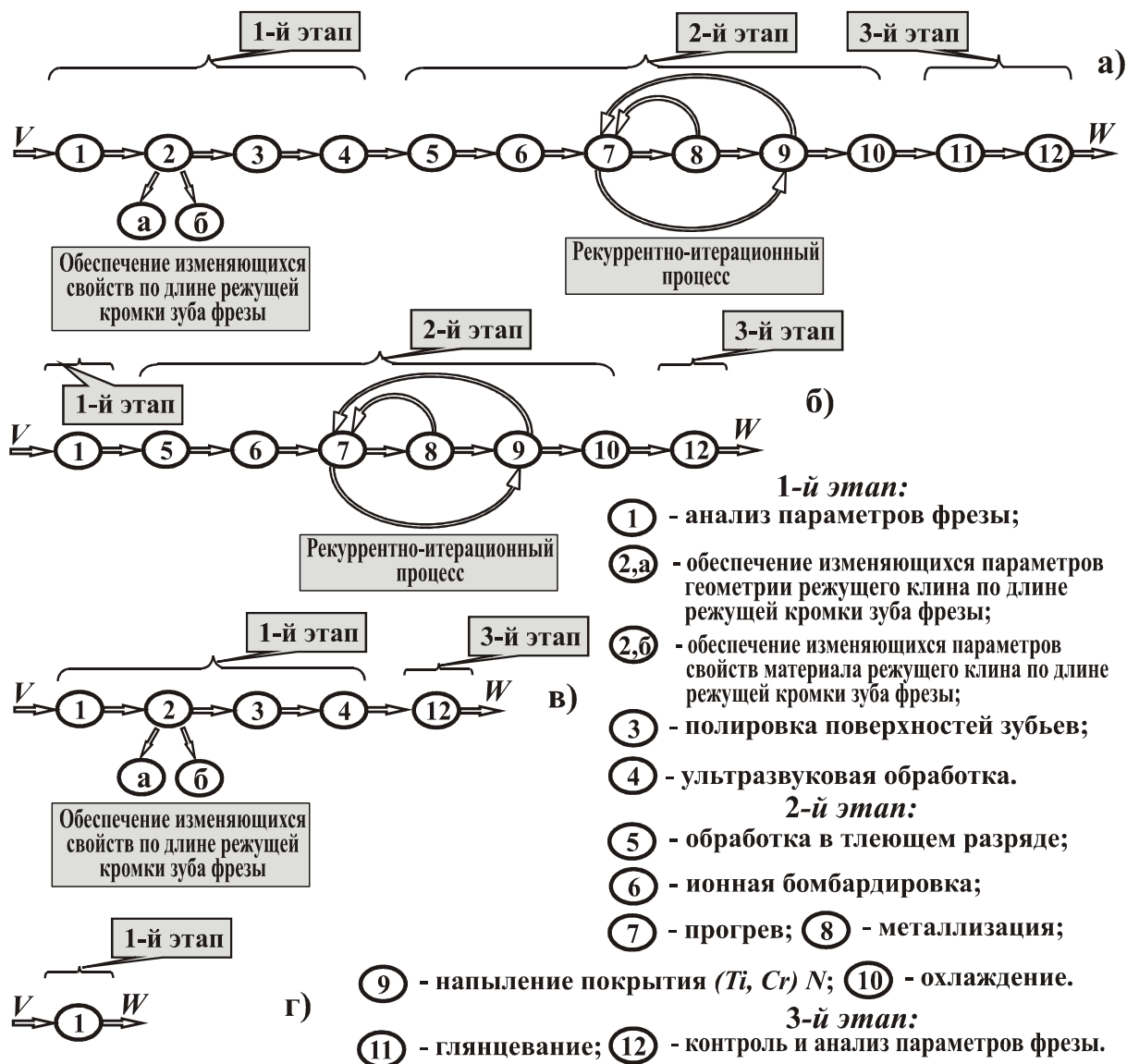


Рис. 3. Варианты структур технологических процессов дополнительной обработки фрез: а – предлагаемая полная структура; б – процесс только с напылением покрытия ( $Ti, Cr$ )  $N$ ; в – предлагаемая не полная структура; г – процесс анализа параметров фрезы.

предлагаемая полная структура; рис.3,б – процесс только с напылением покрытия ( $Ti, Cr$ )  $N$ ; рис.3,в – предлагаемая неполная структура; г – процесс анализа параметров фрезы.



Разработанный 1-й структурный вариант технологического процесса имеет полную структуру и состоит из трех этапов: технологические операции до нанесения покрытия (на этом этапе выполняется обеспечение изменяющихся свойств по длине режущей кромки в зависимости от особенностей действия скорости резания); технологические операции по нанесению специальных покрытий (покрытие принято многослойное композиционное ( $Ti$ ,  $Cr$ )  $N$ , толщина покрытия 12 мкм, материал фрезы быстрорежущая сталь Р6М5 для обрабатываемого материала сталь 45); технологические операции после нанесения покрытия. Последовательность операций этого технологического процесса приведена на рис. 3,а. В этом технологическом процессе производится следующее:

- выполнение изменяющейся геометрии режущего клина по длине режущей кромки фрезы, включая радиус закругления режущего клина;
- обеспечение изменяющихся свойств материала режущей кромки по ее длине.

2-й структурный вариант технологического процесса включает операции аналогичные 2-му этапу 1-го структурного варианта технологического процесса и операции 1 и 2, соответственно 2-го и 3-го этапов, связанных с анализом параметров фрезы. Последовательность операций этого технологического процесса приведена на рис. 3,б. В данном случае покрытие нанесено аналогичное предыдущему технологическому процессу, а именно, покрытие многослойное композиционное ( $Ti$ ,  $Cr$ )  $N$ , толщина покрытия 12 мкм, материал фрезы быстрорежущая сталь Р6М5.

Предлагаемый 3-й структурный вариант технологического процесса (рис. 3,в) включает операции аналогичные 1-му этапу 1-го структурного варианта технологического процесса и операцию 12 из 3-го этапа, предназначенную для анализа полученных параметров фрезы. С помощью структуры этого технологического процесса проведена специальная обработка режущих кромок, включающая следующее:

- выполнение изменяющейся геометрии режущего клина по длине режущей кромки фрезы, включая радиус закругления режущего клина;
- обеспечение изменяющихся свойств материала режущей кромки по ее длине.



Рис. 4. Общий вид профилограф-профилометра модели 252 (рис. 4) со специальным приспособлением для измерения параметров шероховатости поверхностей фрез

стью:

В соответствии с 4-м структурным вариантом технологического процесса (рис. 3,г) выполнен только анализ параметров фрезы. Материал фрез быстрорежущая сталь Р6М5, шероховатость передней поверхности зуба фрезы  $R_a = 0,64$  мкм, шероховатость задней поверхности зуба фрезы  $R_a = 0,32$  мкм. Параметры шероховатости определялись на профилограф-профилометре модели 252 (рис. 4) с применением специального приспособления.

Выполненные исследования [5] позволил установить, что наиболее целесообразно изменение радиуса закругления режущего клина по длине режущей кромки зуба выполнять в соответствии со следующей зависимо-

$$r_x = r_{\min} + \frac{(R_x - R_{\min})(r_{\max} - r_{\min})}{(R_{\max} - R_{\min})}; \quad (1)$$

где  $r_x$ ,  $r_{\min}$ ,  $r_{\max}$  – текущий, минимальный и максимальный радиус закругления режущего клина, соответственно.

На основании выражения (1) выполнено обеспечение изменяющихся параметров радиуса режущего клина по длине режущей кромки зубьев фрез.

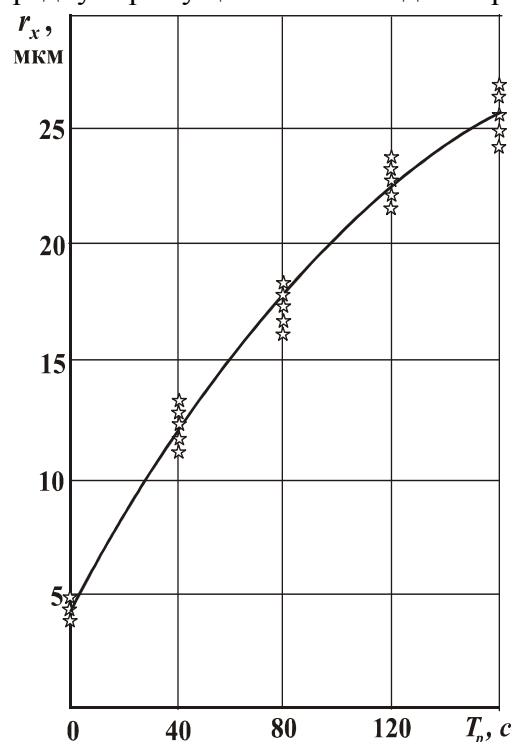


Рис. 5. Влияние длительности пневмоструйной обработки режущей кромки фрезы из стали Р6М5 на изменение радиуса режущего клина



Рис. 6. Общий вид установки для пневмоструйной обработки фрез

В работе проведены экспериментальные исследования по установлению зависимости длительности пневмоструйной обработки на изменение радиуса режущего клина зуба фрезы. На рис. 5 представлена зависимость влияния длительности пневмоструйной обработки режущей кромки фрезы из стали Р6М5 на изменение радиуса режущего клина (абразив F60, давление воздуха 0,6 МПа, диаметр сопла 3,0 мм, расстояние от сопла до кромки фрезы 15 мм. Эти исследования выполнены для определения параметров дальнейшего обеспечения изменяющихся параметров радиуса режущего клина по длине режущей кромки фрезы.

Можно отметить, что применение пневмоструйной обработки для обработки режущих кромок фрезы обеспечивает следующее:

- изменение радиуса режущего клина по длине режущей кромки зуба фрезы;
- наклеп поверхностного слоя режущего клина режущей кромки зуба фрезы;
- предварительную тренировку режущей кромки и поверхностей зуба фрезы перед началом использования инструмента.

Формирование изменяющихся свойства функциональных элементов выполнялись с помощью пневмоструйной обработки. При этом изменяющийся радиус закругления режущего клина по длине режущей кромки зуба фрезы обеспечен в соответствии с зависимостью (1) на основании графика рис. 5 с помощью установки для пневмоструйной обработки фрез (рис. 6). Кроме того, с помощью пневмоструйной установки выполнена тренировка и наклеп режущего клина по длине режущей кромки (главной и вспомогательной) зуба фрезы, а также выполнен наклеп поверхностных слоев передней и задней поверхности с изменяющимися параметрами от режущей кромки по поверхности. На рис. 6 показан общий вид установки для пневмоструйной обработки фрез. С помощью пневмоструйной установки выполнена обработка главных и вспомогательных режущих кромок, передних и задних поверхностей фрез.



Подготовка функциональных элементов фрезы к нанесению покрытий выполнена на базе комбинированных методов обработки (полировка, ультразвуковая обработка). Эти вопросы решались с помощью специального оборудования для подготовки фрез к нанесению покрытий [6, 7].



Рис. 7. Полировальный станок для выполнения операций полировки и глянцеваия поверхностей фрезы

Станок для операций полировки и глянцеваия (рис. 7) позволяет вести обработку поверхностей фрез при двух скоростях вращения 1500 и 3000 об/мин. В качестве инструмента применяли круг войлочный с применением специальных паст, а именно: для операции полирования зернистость абразива 24 мкм, а для операции глянцеваия зернистость абразива 12 мкм.

Обезжиривание и очистку проводили на установке для комплексной ультразвуковой обработки. В качестве источника колебаний применена установка ультразвуковых колебаний УЗГ 3-4 и магнитострикционные преобразователи ПМС 2,5-18,

смонтированные на специальных ваннах.

Магнитострикционный преобразователь ПМС-2,5-18 предназначен для ультразвуковой очистки и обезжиривания деталей, а также для других технологических процессов с воздействием ультразвука, протекающих в жидких средах (за исключением растворов кислот). Источником питания преобразователя ПМС-2,5-18 служит ультразвуковой генератор УЗГ3-4.

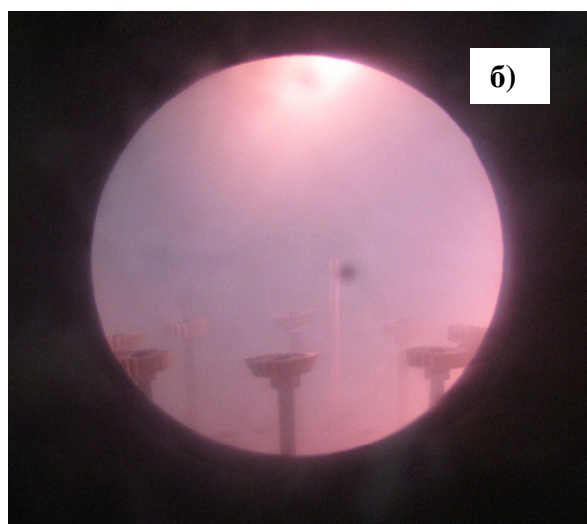


Рис. 8. Ионно-плазменная установка ННВ 6.6-И1:

**а** – общий вид;

**б** – вид в специальное смотровое окно в вакуумную камеру в процессе ионной бомбардировки поверхностей фрез

Ультразвуковая обработки фрез выполнялась в специальных ваннах с приме-

нием следующего состава раствора: тринатрийфосфат технический – 30 ... 40 г/л; сода кальцинированная техническая 20 ... 30 г/л; поверхностно активное вещество ОП-7 или ОП-10 – 3,5 г/л. Температура раствора 50 ... 60 °С.

Затем производилась промывка фрез проточной водой и выполнялась его обработка бензином «Галоша» (БР-1) ГОСТ 443-76, после этого промывка в спирте этиловом.

Процесс консервации изменяющихся параметров свойств выполнен с помощью специального ионно-плазменного покрытия ( $Ti$ ,  $Cr$ )  $N$ . Нанесение покрытия выполнялось с помощью вакуумной ионно-плазменной установки ННВ 6.6-И1 [6] (рис. 8). На рис. 8 представлен общий вид вакуумной ионно-плазменной установки для нанесения покрытий.

Толщина напыляемого на инструмент покрытия ( $Ti$ ,  $Cr$ )  $N$  во всех случаях составила 5 ... 8 мкм. Значения толщины покрытия поверхностей инструмента определены с помощью переносного толщиномера К-5.

Обработка функциональных элементов фрезы после нанесения композиционного покрытия выполнялась с реализацией операции - глянецование покрытия до параметра шероховатости  $R_a = 0,04 \dots 0,05$  мкм.

### 3. Методика экспериментальных исследований по определению стойкости фрез *Обрабатывающий инструмент и обрабатываемый материал*

Для проведения экспериментальных исследований по установлению стойкости фрез были подготовлены 4-е группы инструментов, фрезы каждой из которых обработаны в соответствии с приведенными на рис. 3 структурами технологических процес-

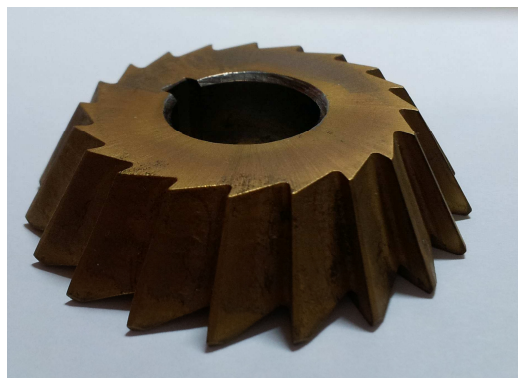


Рис. 9. Общий вид фрезы с углом наклона режущих кромок зубьев 60°

сов. На рис. 9 приведен общий вид фрез, которые применялись в процессе проведения экспериментальных исследований. В табл. 1 приведены основные параметры испытываемых фрез. Материал режущей части фрезы быстрорежущая сталь Р6М5.

Для установления параметров работы фрез, обработанных в соответствии с предлагаемыми 4-мя вариантами структуры технологических процессов, выполнены сравнительные экспериментальные исследования по определению стойкости фрез.

Количество испытываемых фрез определено в соответствии с основными принципами планирования эксперимента [8], в качестве параметра совокупности при эксперименте принято значение величины максимального износа задней поверхности зуба в заданный момент времени. Здесь можно отметить, что, так как скорость резания по длине режущей кромки зуба переменная, соответственно износ задней поверхности зуба по длине режущей кромки также переменный. При этом максимальное значение износа задней поверхности зуба находится в зоне кромки с максимальным радиусом от оси вращения фрезы.

Планирование эксперимента выполнено в соответствии с положениями планирования эксперимента с применением принципов математической статистики. С помощью этих положений можно определить количество испытываемых в эксперименте фрез (размер выборки) в условиях неопределенности. В качестве оценки параметра совокупности принято значение величины максимального износа задней поверхности зуба в заданный момент времени.

Таблица 1. Основные параметры испытываемых фрез из стали Р6М5

Группы фрез	Структура технологического процесса (рис. 3)	Радиус режущего клина по длине кромки, мкм	Микротвердость материала задней поверхности основы HV, МПа	Наличие покрытия PVD; микротвердость HV, ГПа	Длина/ угол наклона главной реж. кромки мм/град.	Коэф. неравномерности скорости резания, $k_v$
1-я группа	а	5 ... 20	7140 ... 8550	(Ti, Cr) N $H_v = 20$	13,85/60 <sup>0</sup>	1,35
2-я группа	б	5	7100	(Ti, Cr) N $H_v = 20$	13,85/60 <sup>0</sup>	1,35
3-я группа	в	5 ... 20	7140 ... 8550	-	13,85/60 <sup>0</sup>	1,35
4-я группа	г	5	7100	-	13,85/60 <sup>0</sup>	1,35

Применение методов математической статистики к обработке наблюдений будем производить по выборочному среднему и дисперсии выборки. Так математическое ожидание случайной величины есть среднее арифметическое элементов выборки:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / n ,$$

где  $n$  – количество наблюдений в выборке.

В нашем случае планируется определить количество испытываемых фрез на основании проведения эксперимента первой фрезы каждой группы фрез, а именно фрез со следующими номерами: №1, №6, №11, №16. При этом количество наблюдений проводилось для каждого зуба фрезы, а именно в нашем случае для фрезы имеющей 20 зубьев – 20 наблюдений по определению величины максимального износа задней поверхности зуба (находящегося у периферии каждого зуба) в заданный момент времени. Причем в нашем случае эти наблюдения велись через каждые 30 минут. Величина предельного износа задней поверхности зубьев фрезы по максимальной величине у периферии фрезы принята величина  $h_3 = 0,4$  мм [1]. После наступления этого события для всех зубьев фрезы экспериментальные исследования завершались. При этом значения средних квадратических отклонений величины максимального износа задней поверхности зубьев каждый раз определялись соответственно через каждые 30 минут испытаний. Максимальные и минимальные значения этих величин приведены в табл. 2.

Выборочное среднее квадратическое отклонение значений величин максимального износа задней поверхности зубьев (20 зубьев фрезы) определяется по следующей формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}},$$

где  $X_i$  – значение величины максимального износа задней поверхности  $i$  – го зуба фрезы ( $h_3$ ), мм;

$\overline{X}$  – среднее значение величины максимального износа задней поверхности для 20 зубьев фрезы, мм;

$n$  – количество наблюдений по определению максимального износа задней поверхности зубьев ( $n = 20$  при 20 зубьях фрезы).

Несмещенное выборочное среднее квадратическое отклонение значений величин максимального износа задней поверхности зубьев (20 зубьев фрезы) определяется по следующей формуле [8]

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \overline{X})^2}{n - 1}}.$$

Следует отметить, что при данных экспериментальных исследованиях принят доверительный интервал попадания величины максимального износа задней поверхности со степенью достоверности 95% и ошибкой первого рода или риском не включения параметра совокупности в доверительный интервал  $\alpha = 0,05$ .

Таблица 2. Расчетные параметры по определению количества фрез

Номер фрезы	Минимальное среднее квадратическое отклонение, $S_{min}$	Максимальное среднее квадратическое отклонение, $S_{max}$	Кол-во степеней свобод (количество зубьев), $z$	Минимальное количество фрез, $n_{min}$	Максимальное количество фрез, $n_{max}$	Принятое значение фрез $n_1$
1	0,0367	0,0421	20	3,353	4,097	5
6	0,0356	0,0443	20	2,214	4,429	5
11	0,0311	0,0449	20	1,690	4,522	5
16	0,0372	0,0452	20	2,418	4,538	5

Учитывая, что принят доверительный интервал со степенью достоверности 95%  $\gamma = 0,95$  вероятность в распределении Стьюдента определяется по следующей формуле

$$S_n(f_c) = \frac{\gamma + 1}{2} = \frac{0,95 + 1}{2} = 0,975.$$

В соответствии с работой [8] определяем величину аргумента функции Стьюдента при числе степеней свободы  $z=20$  (число измерений величины износа по задней поверхности на зубьях фрезы), которая будет следующая  $f_c = 2,09$ .

Для определения количества испытываемых фрез для каждой группы с учетом минимального и максимального значений среднего квадратического отклонения (табл. 2) воспользуемся выражением:

$$n_1 = \frac{f_c^2 S^2 + \alpha^2}{\alpha^2}, \quad (2)$$

где  $n_1$  – количество фрез в каждой группе для проведения экспериментальных исследований со степенью достоверности 95%;

$f_c$  – аргумент функции Стьюдента [8];

$\alpha$  – ошибка первого рода или риск не включения параметра совокупности в доверительный интервал ( $\alpha = 0,05$ ).

Подставляя соответствующие параметры в формуле 2 результаты вычислений представляем в табл. 2. Выполнив анализ полученных данных, принимаем для всех



случаев испытаний количество фрез равное пяти.

Для проведения экспериментов используем заготовки квадратного сечения с размером сторон 140 мм и длиной 285 мм, изготовленных из проката стали 45, твердостью  $HV = 200$ . Предварительно заготовки были подготовлены для проведения экспериментальных исследований, а именно обработаны боковые плоскости заготовок и изготовлены специальные пазы для крепления их на столе фрезерного станка (рис. 10). В качестве СОТС применяем – «Унизор-М».



Рис. 10. Заготовки для выполнения экспериментальных исследований:

а – подготовка плоскостей заготовки;

б – изготовление пазов для крепления заготовки на станке

### ***Применяемое оборудование и режимы обработки***

Экспериментальные исследования по определению стойкости групп фрез выполнялись с использованием универсально-фрезерного станка модели 6М76П (рис. 11).



Рис. 11. Общий вид процесса обработки фрезами из быстрорежущей стали Р6М5 заготовки из стали 45: а – начальный процесс обработки фрезой; б – процесс обработки заготовки в период потери стойкости фрезы

Данный станок предназначен для горизонтального фрезерования различных изделий сравнительно небольших размеров, а также для выполнения различных сложных инструментальных работ.

Для данного фрезерного станка, движение резания – вращение вертикального шпинделя. В качестве подачи использовалась продольное перемещение стола с обрабатываемой заготовкой.

В процессе экспериментальных исследований обрабатываемая заготовка была установлена непосредственно на столе станка с помощью креплений и специальных пазов, которые предварительно были изготовлены на заготовке. Режущий инструмент закреплялся на вертикальном шпинделе станка с помощью специальных оправок.

При выполнении экспериментальных исследований во всех случаях применялись одинаковые режимы резания со следующими параметрами: частота вращения шпинделя  $n_o = 210$  об/мин, подача продольного стола  $s = 74$  мм/мин, глубина резания  $t = 1$  мм.

### **Метод проведения экспериментальных исследований**

Экспериментальные исследования по определению стойкости фрез выполнялись для четырех групп фрез (по 5 фрез в каждой группе). Каждая группа фрез дополнительно подвергалась обработке в соответствии с процессами, структура которых представлена на рис. 3.

Экспериментальные исследования базируются на идентичности проведения процесса фрезерования группами фрез заготовки с одинаковыми режимами резания и условиями. Здесь применяется метод сравнительных испытаний четырех групп фрез по критерию их стойкости. В качестве параметра стойкости принят износ задней поверхности зуба фрезы. Предельная величина износа задней поверхности принята  $h_3 = 0,4$  мм



[1] для фрез из быстрорежущей стали Р6М5 данной геометрии. После наступления этого события на задней поверхности всех зубьев для каждой фрезы экспериментальные исследования прекращаются.

Для каждой группы фрез последовательность выполнения экспериментальных исследований следующая:

1. Предварительно выполняются испытания первой фрезы из каждой группы фрез и через каждые 30 минут производятся замеры величины износа задней поверхности зубьев на инструментальном микроскопе (рис. 12).

2. Результаты испытаний заносятся в специальную таблицу и выполняются расчеты, на основании выражения (2), по определению количества фрез в группе необходимых для выполнения эксперимента с достоверностью 95% и ошибкой первого рода или риском не включения параметра совокупности в доверительный интервал  $\alpha = 0,05$ .

3. Выполняются экспериментальные исследования по определению стойкости фрез для оставшихся фрез данной группы. Через 30 минут выполняются замеры величин износа задних поверхностей фрез, результаты исследований заносятся в специальные таблицы.

4. По результатам экспериментов строятся графики зависимости величины износа задней поверхности фрез каждой группы от времени испытаний.

5. Выполняется сравнение стойкости фрез каждой группы по предельному значению износа задней поверхности  $h_3 = 0,4$  мм [1] и делаются соответствующие выводы.

### Полученные результаты

На рис. 13 показана кинетика изнашивания задней поверхности фрез из быстрорежущей стали Р6М5 при обработке стали 45 (HB=200, СОТС – «Унизор-М»). Здесь

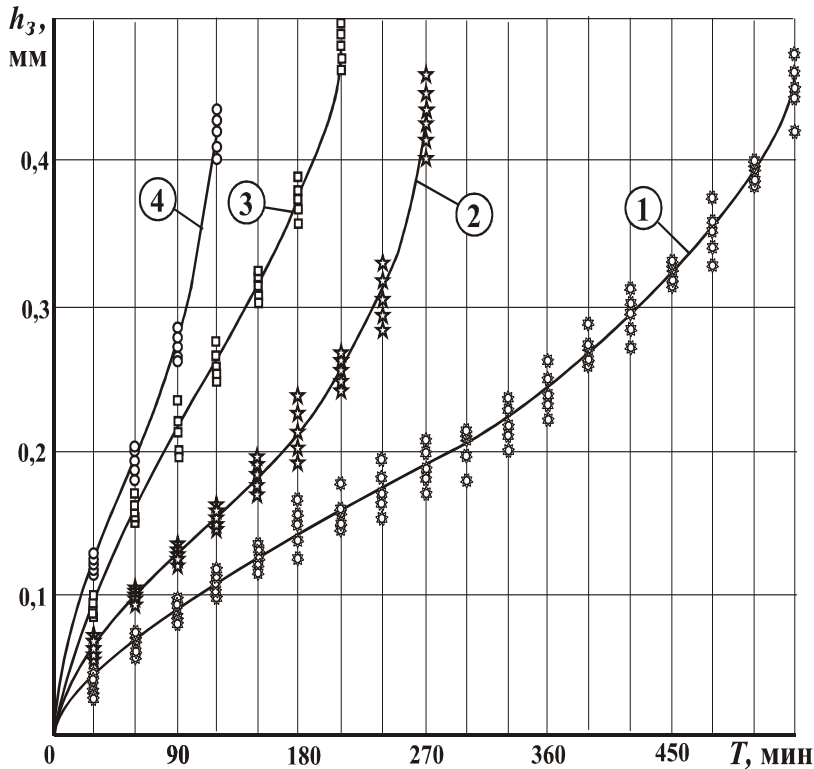


Рис. 13. Кинетика изнашивания задней поверхности фрез из быстрорежущей стали Р6М5 при обработке стали 45:

1 – фрезы обработаны по технологии рис. 3,а; 2 – фрезы обработаны по технологии рис. 3,б; 3 – фрезы обработаны по технологии рис. 3,в; 4 – фрезы обработаны по технологии рис. 3,г

$$k_{14} = \frac{T_1}{T_4} = 4,30 ; k_{13} = \frac{T_1}{T_3} = 2,68 ; k_{12} = \frac{T_1}{T_2} = 1,92 ; k_{24} = \frac{T_2}{T_4} = 2,24 ; k_{34} = \frac{T_3}{T_4} = 1,6 ,$$

где  $k_{ij}$  – коэффициент повышения стойкости  $i$ -й группы фрез относительно  $j$ -й группы;  $T_i$  – стойкость  $i$ -й группы фрез при значении износа задней поверхности зубьев фрезы  $h_3 = 0,4$  мм (значение стойкости определяется по графикам рис. 13).

Выполненные экспериментальные исследования по определению стойкости работы фрез показали следующее:

- стойкость фрез с изменяющимися параметрами свойств по длине режущих кромок зубьев и специальными покрытиями ( $Ti, Cr$ )  $N$  в 4,3 раза выше (график 1), чем стойкость обычных стандартных фрез (график 4);

- стойкость фрез с изменяющимися параметрами свойств по длине режущих кромок зубьев и специальными покрытиями ( $Ti, Cr$ )  $N$  в 2,68 раза выше (график 1), чем стойкость фрез с изменяющимися параметрами свойств по длине режущих кромок зубьев без покрытий (график 3);

представлено следующее: график 1 для фрез, обработанных в соответствии со структурой технологии рис. 3,а (предлагаемая полная структура); график 2 для фрез, обработанных в соответствии со структурой технологии рис. 3,б (процесс только с напылением покрытия ( $Ti, Cr$ )  $N$ ); график 3 для фрез, обработанных в соответствии со структурой технологии рис. 3,в (предлагаемая не полная структура); график 4 для фрез без дополнительной обработки рис. 3,г (включающий только процесс анализа параметров фрез).

Анализируя графики рис. 13 можно отметить, что условно, при значении износа задней поверхности зубьев фрезы  $h_3 = 0,4$  мм коэффициенты увеличения стойкости исследуемых групп фрез следующие:

- стойкость фрез с изменяющимися параметрами свойств по длине режущих кромок зубьев и специальными покрытиями ( $Ti, Cr$ )  $N$  в 1,92 раза выше (график 1), чем стойкость обычных стандартных фрез с покрытиями ( $Ti, Cr$ )  $N$  (график 2);
- стойкость обычных стандартных фрез с покрытиями ( $Ti, Cr$ )  $N$  (график 2) в 2,24 раза выше (график 2), чем стойкость обычных стандартных фрез (график 4);
- стойкость фрез с изменяющимися параметрами свойств по длине режущих кромок зубьев без покрытий в 1,6 раза выше (график 3), чем стойкость обычных стандартных фрез (график 4).

#### 4. Выводы и основные рекомендации

Выполненный анализ особенностей эксплуатации фрез с переменными параметрами скоростей резания по длине режущих кромок зубьев позволил установить, что износ режущих кромок зубьев по их длине происходит неравномерно, а именно с максимальным износом в зонах максимальных скоростей резания. При этом режущие кромки зубьев фрез работают не с полным потенциалом их возможностей, что снижает технико-экономические показатели эксплуатации таких фрез.

На основании выполненных исследований в данной работе разработан функционально-ориентированный технологический процесс и обеспечение для реализации изменяющихся свойств режущих кромок зубьев по их длине в зависимости от особенностей их эксплуатации (изменяющихся скоростей резания). А также разработано технологическое обеспечение, позволяющее повысить стойкость фрез и сохранить изменяющиеся свойства режущих кромок по их длине.

Для установления эффективности предложенных мероприятий в работе разработана методика сравнительных испытаний нескольких групп фрез обработанных в соответствии с разработанными структурами технологических процессов. Проведенные сравнительные экспериментальные исследования по определению стойкости фрез позволили установить, что стойкость фрез, изготовленных в соответствии с предлагаемой технологией, выше, чем у стандартных фрез в 2,68 раза при применении специальных вакуумных ионно-плазменных покрытий и выше в 1,6 раза без применения покрытий.

**Список литературы:** 1. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник / В.И. Баранчиков, А.В. Жаринов, Н.Д. Юдина и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с. 2. Краткий справочник металлиста / Под общ. ред. П.Н. Орлова, Е.А. Скороходова. – М.: Машиностроение, 1986. – 960 с. 3. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, 1987, - 846 с. 4. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с. – ISBN 5-94275-049-1. 5. Боровский Г.В., Григорьев С.Н., Маслов А.Р. Справочник инструментальщика / Под общ. ред. А.Р. Маслова. – М.: Машиностроение, 2005. – 464 с. – ISBN 5-217-03284-7. 6. Аль-Судани Т.Т., Михайлов Д.А., Михайлова Е.А., Михайлов А.Н., Грубка Р.М. Технологическое обеспечение повышения стойкости фрез с переменными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев / Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2012. Вип. 1, 2 (43). С. 24 - 36. 7. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с. 8. Чикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента. - М.: Мир, 1967. – 406 с.



## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ВИБРАЦИОННОЙ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ

Анкудимов Ю.П., Фоменко Е.С.

ТПИ (филиал ДГТУ в г. Таганроге), г. Таганрог, Россия

Тел. 8 (961) 31-00-921; E-mail: tm\_tfdgtu@mail.com

**Abstract:** *The article describes method of investigation of latent energy accumulation during the vibrational processing. The article presents schemes of supplying the additional working energy in the treatment zone during the vibrational processing.*

**Key words:** *latent energy, vibrational processing, surface layer, quality, impulse response*

Вибрационная обработка (ВиО) относится к методам металлообработки свободными гранулированными средами с заданными свойствами. Она позволяет воздействовать на обрабатываемую поверхность механическими ударами гранул рабочей среды и низкочастотными колебаниями заданной интенсивности (в диапазоне частот 15-50 Гц). В процессе ВиО в поверхностный слой (ПС) детали «закачивается» энергия. При этом решающая роль в механизме запасания энергии деформации принадлежит линейным дефектам кристаллической решетки – дислокациям. Наличие дислокаций в кристаллической структуре металла проявляет себя через увеличение внутренней энергии системы, которую называют запасенной, скрытой, поглощенной или латентной энергией деформирования. Скрытая энергия деформации является параметром, определяющим свойства ПС обработанной детали, так как трансформация свойств этих слоев относительно исходных является результатом изменения энергии межатомных или межмолекулярных связей в пределах данного объема, то есть результатом поглощения или выделения энергии. Технологические и механические показатели, такие как остаточные напряжения, твердость, износостойкость и т.п., характеризующие данное состояние, являются параметрами, отражающими уровень этих связей [1]. С другой стороны, по изменению внутренней энергии системы можно судить о состоянии ПС обрабатываемой детали.

В процессе ВиО детали свободно загружаются или устанавливаются в рабочую камеру, совершающую гармонические колебания на упругих элементах под действием возмущающей силы, создаваемой вращающимися дебалансами. В рабочую камеру помещается также обрабатывающая среда и подается технологическая жидкость. Под действием колебаний стенок камеры частицы обрабатывающей среды и детали совершают «быстрые» периодические перемещения в возникающих динамических зазорах и «медленное» циркуляционное движение за счет эффекта вибротранспортирования. Первое движение обеспечивает ударное воздействие частиц рабочей среды на поверхность деталей, что ведет к поверхностно-пластическому деформированию материала детали, его диспергированию и микрорезанию и, следовательно, накоплению внутренней энергии, а второе - равномерное распределение следов динамического воздействия по обрабатываемой поверхности с получением однородности ее свойств и показателей качества. Технологическая жидкость совершает циркуляционное и пульсирующее движение в зазорах между частицами рабочей среды. Особенности кинематики этих движений, а также состав и свойства рабочих сред и технологических жидкостей во многом определяют сущность и технологические возможности вибрационной обработки, которые широко апробированы – от доделочно-зачистных до отделочно-упрочняющих операций [2, 3].

При этом известно, что основное влияние на количество запасенной энергии оказывает механическая энергия. Однако интерес представляет и изучение влияния других видов энергии на общее энергетическое состояние ПС. Для этого на основе изучения основных закономерностей комбинированных методов металлообработки разработан ряд схем подвода дополнительной рабочей энергии различной природы в зону контакта рабочей чреды с деталями при вибрационной обработке.

Данные разработки являются основой для комплексного повышения качества ПС обрабатываемых деталей и создания конструкций вибрационных станков и дополнительных устройств к ним, позволяющих существенно расширить технологические возможности вибрационной обработки.

На рисунке представлены некоторые схемы подвода дополнительной тепловой, химической и электрической энергии в рабочую зону при ВиО.

Применение повышенных температур (до 120-400°C) в процессе ВиО (схемы а,б,в) позволяет осуществлять этим методом ряд новых технологических операций.

Вибрационная механотермическая обработка (ВиМТО), осуществляемая при температуре  $0,2 - 0,5 T_{пл}$  материала обрабатываемых деталей, позволяет интенсифицировать упрочняющий эффект вибрационной обработки за счет совмещения вибронаклепа с низкотемпературным отпуском и старением ряда сплавов, а также наносить в процессе обработки металлические антикоррозионные покрытия (цинк, алюминий), неметаллические антифрикционные покрытия (графит, дисульфид молибдена) и другие материалы.

Использование энергии химических реакций: при вибрационной механохимической обработке (ВиМХО) способствует более интенсивному протеканию физико-химических процессов на поверхности обрабатываемой детали.

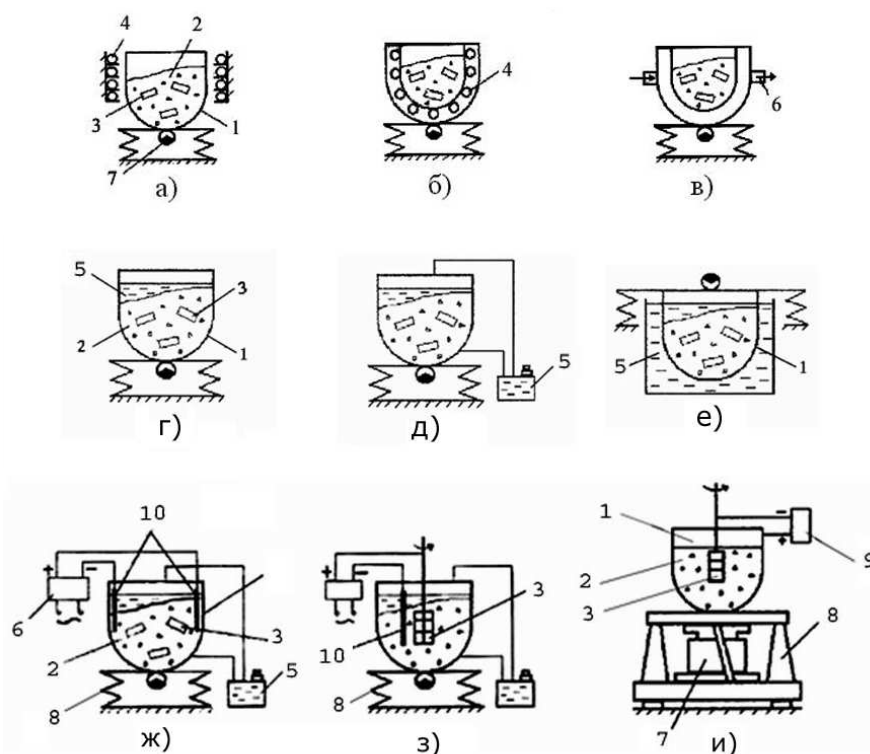


Рис.1. Схемы подвода дополнительной рабочей энергии в зону обработки при ВиО: а, б, в – тепловой; г, д, е – химической; ж, з, и – электрической

1 - рабочая камера; 2 - обрабатывающая среда; 3 – детали; 4 – нагреватели;  
5 – технологическая жидкость; 6 – теплоноситель; 7 – вибратор; 8 – упругие элементы; 9 – источник электрического тока; 10 – электроды

Ввод в рабочую камеру жидких химических компонентов для активации механохимических реакций нанесения металлических и оксидных пленок, интенсификации зачистных, отделочных, упрочняющих и других финишных операций осуществляется различными способами (схемы–г, д, е). Разработанные технологии механохимической обработки позволяют получать декоративные поверхности деталей из черных и цветных металлов, с низкой шероховатостью и высокой отражательной способностью, оксидировать детали из алюминия и его сплавов, покрывать цинком стальные поверхности.

Интересные возможности для интенсификации ВиО открывает использование энергии электрического поля, которое в зависимости от своих параметров вызывает электрохимические или электроэрозионные процессы в зоне контакта рабочей среды с поверхностью обрабатываемых деталей.

Виброабразивная электрохимическая обработка (ВиАЭХО) (схемы–ж,з), характеризуется совмещением во времени и в пространстве механического разрушения и электрохимического растворения поверхностного слоя материала детали. В качестве рабочей среды используются гранулы абразивного наполнителя – бой шлифовальных кругов, фарфора, керамики, специальных абразивов для галтовки и вибрационной обработки. Процесс осуществляется с непрерывным прокачиванием электролита, в качестве которого используются растворы на основе нейтральных солей. Наложение электрохимического воздействия на процесс ВиО повышает интенсивность съема материала в 6-10 раз.

Для получения качественной поверхности при ВиАЭХО особое значение имеет соотношение механической и электрохимической составляющих съема материала. Образующиеся при анодном растворении пассивные пленки, обуславливают преимущественное растворение микровыступов и сглаживание микронеровностей.

Вибрационная электрофизическая обработка (ВиЭФО) (схема и) использует совокупность процессов электрической эрозии, ионного и контактного массопереноса, диффузии и наплавки материала рабочей среды на обрабатываемую поверхность. Особенностью ее является использование токопроводящих рабочих сред. Токопроводящие гранулы рабочей среды под воздействием вибрации периодически контактируют с обрабатываемой поверхностью, инициируя искро-дуговые разряды в микрозазорах, приводящие к преимущественному разрушению материала гранул (анод) и переносу его на деталь (катод) с образованием легированного слоя. В качестве легирующих элементов могут быть использованы также порошковые наполнители, что существенно расширяет диапазон получаемых свойств поверхности. В условиях высоких температур, скоростей нагрева и охлаждения поверхностные слои детали претерпевают физико-химические и структурные превращения, сопровождающиеся изменением исходных свойств материала детали.

Для исследования энергетических процессов, происходящих при обработке деталей с подводом дополнительных видов энергии, предлагается использование индивидуальных импульсных характеристик деталей. Известно, что каждый материал имеет свои импульсные характеристики, которые формируются из совокупности физических и энергетических показателей состояния. Для определения импульсных характеристик можно использовать широкополосную шумовую диаграмму [4]. Широкополосная звуковая диаграмма характеризует как микрогеометрию детали, ее целостность (что достижимо и при помощи ультразвукового исследования), так и ее энергетическое состояние, зависящее от физических показателей (электросопротивление, магнитная проницаемость и др.). То есть, широкополосное звуковое исследование является методом, интегрирующим в себе исследования

состояний вещества по отдельным параметрам, и соответственно, методом более точным и универсальным. Метод основан на воздействии на деталь тестовым сигналом, соответствующим квазигелому Гауссовскому шуму. Выходной сигнал фиксируется, коррелируется с исходным и в результате дает импульсную характеристику  $h(\tau)$  исследуемого объекта. Шумовая диаграмма детали может быть получена при воздействии на обрабатываемую деталь широкополосным шумом («белый шум»). Регистрирующее устройство при этом записывает шум, прошедший через деталь, далее из полученного акустического сигнала вычитается исходный, и в результате получается шумовая диаграмма самой детали.

Импульсную характеристику  $h(\lambda)$  можно использовать для непосредственного определения амплитудной характеристики, затухания и критических частот, кроме того, методами анализа Фурье с ее помощью получают частотные характеристики. Импульсную характеристику целесообразно получать в виде реакции  $y(t)$  исследуемой системы (обрабатываемой детали) на стационарный широкополосный шум  $x(t)$  (рис 2).



Рис. 2 Структурная схема корреляционного измерителя импульсной характеристики:  
 $x(t)$  – исходный тестовый сигнал;  
 $y(t)$  – тестовый сигнал, прошедший через исследуемый объект;  
 $x(t-\tau)$  – исходный тестовый сигнал с учетом задержки по времени;  
 $R(\tau)$  – импульсная характеристика исследуемого объекта.

Корреляционная связь между входным и выходным сигналами определяется при помощи соотношения Винера — Ли [5, 6]:

$$R_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau - \lambda) \cdot R_{xx}(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

где  $R_{xy}(\tau)$  - взаимная корреляционная функция;

$R_{xx}(\lambda)$  - автокорреляционная функция;

$\tau$  - временной сдвиг;

$x(t)$  – тестовый шум на входе;

$y(t)$  - тестовый шум на выходе.

Так как  $x(t)$  — реальный шум, имеющий равномерный спектр в полосе частот, значительно превышающей полосу пропускания исследуемой системы, то можно заменить автокорреляционную функцию шума в выражении (1) импульсной характеристикой – автокорреляционной функцией идеального “белого” шума  $\alpha\delta(\lambda)$ , где  $\delta(\lambda)$  – функция Дирака,  $\alpha$  – масштабный коэффициент, учитывающий некоторые погрешности системы генерации и приема сигнала. Тогда выражение 1 можно переписать в виде:

$$R_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau - \lambda) \cdot \alpha \cdot \delta(\lambda) d\lambda = \alpha \cdot h(\tau), \quad (2)$$

где  $\alpha$  – масштабный коэффициент;

$\delta(\lambda)$  – функция Дирака;

$h(\tau)$  – импульсная характеристика.

Как следует из выражения (2), взаимная корреляционная функция непосредственно дает выражение для оценки импульсной характеристики  $h(\lambda)$ . При этом влияние аддитивной компоненты  $h(t)$  (внешнего шума), которая не коррелирована с исходным сигналом  $x(t)$  оказывается настолько малым, что им можно пренебречь. Заметим, что подобные корреляционные измерения обычно можно выполнять во время нормальной обработки объекта. Снижение случайных помех, свойственное корреляционному методу, позволяет использовать весьма малые испытательные сигналы  $x(t)$ , не нарушающие по существу нормальный режим обработки объекта.

Для получения диагностически значимых признаков состояния обрабатываемой детали можно использовать критерий отклонения импульсной характеристики исследуемой системы в рабочем режиме от оценки  $h^*(t)$ . В качестве критерия отклонения контролируемой импульсной характеристики  $h(t)$  от оценки  $h^*(t)$  является среднеквадратический критерий различия сигналов [7], определяемый выражением:

$$F = \overline{[h(t) - h^*(t)]^2}, \quad (3)$$

где  $h^*(t)$  – средняя импульсная характеристика аналогичных деталей, подвергаемых соответствующей обработке при обучении диагностической системы.

Черта над величиной означает операцию усреднения по времени.

Таким образом, корреляционный метод измерения импульсной характеристики обрабатываемой детали даёт возможность получать результаты измерений высокой точности без прекращения обработки детали. Исследование разработанных схем подачи дополнительных видов энергии на обрабатываемую поверхность корреляционным методом позволит эффективнее управлять режимами процесса ВиО и дополнительным энергетическим воздействием. Это позволит создавать поверхности деталей с требуемыми показателями качества и эксплуатационными свойствами – микрогеометрией, твердостью, коррозионной стойкостью, низким коэффициентом трения и другими.

**Список литературы:** 1. Якубов, Ф. Я. Энергетические соотношения процесса механической обработки материалов – Ташкент, 1985. – 104 с. – С. 13-33. 2. Бабичев А.П., Бабичев И.А. Основы вибрационной технологии. /Ростов-на-Дону. Издательский центр ДГТУ, 1998. – 624с. 3. Yu.P. Ankudimov, A.P. Babichev, S.V. Milaeva, S.N. Hudoley, V.V. Ivanov. The Quality Rising of Precision Surface by Mecanic Chemical Vibratory Finishing 6<sup>th</sup> International Conference “Precision Surface Finishing and Deburring Technology – 2000” <<PSFDT – 2000>>, Saint-Petersburg 2000, 3 pages. 4. Сидько И.В., Фоменко Е.С. Диагностика состояния поверхностного слоя деталей при обработке поверхностным пластическим деформированием/ Машиностроение и инженерное образование, 2012, №2 – с.19 – 24. 5. Корн Г. Электронные аналоговые и аналого-цифровые вычислительные машины. М.: Мир. 1967. С. 239-245 6. Рубичев Н.А. Оценка и измерение искажений радиосигналов.–М.: Советское радио, 1978. С. 15-25. 7. Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения: Учеб. пособие для радиотехнич. спец. вузов/ под ред. В.И. Винокурова.–2-е изд., перераб. и доп.– М.: Высш шк., 1986.С. 289-292, 244-247.

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПОЛИМЕРАБРАЗИВНОЙ КОМПОЗИЦИИ

Байков А.В., Феник Л.Н., Корнейчук Т.С.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел. +38(062)3010805; E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

**Abstract:** *The technique of determining the elastic modulus polymer-abrasive composition.*

**Key words:** *Grinding wheel, polymer binder, an elastic modulus.*

Шлифовальные инструменты на эластичных связках характеризуются способностью алмазных зерен погружаться в связку под действием сил, действующих на них со стороны обрабатываемого материала. Погружение зерен в связку изменяет параметры рабочей поверхности шлифовального инструмента, в частности, характер распределения вершин зерен по высоте, и, соответственно, характер протекания процесса резания. Это, в свою очередь, определяет основные показатели процесса шлифования: производительность шлифования и качество обработанной поверхности.

Анализ перемещения вершины алмазного зерна связан с изучением напряженно – деформированного состояния эластичной связки в месте контакта ее с алмазным зерном, формируемого под действием на него сил резания [1, 2, 3]. Решение данной задачи как аналитическим методом, так и с применением численных методов решения, в частности, метода конечных элементов (МКЭ), требует информации о значении модуля упругости полимераабразивной композиции.

Для количественной оценки упругих характеристик полимераабразивной композиции использовалась зависимость между глубиной проникновения индентора в резину при измерении твердости по IHRD и модулем упругости, вычисляемая по формуле, приведенной в ГОСТ 20403-75.

$$\frac{F}{E} = 0,0038 r^{0,65} h^{1,35},$$

где  $F$  – сила, Н;

$E$  – модуль Юнга, МН/м<sup>2</sup>;

$r$  – радиус шара индентора, мм;

$h$  – глубина проникновения индентора, 0,01 мм.

Для определения твердости абразивных брусков было спроектировано и изготовлено специальное устройство, которое воспроизводит условия и методику измерения твердости в единицах IHRD (рис. 1).

Устройство представляет собой рычаг, установленный на оси через подшипники качения. На одном плече рычага установлены индентор и подвес для грузов, на другом – система противовесов для балансировки рычага. Диаметр шара индентора  $d=2,50\pm0,01$  мм, предварительная нагрузка настраивается в пределах  $294\pm20$  мН, общая нагрузка –  $5688\pm29$  мН. Измерение глубины погружения индентора проводилось индикатором 1МИГ ГОСТ 18833-73 сценой деления 0,001 мм.

Тарировка разработанного устройства проводилась методом измерения твердости эластичных абразивных шлифовальных кругов с известной твердостью IHRD=89,5-94,7. Результаты измерений приведены в таблице 1.

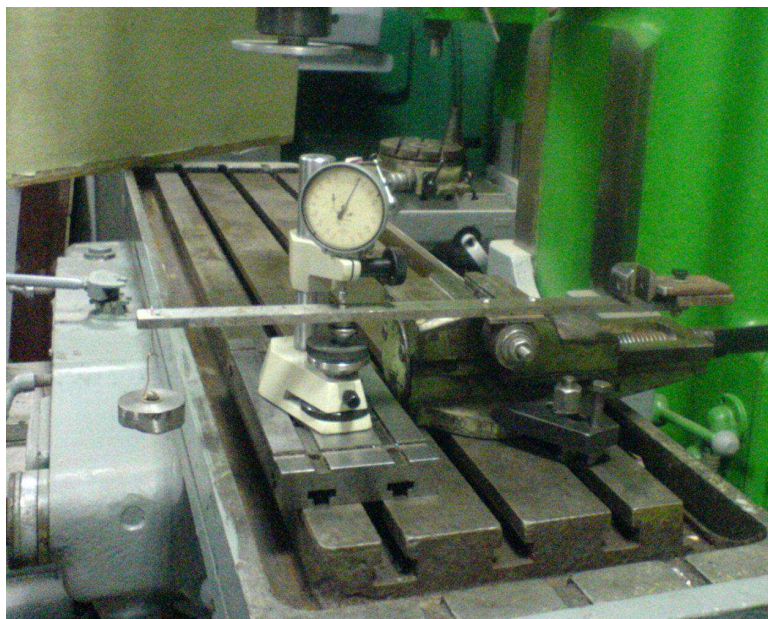


Рис. 1. Устройство для измерения твердости полимераабразивной композиции

Таблица 1 Оценка достоверности измерения твердости шлифовального круга

№ измерения	1	2	3	4	5	6	7	8
Глубина погружения индентора, мм	0,160	0,150	0,144	0,156	0,154	0,154	0,148	0,158

Среднее значение величины погружения индентора составляет  $\bar{h}=0,153$  мм при среднем квадратичном отклонении  $S=0,0035$  мм, что соответствует твердости шлифовального круга  $HRD=93,7$ . Таким образом, измеренное значение твердости шлифовального круга попадает в диапазон, указанный в его характеристике. Модуль упругости данного шлифовального круга равен  $E=195$  МПа.

Доверительный интервал для средних значений твердости полимераабразивной композиции определялся с использованием критерия Стьюдента и составил, при доверительной вероятности  $P=0,95$ ,  $\Delta E = \pm 4,2$  МПа.

Таким образом, разработанное устройство позволяет с достаточной точностью определять значения модуля упругости полимераразивной композиции.

**Список литературы:** 1. Напряженное состояние в зоне взаимодействия зерна со связкой круга / В. И. Лавриненко, В. Н. Кулаковский, Н. В. Ломашевская и [др.] // Сверхтвердые материалы. - 1995. - № 4. - С. 46-49. 2. Напряженно-деформированное состояние системы зерно-матрица алмазного инструмента при силовых возмущениях / М. М. Яхутлов, Б. С. Карамурзов, У. Д. Батыров [и др.] // Сверхтвердые материалы. - 2009. - № 6. - С. 81-88. 3. Лавриненко В. И. Напряжения, возникающие в зоне контакта зерно - связка с учетом наклона зерен / В. И. Лавриненко, В. Н. Кулаковский // Сверхтвердые материалы. - 2002. - № 4. - С. 71-75. 4. Галин Л. А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости / Л. А. Галин. - М. : Наука, 1980. - 304 с.

## ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ ПРОДУКТАМИ ЕЁ ХЛОРИРОВАНИЯ

Бахмацкая А.И., Плуготаренко Н.К.

ЮФУ, г. Таганрог, Россия

Тел./факс (8634)37-16-24; E-mail: plugotarenkonk@sfedu.ru

**Abstract:** *This work is devoted to the problem of contamination of tap water by the products of its chlorination. Having analyzed the technology of this method of disinfection, there are some ways of reducing the content of residual chlorine in drinking water. As a result, it is concluded that the method of water disinfection by chlorination has many defects, but it is impossible to reject it for the time being.*

**Key words:** *chlorination, carcinogens, drinking water, decontamination, organic matter.*

### Введение

В наше время одной из актуальных проблем является проблема загрязнения воды, которую мы пьем. Из-за загрязнений и низкого качества воды, прежде всего, страдает наше здоровье.

Обеззараживание питьевой воды производится с профилактической целью для предупреждения возможной передачи кишечных инфекций через воду и для уничтожения в воде, предназначенной для хозяйственно-питьевых целей, возбудителей заболеваний, передающихся водным путем. Обеззараживание питьевой воды может производиться химическими веществами — хлором, озоном, йодом, ионами серебра или физическими методами — кипячением, ультрафиолетовым облучением, ультразвуком, гамма-излучением. Повсеместно распространено обеззараживание питьевой воды хлором (хлорирование воды), которое осуществляется соединениями, содержащими активный хлор. На водопроводных станциях введение хлора в воду производится на специальных хлораторных установках.

Опасные последствия для здоровья населения имеет хлорирование питьевой воды, применяемое в СНГ для её обеззараживания. Дело в том, что хлорирование можно применять для хорошо очищенной воды, которая была на территории СНГ лет 100 назад и которой сейчас там практически нет. Наличие в подготовленной для хлорирования воде даже следов органических соединений после хлорирования приводит к появлению их хлорпроизводных, намного более токсичных, чем исходные органические вещества[1].

### Проблема хлорирования питьевой воды

Во всем мире давно признано, что хлорирование воды является источником загрязнения воды. Широкому распространению хлора в технологиях водоподготовки способствовала его эффективность при обеззараживании природных вод и способность консервировать уже очищенную воду длительное время. Кроме того, предварительное хлорирование воды позволяет снизить цветность воды, устранить её запах и привкус, уменьшить расход коагулянтов, а также поддерживать удовлетворительное санитарное состояние очистных сооружений станций водоподготовки.

У этого метода, наряду с несомненными преимуществами — например, такими как уничтожение возбудителей тифа, дизентерии холеры и чумы, — есть и серьезные недостатки. При взаимодействии хлора с содержащимися в обрабатываемой воде органическими веществами существует риск образования целой гаммы канцерогенных и токсических соединений (к примеру, четырёххлористого углерода, хлороформа) и даже при определённых условиях опаснейших ядов — диоксинов.



Наиболее важной проблемой данного метода является высокая активность хлора, он вступает в химические реакции со всеми органическими и неорганическими веществами, находящимися в воде. В воде из поверхностных источников (которые в основном являются источниками водозабора) находится огромное количество сложных органических веществ природного происхождения, а также в большинстве крупных промышленных городов в воду попадают с промышленными стоками красители, ПАВ, нефтепродукты, фенолы и другие опасные вещества.

При хлорировании воды, содержащей вышеприведенные вещества, образуются хлорсодержащие токсины, мутагенные и канцерогенные вещества и яды, в том числе диоксиды, а именно:

- хлороформ, обладающий канцерогенной активностью;
- дихлорбромметан, хлоридбромметан, трибромметан-обладающие мутагенными свойствами;
- 2,4,6-трихлорфенол, 2-хлорфенол, дихлорацетонитрил, хлоргиередин, полихлорированные бифенилы - являющиеся иммунотоксичными и канцерогенными веществами;
- тригалогенметаны - канцерогенные соединения хлора[2].

В данной работе с использованием программы «ChemicalWorkbench» был проведен расчет термодинамических параметров реакций образования канцерогенов из веществ, следовые количества которых могут находиться в воде. Результаты расчета некоторых из вышеперечисленных веществ приведены на рисунках 1 и 2. Изменение энергии Гиббса в диапазоне температур от 298 К до 323 К имеют отрицательные значения, что свидетельствует о том, что данные реакции протекают в стандартных условиях.

Thermodynamic reactions analysis								
Reactions	T [K]	$\Delta G(T)$ [kJ/mole]	$\Delta H(T)$ [kJ/mole]	$\Delta S(T)$ [J/(mole*K)]	$\Delta F(T)$ [J/(mole*K)]	$\Delta Cp(T)$ [J/(mole*K)]	$\log(Kp(T))$ [Pa <sup>-y</sup> ]	$\log(Kc(T))$ [(1/cm <sup>3</sup> ) <sup>-y</sup> ]
CH4+Cl2=CH3Cl+HCl	1 298.15	-103,112	-99,5852	11,8297	12,3165	0,209949	18,0645	18,0645
	2 308.15	-103,231	-99,582	11,8402	12,3009	0,42195	17,4983	17,4983
	3 318.15	-103,349	-99,5769	11,8567	12,2867	0,609056	16,9678	16,9678
	4 323.00	-103,407	-99,5737	11,8666	12,2803	0,691722	16,7223	16,7223

Рис. 1. Термодинамика реакции образования хлороформа

Следует заметить, что содержание веществ, являющихся реагентами в реакциях образования вредных, канцерогенных веществ, как правило, не превышает ПДК в водопроводной воде, а вот содержание продуктов этих реакций, напротив, зачастую превосходит их ПДК.

Было установлено, что операция хлорирования питьевой воды с целью её обеззараживания может повысить токсичность воды в 2-3 раза по сравнению с исходной. Эксперименты по лабораторному хлорированию воды с содержанием фенола 0,001 мг/л (1 ПДК) показали, что 0,001 мг фенола при определённых неблагоприятных условиях может превратиться в 0,002 мг 2,4,6-трихлорфенола:



Однако трихлорфенол в 2,5 раза токсичнее фенола (его ПДК - 0,0004 мг/л), да еще за счет присоединения хлора вдвое увеличилась масса "продукта" - итого вместо одного ПДК по фенолу до хлорирования (норма) мы имеем в питьевой воде пять

ПДК по трихлорфенолу после хлорирования [1].

Эти и другие хлорпроизводные соединения обладают канцерогенными

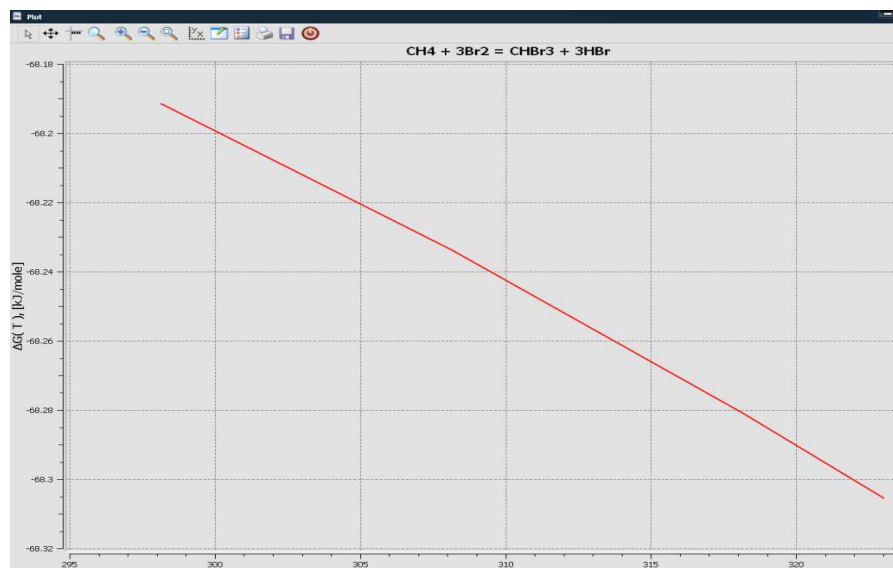


Рис.2. Зависимость энергии Гиббса реакции образования трибромметана от температуры

свойствами. Они не вызывают острого отравления, но зато последствий их хронического воздействия не удастся избежать никому. Это болезни органов дыхания, желудочно-кишечного тракта, аллергия, инфекционные заболевания, ухудшение состояния зубов, щитовидной железы и даже генетической системы.

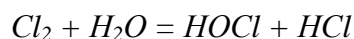
Исследования финских ученых выявили прямую зависимость между мутагенностью хлорированной воды и учащением злокачественных заболеваний. Результаты исследований таковы: употребление хлорированной воды сказывается особенно сильно на женщинах — почти в два раза увеличивается вероятность заболеть раком пищевода, в 1,5 раза — раком мочевого пузыря и прямой кишки, в 1,1 раза — раком молочной железы. Среди мужчин употребление хлорированной воды приводит к увеличению вероятности рака легких. И еще — хлорированная вода на 30 % ускоряет процесс старения [3]!

Очистка питьевой воды от хлора не решает проблемы, так как многие из опасных соединений образующиеся в воде в процессе ее хлорирования попадают в организм человека через кожу, во время мытья, приема ванн или посещения бассейна. По некоторым данным, часовое принятие ванны содержащей в избыточном количестве хлорированную воду соответствует десяти литрам выпитой хлорированной воды.

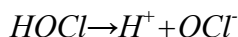
В настоящее время предельно допустимые концентрации для веществ, являющихся побочными продуктами хлорирования, установлены в различных развитых странах в пределах от 0,06 до 0,2 мг/л и соответствуют современным научным представлениям о степени их опасности для здоровья. Научная дискуссия о способности этих веществ вызывать рак и проявлять мутагенную активность, длившаяся в США в течение многих лет, завершилась признанием их безопасности в указанном выше диапазоне концентраций [4].

### Технология хлорирования питьевой воды

На сегодняшний день на многих станциях водоподготовки используют жидкий или газообразный хлор (в качестве альтернативы — гипохлорид натрия или кальция). Когда один из самых распространенных антисептиков попадает в воду, образуется смесь хлорноватистой и соляной кислоты, следует заметить, что данная реакция протекает в кислой среде:



Затем хлорноватистая кислота диссоциирует, образуя ионы гипохлорита, которые обладают бактерицидными свойствами:



Сумму  $Cl_2 + HOCl + OCl^-$  называют свободным активным хлором [5].

### **Способы снижения содержания хлора в питьевой воде**

Наиболее эффективный способ снижения количества хлора в воде использование фильтров из активированного угля, которые снижают его концентрацию. Активированный уголь обладает огромной адсорбирующей способностью (количество угля размером с горошину имеет активную поверхность равную половине футбольного поля). Свойства различных загрязнителей заставляют их закрепляться и задерживаться на адсорбенте (активированном угле).

Второй по значимости способ - продолжительное отстаивание и кипячение. В случае сильнозагрязненной воды продолжительное кипячение позволяет избавиться от большей части летучих и слаболетучих органических соединений и практически полностью - от хлора [6].

### **Заключение**

В данной работе рассмотрена проблема загрязнения водопроводной воды продуктами её хлорирования. Расчет термодинамических параметров возможных реакций образования в водопроводной воде канцерогенов, позволил сделать вывод о том, что данные реакции протекают при стандартных условиях. Безусловно, отказаться от хлорирования пока не представляется возможным, но следует ужесточить контроль над концентрациями веществ, которые являются, продуктами реакций образования канцерогенов на стадии водоподготовки. Так же следует обратить внимание, что ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая» не предусматривает контроля за ПДК опасных веществ, в том числе, в том числе образованных в результате взаимодействия активного хлора с различными органическими веществами, изначально содержащимися в воде в концентрациях не превышающих ПДК.

Пока хлорирование является наиболее проверенным и дешевым методом обеззараживания воды. В ближайшие 20 лет хлорирование воды будет применяться на большинстве станций водоподготовки всех российских водоканалов, постепенно вытесняясь альтернативными методами - озонированием и ультрафиолетом. Но они пока еще дороже хлорирования и не гарантируют от заражения уже обработанной воды после того, как она пошла по трубам. А потому отказываться от хлора еще рано. Во всяком случае, когда от хлора отказались в Перу для сокращения числа раковых заболеваний, то это привело к тяжелой вспышке холеры [7].

**Список литературы:**

1. [Электронный ресурс]. URL: [http://mikrasna.narod.ru/russian/dangerous\\_3.htm](http://mikrasna.narod.ru/russian/dangerous_3.htm) (дата обращения: 10.03.2013).
2. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pitnavoda.com.ua/vpv21.html> (дата обращения: 11.03.2013).
3. [Электронный ресурс]. URL: [http://chakrachka.ru/chakr/elements/water\\_i\\_chlorine.htm](http://chakrachka.ru/chakr/elements/water_i_chlorine.htm) (дата обращения: 10.03.2013).
4. [Электронный ресурс]. URL: <http://chistmir.ru/catalog/aquachlorine/disinfection/> (дата обращения: 12.03.2013).
5. [Электронный ресурс]. URL: <http://ochistivodu.ru/tekhnologiya-ochistki/khlorirovanie-pitevoi-vody> (дата обращения: 9.03.2013).
6. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.it-med.ru/library/h/hlor.htm> (дата обращения: 12.03.2013).
7. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.home-dok.ru/chlorirov> (дата обращения: 13.03.2013).

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В УКРАИНЕ

Безкровная А.И., Момот А.И., Васильев С.В.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел./факс: +38 062 263 78 3; E-mail: momot@mech.dgtu.donetsk.ua

**Abstract:** *There have been studied a waysof customer satisfactionin the periodof formation of marketrelations in Ukraine.*

**Keywords:** *satisfaction, consumerdemand, market relations, quality service, quality management.*

Современныеэкономическиеусловияобъективноизменяютотношениямеждупроизводителемипотребителем. Эти изменения, обусловленные необходимостью, могли бы быть более эффективными и быстрыми, если бы базировались на опыте и знаниях. Однако ни того, ни другого наша рыночная практика пока еще не имеет. Поэтому очень важно изучать закономерности процесса взаимодействия производителя и потребителя при удовлетворении потребностей последнего.

Данный вопрос в настоящее время рассматривается достаточно широко. Этим вопросом занимаются разные дисциплины: маркетинг, менеджмент. И информации можно найти много – это статьи А. Маслоу, С. Коловоротный, М.Х. Мескон, А. П. Дурович и др. Но методов абсолютного удовлетворения потребности потребителей нет, и этот вопрос остается крайне актуальным.

Целью статьи является исследование путей удовлетворенности потребителя в период формирования рыночных отношений в Украине.

Современное представление о качестве услуг основано на принципе наиболее полного выполнения требований и пожеланий потребителя, и этот принцип должен быть заложен в основу любого проекта. Потребителем может быть как отдельный человек, так и коллективы людей - предприятия, организации или общество в целом. В любом случае потребности связаны со свойствами человеческой личности. Психика человека крайне сложна, и достаточно полных теорий потребностей человека еще не построено. Тем не менее, сейчас существует ряд теорий, описывающих виды и взаимоотношения потребностей, на основании которых разработчик изделий может действовать достаточно уверенно и добиваться хороших практических результатов.

Одной из наиболее распространенных теорий является теория иерархии потребностей английского ученого Авраама Маслоу.Самая очевидная причина, заставляющая компании беспокоиться об удовлетворении потребителей, состоит в том, что от этого зависит, захотят ли потребители вновь оплатить ее услуги. Положительная оценка результатов потребления помогает удерживать клиентов. Люди, оценившие продукт или услугу отрицательно, вряд ли воспользуются ими вновь. Обычно дешевле сохранить существующих клиентов, чем привлечь новых. Поэтому, компании сосредоточивают внимание на том, чтобы гарантировать клиентам удовлетворительный опыт потребления [1].

Удовлетворение потребностей покупателей - сердцевина маркетинга и рыночной экономики. Однако современный маркетинг часто критикуют за то, что он превратил рынок в механизм, скорее создающий потребности, чем их удовлетворяющий. Подобные критические утверждения касаются важной проблемы, которую не следует игнорировать. Они вступают в явное противоречие с выводами классического анализа приоритета потребителя, являющегося краеугольным камнем

рыночной экономики. Невозможно оправдать социальную роль фирм по удовлетворению потребностей, если эти потребности создали сами же фирмы [2]. Тем не менее, взаимосвязь между удовлетворением потребителя и удержанием клиента не равноценна. Но не стоит удивляться тому, что клиенты, удовлетворенные сегодня одной фирмы, завтра обращаются к какой-либо другой. В конце концов, огромное число конкурирующих между собой компаний предлагают «чужим» клиентам, в стремлении переманить их, всевозможными привлекательными стимулами. Хотя удовлетворительный опыт потребления не гарантирует лояльности пользователей, вероятность того, что клиенты останутся лояльными фирме, зависит от уровня их удовлетворенности [1].

Лояльность (loyalty) - под лояльностью мы будем подразумевать такое образное положительное отношение потребителей в отношении всего, что касается деятельности организации, продуктов и услуг, производимых, продаваемым или оказываемым организацией, персоналу компании, имиджу организации, торговым маркам, логотипу и т.д. Именно наличие этой лояльности, то есть благоприятного отношения потребителей к данной компании, продукту и является основой для стабильного объема продаж. Что в свою очередь является стратегическим показателем успешности компании. Говоря о лояльности можно также предположить, что лояльными можно назвать тех потребителей, которые достаточно долго (по сравнению со сроком функционирования товара) остаются с компанией и совершают при этом повторные покупки [3].

Клиенты, заявлявшие о своем «глубоком удовлетворении», склоняются к возвращению к услугам предприятия повторно в 6 раз чаще, чем «просто удовлетворенные» потребители. Таким образом, руководители фирмы должны понимать, что простого удовлетворения потребителей далеко не достаточно. Необходимо стремиться «совершенно обаять» клиента, а это возможно только при полной его удовлетворенности [1].

Рассмотрим то, как влияет лояльность (т.е. количество постоянных потребителей среди всего количества клиентов компании) на прибыль организации, постоянные клиенты это в основном те, кто совершают повторные покупки одной и той же марки. Многие специалисты рассматривают этот фактор (совершение повторных покупок) как ключевой в развитии компании. Вообще, чем дольше потребитель общается с компанией, тем более он для нее ценен в финансовом смысле. Таких потребителей можно образно называть долгосрочными потребителями. Они покупают больше, меньше требуют к себе внимания в плане сервиса и времени обслуживающего персонала, менее чувствительны к изменению цен и способствуют привлечению новых потребителей. Что самое примечательное в них, так это отсутствие так называемых стартовых расходов на завоевание их лояльности. Долгосрочные потребители настолько ценны, что в некоторых сферах бизнеса увеличение числа долгосрочных потребителей всего на 5% в общей структуре клиентов приводит к увеличению прибылей на 100%.

Очевидно, что лояльность базируется на чувстве удовлетворенности. Поэтому одним из важных вопросов является то, каким образом измерять степень удовлетворенности покупателей товаром или услугой и в какой зависимости находится лояльность. За исключением некоторых редких случаев полностью удовлетворенные потребители являются ключевой основой для создания лояльности и достижения долгосрочного финансового успеха. Менеджеры недопонимают разницы между просто удовлетворенными потребителями и полностью удовлетворенными потребителями. Особенно это ощутимо для компаний, работающих в высококонкурентных индустриях.

Даже на рынках с невысокой конкуренцией полное удовлетворение потребителей может быть единственным путем достижения лояльности потребителей. Критическим становится способность организации выделить свой целевой потребительский сегмент и предоставлять продукты и услуги, которые полностью удовлетворяют их потребности.

Качество продукции или услуг очень часто не является главной причиной низкой степени удовлетворенности потребителей. Чаще всего организации привлекают не тех потребителей или не способны возратить потребителя, после того как он приобрел негативный опыт от общения с компанией. Поэтому можно говорить о двух типах потребителей: "правильные" или целевые, т.е. те, потребности которых компания должна быть в состоянии удовлетворить с положительным финансовым результатом для себя и "неправильные", т.е. те, потребности которых компания не может удовлетворить с прибылью для себя. Появление в структуре потребителей неправильных потребителей - результат плохо организованного процесса привлечения новых и удержания старых клиентов. Вывод соответственно таков: быстро обнаруживать "неправильных" потребителей и не тратить на них трудовые и финансовые ресурсы организации.

Разная степень удовлетворенности обусловлена разными причинами и требует различных методов улучшения. Существуют 4 основных составляющих воздействия на удовлетворенность потребителей:

- основные черты продукта или услуги, которые потребители ожидают от всех ваших конкурентов;
- основная система обслуживания продукта и его поддержки;
- способность компании компенсировать ущерб;
- способность организации удовлетворять персональные запросы потребителей (либо дифференцировать товар).

Хотя результаты исследований уровня удовлетворенности потребителей являются важным индикатором, полагаться главным образом на них может быть летальным для организации. Подобного рода исследования могут предоставить море полезной информации, но ее недостаточно для определения стратегии организации или процесса инновации новых продуктов. Поэтому компании должны использовать также и другие методы как определять потребности настоящих, потенциальных и бывших потребителей. Ниже представлены 5 основных подходов к процессу слушания потребностей потребителей.

1. Индекс удовлетворенности потребителей. Исследование уровня удовлетворенности потребителя предоставляет менеджерам понимание ситуации, каково отношение потребителя к компании, в общем, и к конкретному продукту в частности. Так как данный показатель количественный это позволяет сравнивать показания за разные периоды времени, между различными подразделениями и территориями.

2. Обратная связь. Комментарии потребителей, жалобы и вопросы. Компания не может решать проблемы, если она не знает, в чем конкретно они выражаются. Тщательный анализ обратной связи очень важен для компании.

3. Исследования рынка. Несмотря на то, что компании традиционно инвестируют достаточно средств в эту область, они часто упускают 2 аспекта слушания потребителей. Важно не только прислушиваться к тем, кто только что стал вашим потребителем, но и тех, кто уходит от вас. Главные вопросы: Какие основные мотивы подтолкнули Вас на то, что вы решили попробовать приобрести нашу продукцию? и Что в наибольшей степени повлияло на решение прекратить покупать

продукцию нашей компании? Процесс опроса должен проводиться опытным персоналом.

4. Персонал, работающий с потребителями (frontlinepersonnel). Сотрудники, которые непосредственно находятся в контакте с потребителями, могут быть очень полезны как слушатели потребителей. Но для этого они должны быть соответствующим образом подготовлены, т.е. знать, как это делать и как хранить и передавать информацию дальше по информационным каналам компании.

5. Стратегические действия. Вовлечение потребителей во многие аспекты своего бизнеса. В частности при разработке программного обеспечения компании привлекают будущих потребителей уже на этапе разработки товара.

Высококачественная продукция и сопутствующие услуги, созданные на основе потребностей потребителей, будут способствовать более высокому уровню удовлетворенности потребителей. Высокий уровень удовлетворенности будет способствовать повышению уровня лояльности потребителей. Лояльность, как отмечалось выше, является ключевой определяющей долгосрочного финансового успеха организации. У просто удовлетворенных потребителей остается выбор, то есть когда потребитель просто удовлетворен - этого недостаточно для того чтобы он стал лояльным. Получается, что по-настоящему лояльными потребителями можно назвать только полностью удовлетворенных потребителей.

Информация о степени удовлетворенности потребителей является отличным показателем того, насколько хорошо или плохо компания удовлетворяет потребности своих клиентов. Это также может показать то, что нужно улучшать для того, чтобы большинство клиентов стали полностью удовлетворенными. Поэтому стратегически важным является правильно понимать, что говорят разные потребители.

Первым шагом можно сделать контроль над уровнем удовлетворенности и лояльности приоритетом и удостовериться, что этот процесс происходит непредвзято, последовательно и широкомасштабно. Очень важен показатель степени субъективности, т.к. всегда внутри компаний существуют силы пытающиеся воздействовать на конечный результат. Последовательность позволяет получать не отрывочные данные, а долгосрочную ситуацию и строить тенденции. Широко масштабность позволяет сравнивать эффективность использования ограниченных ресурсов компании в том или ином регионе, подразделении или продукте. Следующим шагом будет определение наиболее подходящей стратегии увеличения удовлетворенности потребителей.

Подводя итог вышеизложенного, можно сказать, что в долгосрочном периоде выживают и процветают те компании, которые постоянно и последовательно уделяют внимание этой зависимости между лояльностью и уровнем удовлетворенности потребителя. На уровне конкретного потребителя, оценивая то или иное подразделение и основных игроков в своей индустрии.

Хорст Шульц, президент и председатель совета директоров сети отелей Ритц (Ritz-CarltonHotelCompany) по этому поводу сказал: "До тех пор, пока ваши потребители не удовлетворены на 100%, и не просто удовлетворены, а просто в восторге от того, что вы для них делаете, вам есть к чему стремиться. И если вы достигли этих 100% удовлетворенности потребителей, удостоверьтесь, что вы внимательно следите за возможными изменениями этих 100%, чтобы быстро изменяться вместе с ними" [3].

Следует иметь в виду, что в процессе оценки степени удовлетворенности/неудовлетворенности потребителей возникает ряд проблем:

- оценка степени удовлетворенности по одному критерию еще не является общей интегральной оценкой качества обслуживания;

- каждый потребитель наделен только ему присущими чертами характера, индивидуальной и жизненной ориентацией (одних удовлетворит и относительно низкий уровень качества обслуживания, другого не устроит и «высочайший»;

- существует опасность выдвижения со стороны некоторых потребителей совершенно необоснованных претензий. Если потребители знают, что компания готова "лезть из кожи", лишь бы угодить им, некоторые из потребителей, даже несмотря на свое удовлетворение, станут специально выражать неудовольствие, чтобы добиться от компании дополнительных уступок;

- существует возможность манипулирования рейтингами удовлетворенности потребителей со стороны менеджеров предприятия. Они могут быть чрезвычайно любезны с потребителями непосредственно перед самым опросом или не включить в результаты опроса недовольных потребителей.[4, с. 241]

Уровень удовлетворенности или неудовлетворенности влияет на повторное обращение, устные коммуникации (отзывы потребителей) и уровень жалоб. Кроме того, информация об удовлетворенности или неудовлетворенности клиентов конкурентов позволяет компании более эффективно вести соперничество с ними.

Удовлетворенность клиента в настоящее время тесно связано с его ожиданием от рекламы. Потребитель очень чувствителен и восприимчив к рекламируемым фирменным брендам, что в большинстве приводит потребителя к заблуждению и самообману. Качество услуги, её оценку, человек дает уже после того, как его поймали на «крючок», т.е. по своему личному опыту. Как правило, в большинстве случаев оценка не всегда положительна, и потребитель в этом случае чувствует себя неудовлетворенным. Так как реклама – стратегическая часть бизнеса, она преследует только свои корыстные цели – получение максимальной прибыли, и не всегда фирма или предприятия учитывают сторону потребителя. О такой фирме можно сказать, что она, скорее всего, ориентируется на разовую прибыль, т.к. обманув потребителя, он больше не вернется к ее услугам и в последствии вызовет негативное мнение общества, итогом такой компании будет быстрое разорение, и она вероятней всего закроется, если не исправит свою политику в отношении к клиенту [1].

На основе проведенного исследования можно сделать некоторые выводы. Основой успеха деятельности любого предприятия является качественное и полное удовлетворение выдвигаемых потребителем требований. Менеджеры предприятия должны с самого начала исследовать рынок и удовлетворенность потребителя, чтобы бизнес был успешным. В зависимости от того на какого потребителя с ориентировано предприятие оно может построить свою стратегию бизнеса. Поэтому главной формулой успеха любого бизнеса будет умение качественно и своевременно удовлетворить потребности потребителя.

**Список использованной литературы.** 1. Исследование удовлетворенности потребителя. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=133634>. 2. Основы менеджмента/ М.Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хероури, 532с., 1992. 3. Принцип маркетинга – ориентация на удовлетворение потребностей клиента[Электронный ресурс]. – Режим доступа:<http://www.apteka.ua/article/11612>. 4. Дурович А. П. Маркетинг гостиниц и ресторанов: Учеб.пособие / А. П. Дурович. – М.: Новое знание, 2005. – 348 с.



## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ДЕЙСТВИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

Богуславский В.А., Ивченко Т.Г., Польшенко В.В., Король К.О

ДВНЗ Донецкий национальный технический университет, м. Донецк, Украина

Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

**Abstract:** *Researches of limitations on the roughness of the treated surface and cutting temperature are executed, in-use during optimization of cutting regimes at clean turning stainless materials, including with the use of technological cutting fluid (CF). Analytical dependences of optimum cutting serve and speed from the parameters of clean turning process are set, providing the quantitative estimation of possibilities of the cutting regimes increase due to application of CF.*

**Key words:** *optimization, productivity, turning, cutting fluid, temperature, roughness.*

В основных деталях и узлах современных машин, работающих в условиях повышенных нагрузок, все большее распространение получают специальные марки нержавеющей, жаропрочных и высокопрочных сталей и сплавов. В связи с весьма низкой обрабатываемостью этих материалов резанием весьма актуальны исследования по обоснованию рациональных параметров процессов их механической обработки.

Наиболее эффективно задачи обоснования режимов резания решаются с использованием различных методов оптимизации по критериям максимальной производительности или минимальной себестоимости. Одним из наиболее распространенных методов оптимизации в настоящее время является метод линейного программирования [1], позволяющий осуществлять одновременную оптимизацию скорости резания и подачи с учетом действующих ограничений по критерию максимальной производительности. Целесообразность использования этого метода обусловлена достаточной простотой, наглядностью и возможностью линеаризации целевой функции и ограничений, имеющих место при оптимизации режимов резания. Достаточно успешно задачи оптимизации решены для черновой обработки труднообрабатываемых материалов [2, 3]. Однако, результаты этих исследований не могут быть распространены на чистовую обработку, для которой характерны иные, чем для черновой, ограничения, причем информация об основных ограничениях (по температуре резания и шероховатости обработанной поверхности) практически отсутствует [4]. Представляет интерес дальнейшее развитие методики оптимизации режимов для чистового точения с учетом действия смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС), что позволит существенно повысить уровень режимов резания и производительность обработки.

Цель представляемой работы – определение оптимальных режимов резания, обеспечивающих максимальную производительность обработки при чистовом точении труднообрабатываемых материалов с использованием СОТС.

При оптимизации режимов резания в качестве целевой функции принимается производительность обработки, максимум которой достигается при минимуме основного времени, или максимуме произведения  $n \cdot s \rightarrow \max$ .

При чистовой обработке рассматриваются следующие ограничения:

1) по возможностям режущего инструмента, обусловленной скоростью резания, соответствующей его стойкости  $T$ ;

- 2) по предельно допустимой мощности резания, обусловленной мощностью привода главного движения станка  $N_{cm}$ ;
- 3) по предельно допустимой жесткости режущего инструмента;
- 4) по предельно допустимой шероховатости обработанной поверхности  $R_a$ ;
- 5) по предельно допустимой температуре резания  $\Theta$ ;
- 6) по предельно допустимым диапазонам частоты вращения и подачи, обусловленным кинематической структурой привода главного движения и привода подачи.

Для использования в качестве ограничений по возможностям режущего инструмента и по предельно допустимой мощности резания используются известные зависимости скорости резания  $V$  и силы резания  $P_Z$  от параметров процесса при чистовой токарной обработке труднообрабатываемых материалов [4]:

$$V = 249/T^{0,25} S^{0,45} t^{0,15}; \quad P_Z = 3400V^{-0,135} S^{0,45} t^{0,15}, \quad (1)$$

где  $t$  – глубина резания;  $S$  – подача.

Закономерности изменения шероховатости обработанной поверхности в зависимости от режимов резания при чистовой токарной обработке труднообрабатываемых материалов, в том числе с применением СОТС, устанавливаются на основании экспериментальных исследований.

Эксперименты выполнялись при обработке нержавеющей стали Х18Н9Т с использованием в качестве СОТС эмульсола Э-2, обладающего преимущественно охлаждающим эффектом, а также эмульсола СДМ,у, с преимущественно смазывающим действием.

В результате обработки результатов эксперимента установлены следующая регрессионная зависимость шероховатости обработанной поверхности от подачи и скорости резания  $R_a(S, V)$ , используемая в качестве ограничений по шероховатости обработанной поверхности:

$$R_a(S, V) = 197,3 K_R S^{1,8} V^{-0,26}, \quad (2)$$

где  $K_R$  – коэффициент снижения параметра шероховатости обработанной поверхности  $R_a$  при использовании СОТС: для СДМ,у в указанных условиях обработки  $K_R = 0,85$ .

Закономерности изменения температуры резания в зависимости от режимов резания при чистовой токарной обработке труднообрабатываемых материалов, в том числе с применением СОТС, устанавливаются на основании теоретических исследований [5].

Для использования в качестве температурных ограничений на основе множественного регрессионного анализа установлены зависимости температуры резания от подачи и скорости резания  $\Theta(S, V)$  с учетом действия различных СОТС, учитываемых коэффициентом снижения температуры резания  $K_\Theta$ :

$$\Theta(S, V) = 130 K_\Theta S^{0,35} V^{0,52}. \quad (3)$$

В результате расчетов установлено, что при использовании в качестве СОТС эмульсола Э-2 коэффициент снижения температуры резания  $K_\Theta = 0,9$ ; при использовании эмульсола СДМ,у  $K_\Theta = 0,8$ .

В результате линеаризации целевой функции и ограничений путем логарифмирования определена математическая модель процесса резания, выраженная системой линейных неравенств, графически представленных на рис. 1 ( $X1 = \ln n$ ;  $X2 = \ln S$ ):

$$\begin{cases}
X1 + y_V X2 \leq b_1, \\
(n_P + 1)X1 + y_P X2 \leq b_2, \\
n_P X1 + y_P X2 \leq b_3, \\
k_3 X1 + k_2 X2 \leq b_2 \\
z_t X1 + y_t X2 \leq b_5, \\
X1 \geq b_6, \quad X1 \leq b_7, \\
X2 \geq b_8, \quad X2 \leq b_9, \\
(X1 + X2) \rightarrow \max,
\end{cases}
\quad
\begin{aligned}
b_1 &= \ln(1000 C_V K_V / \pi D T^m t^{x_v}); \\
b_2 &= \ln(6 \cdot 10^3 (n_P + 2) N_{cm} \eta / C_P K_P (\pi D)^{(n_P + 1)} t^{x_P}); \\
b_3 &= \ln\left(\frac{1000^{n_P} 0,05 D^4 K_3 E_\partial f_\partial}{1.1 \cdot 10 C_P K_P (\pi D)^{n_P} t^{x_P} L^3 \mu}\right); \\
b_4 &= \ln(R_a (\pi D / 1000)^{k_3} / k_o K_R); \\
b_5 &= \ln(1000^{z_t} \Theta / C_\Theta K_\Theta (\pi D)^{z_t}); \\
b_6 &= \ln n_{min}; \quad b_7 = \ln n_{max}; \quad b_8 = \ln S_{min}; \quad b_9 = \ln S_{max}.
\end{aligned}
\quad (4)$$

где  $D$  – диаметр обработки,  $C_V, K_V$  – коэффициенты и  $x_v, y_v, m$  – показатели, характеризующие степень влияния глубины, подачи и стойкости на скорость резания;  $n$  – частота вращения;  $C_P, K_P$  – коэффициенты и  $x_p, y_p, n_p$  – показатели, характеризующие степень влияния глубины, подачи и скорости на силу резания  $P_z$ ;  $\eta$  – коэффициент полезного действия передач станка;  $k_o, K_R$  – коэффициенты и  $k_2, k_3$  – показатели, характеризующие степень влияния подачи и скорости резания на шероховатость обработанной поверхности;  $C_\Theta, K_\Theta$  – коэффициенты и  $z_t, y_t$  – показатели степени, характеризующие степень влияния скорости резания и подачи на температуру резания.

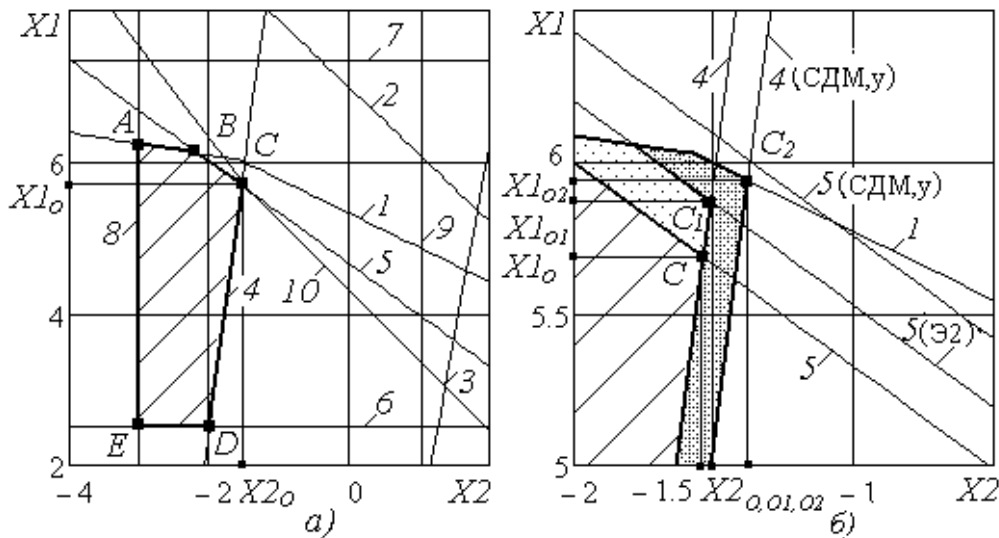


Рис. 1. Схема определения оптимальных режимов резания при чистовой обработке стали X18H9T без СОТС – а) и с применением различных СОТС – б)

токарной обработки валов диаметром  $D = 100$  мм, длиной  $L = 200$  мм из стали X18H9T (прочность  $\sigma_s = 600$  МПа); мощность станка 16K20Ф3  $N_{cm} = 10$  кВт; коэффициент полезного действия  $\eta = 0,8$ ; инструментальный материал ВК6М; стойкость  $T = 60$  мин., глубина резания  $t = 1$  мм; шероховатость обработанной поверхности  $R_a = 3,2$  мкм.

Многоугольник  $ABCDE$  на приведенном рис.1а (обработка без СОТС) представляет собой область возможных решений. Целевая функция принимает максимальное значение в точке  $C$ , для которой сумма расстояний до осей ( $X1 + X2$ ) максимальна, о чем свидетельствует крайне возможное положение линии 10,

характеризующей целевую функцию. Точка  $C$  является точкой пересечения ограничений по предельно допустимой температуре резания (5) и по шероховатости обработанной поверхности (4). Координаты точки  $C(X1_o, X2_o)$  являются искомыми оптимальными значениями параметров, на основании которых определяются оптимальные частота вращения и подача.

При использовании в качестве СОТС эмульсола Э2 (рис. 1б) за счет снижения температуры резания температурное ограничение (5 Э2) меняет положение, оптимальные значения параметров определяются координатами точки  $C_1(X1_{o1}, X2_{o1})$ .

При использовании в качестве СОТС эмульсола СДМ,у (рис. 1б) температурное ограничение (5 СДМ,у) снимается, оптимальные значения параметров определяются координатами точки  $C_2(X1_{o2}, X2_{o2})$ , являющейся точкой пересечения ограничений по режущим возможностям инструмента (1) и по шероховатости обработанной поверхности (4 СДМ,у).

Для чистовой обработки стали Х18Н9Т определены оптимальные режимы:

- при обработке без СОТС: скорость  $V_o = 98$  м/мин, подача  $S_o = 0,2$  мм/об;
- при обработке с Э2: скорость  $V_o = 118$  м/мин, подача  $S_o = 0,2$  мм/об;
- при обработке с СДМ,у: скорость  $V_o = 138$  м/мин, подача  $S_o = 0,23$  мм/об.

Оптимальные режимы резания - подача  $S_o$  и скорость резания  $V_o$  могут быть определены аналитически:

$$S_o = \begin{cases} \left[ \Theta (k_o K_R)^{z_t/k_3} / C_\Theta K_\Theta R_a^{z_t/k_3} \right]^{k_3 / (y_t k_3 - z_t k_1)}, & \text{если } \Theta < \Theta_o; \\ \left[ R_a T^{mk_3} t^{k_3 x_v} / k_o K_R (C_V K_V)^{k_3} \right]^{1 / (k_1 - y_v k_3)}, & \text{если } \Theta \geq \Theta_o; \end{cases} \quad (5)$$

$$V_o = \begin{cases} \left[ R_a / k_o K_R S_o^{k_1} \right]^{1/k_3}, & \text{если } \Theta < \Theta_o; \\ C_V K_V / T^m t^{x_v} S_o^{y_v}, & \text{если } \Theta \geq \Theta_o, \end{cases} \quad (6)$$

где  $\Theta_o$  – граничное значение температуры резания, для которого необходимо учитывать температурное ограничение:

$$\Theta_o = C_\Theta K_\Theta \left( \frac{C_V K_V}{T^m t^{x_v}} \right)^{z_t} \left[ \frac{R_a T^{mk_3}}{k_o K_R (C_V K_V)^{k_3}} \right]^{k_3 / (y_t - y_v k_3)}.$$

Графики зависимости оптимальных подач и скоростей резания от шероховатости обработанной поверхности  $R_a$ , представлены на рис. 2.

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что при чистовой обработке стали Х18Н9Т с использованием различных СОТС наибольший эффект по повышению режимов резания имеет эмульсол СДМ,у.

Установленные аналитические зависимости оптимальных значений подачи  $S_o$  и скорости резания  $V_o$  от параметров процесса чистового точения позволяют рассчитывать оптимальные режимы резания для любых условий обработки, в том числе при использовании СОТС.

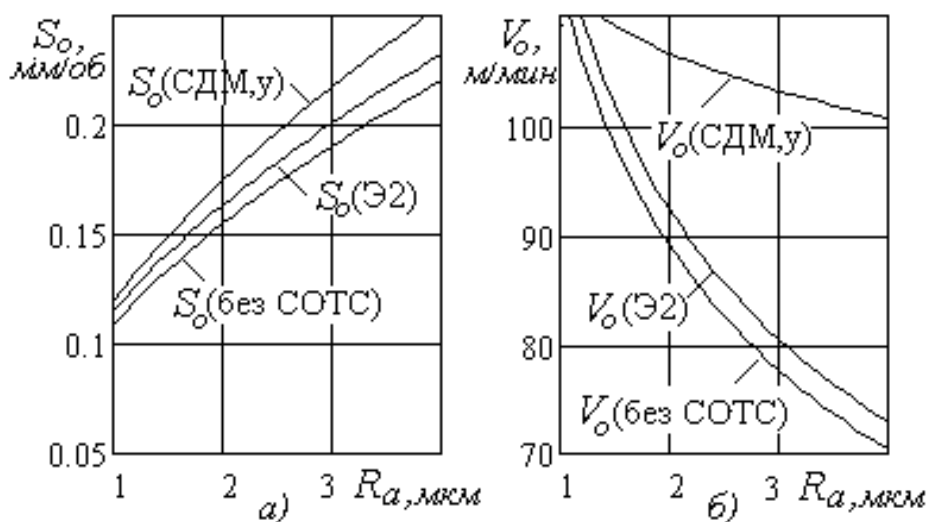


Рис. 2. Графики зависимости оптимальной подачи  $S_o$  – а) и скорости резания  $V_o$  – б) от шероховатости  $R_a$  обработанной поверхности при чистовой обработке стали X18H9T с использованием различных СОТС

### Заключение

На основании выполненных исследований установлены ограничения по шероховатости обработанной поверхности и по температуре резания при чистовом точении труднообрабатываемых материалов с применением СОТС, используемые при оптимизации режимов резания.

Установлены аналитические зависимости оптимальных значений подачи и скорости резания от параметров процесса чистового точения, обеспечивающие максимальную производительность обработки. Эти зависимости позволяют учитывать действие различных СОТС и количественно оценивать возможности повышения режимов резания за счет применения СОТС при чистовой токарной обработке труднообрабатываемых материалов.

**Список литературы:** 1. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. - М.: Машиностроение. 1989. - 296с. 2. Богуславский В.А Повышение производительности обработки труднообрабатываемых материалов с применением смазочно-охлаждающих жидкостей / В.А. Богуславский, Т.Г. Ивченко, Зантур Сахби // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 7(166). – Донецьк: ДонНТУ, 2010.- С.9-16. 3. Зантур Сахби. Оптимизация режимов резания при точении труднообрабатываемых материалов с учетом температурных ограничений / Зантур Сахби, В.А. Богуславский, Т.Г. Ивченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Вып. 39. – Донецк: ДонНТУ, 2010. – С.77-84. 4. Гуревич В.Я. Режимы резания труднообрабатываемых материалов. – М.: Машиностроение, 1986. - 240с. 5. Ивченко Т.Г. Расчет тепловых потоков и температур резания при точении с использованием смазочно-охлаждающих жидкостей. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Вип.26. – Краматорськ, ДДМА, 2010. - С.90 -96.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕЖРОТОРНОЙ ПЕРЕДАЧИ НЕСКОЛЬКИХ ДЕТАЛЕЙ ОДНИМ ЗАХВАТНЫМ ОРГАНОМ

Буленков Е.А., Шурчилова Ю.В.

ДонНТУ г. Донецк, Украина

Тел. +38(062) 3050805; E-mail: [bulenkov@ukr.net](mailto:bulenkov@ukr.net)

**Abstract:** *Structure of stream of wares, allowing to provide the required load of multitop-level rotor line due to the association of group of mass productions in mass resulted in this article. Experimental confirmation of possibility of interrotor transmission good during realization of this structure of stream is presented here.*

**Keywords:** *structure of stream, annual program of issue, interrotor transmission.*

При обработке деталей на многономенклатурной автоматической роторной линии (МАРЛ) транспортными роторами передается большое количество различных деталей [1, 2, 3]. В общем случае, детали отличаются не только размерами, но и формой поверхностей, по которым осуществляется захват детали захватным органом (ЗО) транспортного ротора. При изготовлении стержневых крепежных деталей на разных этапах производства их захват будет осуществляться как по цилиндрическим поверхностям на этапах формообразования головки, так и по резьбовой поверхности после накатки резьбы. При этом, цилиндрические поверхности даже для одного винта будут отличаться размерами: перед накатыванием резьбы осуществляется редуцирование стержня. Изготовление для каждой поверхности своего ЗО приведет к неоправданно большим затратам и усложнению конструкции транспортных устройств [4, 5].

Целью проведения эксперимента является доказательство возможности передачи одним ЗО транспортного ротора деталей нескольких типоразмеров в групповой инструментальный блок (ИБ) за счет использования магнитной проводимости материала деталей.

Для достижения поставленной цели необходимо доказать, что вероятность передачи деталей не является случайной величиной, а определяется рядом факторов, и действие этих факторов может быть спрогнозировано и обосновано.

**Подготовка и планирование эксперимента.** При проведении эксперимента объектом исследования является межроторная передача детали. Выбранный объект исследования удовлетворяет требованию воспроизводимости и является управляемым, то есть дает возможность провести активный эксперимент [5, 6].

Процесс межроторной передачи изделий из магнитных ЗО в групповые ИБ будет исследоваться с помощью вероятности передачи детали.

На вероятность передачи детали существенное влияние оказывает целый ряд факторов: различие в диаметрах изделий; несовпадение углов поворота роторов; межосевое расстояние роторов; усилие на пружине и форма переталкивателя; наличие или отсутствие приемных фасок в групповом ИБ; форма губок ЗО транспортного ротора; сила прижима деталей к магнитным захватам; скорость вращения роторов; вибрации; наличие или отсутствие смазки на боковых поверхностях деталей и другие, менее значимые факторы. Для упрощения проводимого эксперимента приняли, что сила прижима магнитного захвата подобрана таким образом, чтобы компенсировать влияние вибрации и центробежной силы при большой скорости вращения роторов.

В связи с принятыми допущениями, наиболее значимыми факторами являются различие в диаметрах изделий и несовпадение углов поворота роторов. Для исследования

влияния этих факторов на вероятность передачи деталей и был проведен двухфакторный эксперимент.

**Проведение эксперимента и обработка результатов.** Перед проведением эксперимента установка была настроена и испытана в действии. Эксперимент проводился в соответствии с планом, разработанным в ходе планирования [5, 6].

Эксперимент показал, что если нет несовпадения углов поворота роторов, то вероятность передачи деталей близка к 1. Смещение ЗО в направлении, противоположном направлению движения детали, приводит к уменьшению вероятности передачи деталей. Это объясняется тем, что при передаче детали под действием переталкивателя деталь скатывается по губке, противоположной переталкивателю, таким образом немного увеличивая величину смещения относительно приемной позиции технологического ротора. Для деталей больших диаметров это смещение не столь существенно, как для деталей меньшего диаметра.

Таким образом, возможность передачи изделий различных типоразмеров магнитным ЗО в групповой ИБ подтверждена экспериментально.

**Влияние вероятности передачи изделия на вероятность безотказной работы многономенклатурной роторной линии.** В ходе проведения эксперимента было установлено, что наибольшая вероятность передачи изделий будет при отсутствии несовпадения углов поворота роторов. Для винтов диаметром 2 мм наибольшее значение вероятности передачи составило 0,8. При значениях вероятности передачи изделия 0,8 МАРЛ работать не будет. Аналогичная ситуация и для изделий диаметром 3 и 4 мм, - при наибольших значениях вероятности передачи изделий даже с абсолютно надежным инструментом вероятность безотказной работы МАРЛ составит менее 0,4. В то же время для изделий диаметром 5 и 6 мм вероятность передачи составляет 1. Таким образом, на вероятность безотказной работы МАРЛ наибольшее влияние оказывают вероятности передачи изделий диаметром 2-4 мм.

График рис. 1 позволяет определить допустимые значения вероятностей транспортирования и безотказной работы инструмента. При вероятности передачи изделий 0,95 и вероятности безотказной работы инструмента 0,98 при вероятности безотказной

работы устройств управления 0,995 вероятность безотказной работы МАРЛ составит приблизительно 0,75. Такое значение вполне допустимо для новой техники на стадии предварительного проектирования. Следует отметить, что современный инструмент позволяет обеспечить значения вероятности безотказной работы больше, чем 0,98, а значит и вероятность безотказной работы МАРЛ будет выше.

Вероятность передачи изделий диаметром 2-4 мм при выбранной схеме передачи изделий недостаточна для обеспечения требуемых значений надежности линии и должна быть повышена как минимум до 0,95. Для повышения вероятности безотказной работы МАРЛ следует применять подпружинен-

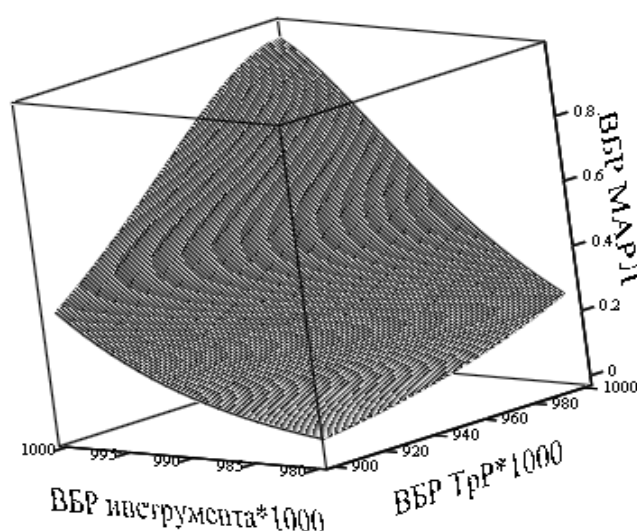


Рис. 1. Зависимость ВБР МАРЛ от ВБР инструмента и ВБР транспортных устройств.



ные 3О в транспортных роторах и обеспечивать в приемных позициях групповых ИБ заборные фаски, предотвращающие удар изделия о ребро приемной позиции ИБ.

#### **Распространение результатов экспериментов на генеральную совокупность.**

Примем, что линия без подналадки работает 8 часов. В соответствии с принятыми исходными данными [5, 6], за это время она выпускает 57600 изделий. Из них 16/24, т.е. 38400 – это винты М2 и М6. В ходе первого эксперимента было передано 144 детали, т.е. выборка составила 0,375%. Примем, что отбор был серийным, где сериями были группы деталей одного диаметра.

В ходе статистической обработки результатов было установлено, что значение генеральной средней будет таким:  $0,31 \leq \bar{X} \leq 0,926$ .

Такое большое значение предельной ошибки выборки можно объяснить недостаточным количеством опытов. Очевидно, что для значительных количеств обрабатываемых изделий количество опытов должно превышать приведенное в данной работе. Выполненные эксперименты позволили достичь поставленной цели в полной мере, а распространение результатов экспериментов на генеральную совокупность было проведено для оценки возможности проведения дальнейших исследований. Адекватные значения вероятности передачи изделий можно будет получить только на изготовленной и работающей МАРЛ.

**Выводы.** В работе установлено, что для межроторной передачи различных по форме обрабатываемых изделий в многономенклатурных роторных линиях при создании групповых 3О целесообразно использовать физико-механические свойства материала изделий. При использовании групповых магнитных 3О для межроторной передачи изделий в МАРЛ при объединении группы крупносерийных производств изделий нескольких типоразмеров в массовое многономенклатурное вероятность передачи изделий выше при больших диаметрах деталей и при отсутствии несовпадения углов поворота роторов, что полностью соответствует ожидаемым результатам. Применение магнитных 3О дает возможность использовать один и тот же 3О для передачи деталей различных типоразмеров и за счет этого существенно упростить конструкции транспортных роторов. Вероятность передачи деталей может быть увеличена применением подпружиненных 3О в транспортном роторе. Выполненные исследования позволили установить, что групповые магнитные 3О в транспортных роторах многономенклатурных роторных линий должны быть жесткими и допускать смещение детали до 25% диаметра но не более 50% диаметра наименьшей передаваемой детали. На приемных позициях технологических роторов для исключения ударов деталей о приемные позиции следует предусматривать фаски размером не более четверти диаметра меньшей детали.

**Список литературы:** 1. Клусов И. А. Развитие роторных технологий. // Вестник машиностроения.- 2003.- №4.- с. 46-50. 2. Прейс В. В., Крюков В. А. Комплексная автоматизация производства на базе автоматических роторных и роторно-конвейерных линий. // Вестник машиностроения.- 2002.- №11.- с. 35-39. 3. Клусов И. А. Технологические системы роторных машин для серийного производства. /Автоматизация технологических процессов: Сб. науч. тр.- Тула: Тульский политехн. ин-т, 1981 - с. 13 -19. 4. Михайлов А. Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия.- Донецк: ДонНТУ, 2002.- 379 с. 5. Буленков Е. А. Исследование процесса межроторной передачи изделий в условиях многономенклатурного производства / Е. А. Буленков, А. Н. Михайлов. И. С. Товарчи // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць / Донец. нац. техн. ун-т. – Донецьк, 2010. - Вип. 39. - С.30–39. 6. Буленков Е.А. Влияние вероятности межроторной передачи изделий на работоспособность многономенклатурной роторной линии / Е. А. Буленков, А. Н. Михайлов // Научный вестник ДГМА / Донбасс. гос. машиностроит. акад. – Краматорск, 2011. – №1 (5 Е). – С.21-26.

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ АТОМНЫХ РЕАКТОРОВ

Бутенко В.И.

ЮФУ, г. Таганрог, Россия

Тел./факс: +7 (8634) 371622; E-mail: mkk@egf.tsure.ru

**Abstract:** *The opportunities of increase of reliability of the robotic-technical devices are investigated at the expense of change of stability for deterioration of details which are included in their design the algorithmically sold method of improvement of quality of the image and is offered at realization of the control allocating is warmly buildings at use of the mechatronical complexes of the overload machine.*

**Key words:** *reliability, deterioration, tribosystem, control, noise, signal, image.*

Оценку работоспособности и эффективности робототехнических устройств современных атомных реакторов типа водо-водяной энергетический реактор чаще всего проводят по показателям надёжности и наиболее ответственному функциональному показателю, например, качеству изображения при проведении контроля тепловыделяющих сборок (ТВС) при использовании механотронных комплексов машины перегрузочной [1, 2]. Повышение надёжности робототехнических устройств тесно связано с износостойкостью деталей, входящих в конструкцию и определяющих их вероятность безотказной работы.

Известно, что вероятность безотказной работы робототехнического устройства можно определить, исходя из следующих соображений [3]. Условие возникновения отказа любой машины при износе наименее надёжной трибосистемы, входящей в неё, имеет вид:

$$\Delta U - \Delta U_A = \Delta \Delta U, \quad (1)$$

где  $\Delta U$  – требуемая скорость изнашивания поверхностей сопряжённых деталей, обусловленная заданным сроком службы машины;

$\Delta U_A$  – действительная скорость изнашивания деталей трибосистемы, зависящая от физико-механического состояния их поверхностного слоя.

Для определения плотности распределения случайной величины  $q(\delta \Delta U)$ , зависящей от скорости изнашивания поверхностей деталей трибосистем  $\Delta U$ , вводятся случайные относительные отклонения безразмерных критериев

$$\Delta = \frac{\Delta U - \Delta U_0}{\Delta U_0}; \Delta a = \frac{\Delta U_A - (\Delta U_A)_0}{(\Delta U_A)_0} \quad (2)$$

и коэффициента запаса износостойкости

$$n_u = \frac{(\Delta U_A)_0}{\Delta U_0}, \quad (3)$$

где  $\Delta U_0$  и  $(\Delta U_A)_0$  – математические ожидания требуемой и действительной скоростей изнашивания поверхностей деталей трибосистем робототехнических устройств соответственно.

С учётом формул (2) и (3) условие (1) примет вид:

$$\delta\Delta U = \frac{\Delta\Delta U}{\Delta U_o} = n_u - 1 + n_u\Delta a - \Delta \square 0. \quad (4)$$

При эксплуатации робототехнических устройств современных атомных реакторов в производственных условиях под воздействием многочисленных внешних факторов всегда имеет место разброс  $\Delta a - \Delta$ , т.е.  $\delta\Delta U \neq 0$ . Поэтому рассматриваемое в соответствии с зависимостью (4) отклонение  $\delta\Delta U$  можно считать подчиняющимся нормальному закону распределения, плотность которого определяется по формуле [4]

$$q(\delta\Delta U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D\delta}} \int_{-\infty}^0 \exp\left(-\frac{\delta\Delta U - (\delta\Delta U)_o}{2D\delta}\right) d(\delta\Delta U), \quad (5)$$

где  $D\delta$  – дисперсия случайной величины  $\delta\Delta U$ ;

$(\delta\Delta U)_o$  – математическое ожидание величины  $\delta\Delta U$ .

Если принять, что максимум плотности вероятности реализуется при расчётных значениях случайных величин  $\Delta a = \Delta = 0$ , то  $\delta\Delta U = n_u - 1$  [3, 4] и дисперсия  $D\delta$  определится из зависимости

$$D\delta = (\delta\Delta U - (\delta\Delta U)_o)^2 = (n_u (\Delta a)_{max} - \Delta_{max})^2, \quad (6)$$

где  $(\Delta a)_{max}$  и  $\Delta_{max}$  – известные возможные в рассматриваемых условиях максимальные разбросы относительных отклонений  $\Delta a$  и  $\Delta$ .

Величины  $(\Delta a)_{max}$  и  $\Delta_{max}$  можно определить, линеаризуя асимптотические выражения для них и задавшись практически возможным разбросом износостойкости поверхностей деталей трибосистем робототехнических устройств. Для этого вводится новая переменная вида

$$t = \frac{\delta\Delta U - (\delta\Delta U)_o}{\sqrt{D\delta}}.$$

Тогда формула (5) преобразуется следующим образом:

$$q(\delta\Delta U) = q(t) = \frac{1}{2} - \Phi(m), \quad (7)$$

$$\text{где } m = \frac{(\delta\Delta U)_o}{\sqrt{D\delta}} = \frac{n_u - 1}{D\delta}; \quad \Phi(m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^m \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt.$$

Полученное выражение (7) представляет собой табулированную функцию Гаусса [3, 4] и может быть использовано для разработки как конструкторских, так и технологических путей повышения надёжности деталей трибосистем робототехнических устройств [5, 6]. Наиболее перспективным в этом отношении направлением повышения надёжности робототехнических устройств атомных реакторов является нанесение на рабочие поверхности деталей трибосистем многокомпонентных слоёв или создание модифицированных структур.

Для повышения качества изображения при проведении контроля ТВС разработан алгоритмически реализуемый метод, основой которого является определение

коэффициента вклада каждого изображения в общую сумму [7]. Устанавливаемый коэффициент вклада  $k$  – это показатель зашумлённости изображения: чем сильнее изображение зашумлено, тем меньше коэффициент вклада  $k$ ; аналогично, чем меньше изображение зашумлено, тем больше коэффициент вклада. Поэтому возможные значения коэффициента вклада лежат в диапазоне  $k \in [0, 1]$ .

Пусть серия исходных изображений равна  $I$ , общее количество изображений в серии –  $n$ . Поскольку изображения серии получаются при одинаковой экспозиции телевизионной камеры мехатронного комплекса машины перегрузочной и освещённости реакторной зоны, то уровень сигнала  $S$  на каждом изображении  $I_i$  одинаков, однако изображения серии  $I_i$  имеют различный уровень шума  $N_i$ , вызванный импульсными помехами электронного оборудования машины перегрузочной и взвесями водной среды активной зоны реактора. Для оценки качества одиночного изображения серии можно воспользоваться показателем  $SNR$ , рассмотренным в работе [7] и представляющем собой отношение уровня сигнала  $S_i$  к уровню шума  $N_i$ :

$$SNR_i = \frac{S_i}{N_i}. \quad (8)$$

Так как изображения  $I_i$  имеют одинаковый уровень сигнала  $S$ , но имеют различный уровень шума  $N_i$ , соответственно, их соотношения  $SNR_i$  обратно пропорциональны  $N_i$ , а коэффициент вклада  $k_i$  определяется по формуле

$$k_i = \left( \frac{N_1}{N_i} \right)^2, \quad (9)$$

где  $N_1$  – уровень шума наименее зашумлённого изображения серии  $I$ , то есть изображение серии с наибольшим показателем  $SNR$ .

Для поиска наименее зашумлённого изображения  $I_i$  можно воспользоваться анализом яркостной гистограммы [7]. Далее с учётом найденных коэффициентов  $k_i$  для каждого  $I_i$  производится вычисление итогового суммарного изображения  $I_{\square}$  по формуле

$$I_{\square} = \sum_{i=1}^n I_i k_i. \quad (10)$$

Так как шум каждого изображения считается случайным и независимым, то сложение шума производится квадратично. Тогда, зная показатель  $SNR_i$  для каждого изображения серии  $I$ , можно вычислить показатель  $SNR_{\square}$  итогового суммарного изображения  $I_{\square}$ , используя следующую формулу:

$$SNR_{\square} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (SNR_i)^2}. \quad (11)$$

В общем виде предложенный метод улучшения качества изображения состоит из следующих основных этапов.

1. Поиск наименее зашумлённого изображения  $I_1$  в серии  $I$  на основе анализа яркостной гистограммы. На этом этапе производится построение усреднённой яркости гистограммы  $Hist_{med}$  на основе усреднения всех гистограмм  $Hist_i$  изображений  $I_i$ . Далее

производится поиск гистограммы  $Hist_i$  наиболее близкой к  $Hist_{med}$ , а изображение  $I_i$  отмечается как  $I_l$ .

2. На изображении  $I_l$  производится выбор зон, соответствующих зашумленным областям  $N_{area}$ . Для этого  $N_{area1}$  присваивается вся площадь изображения  $I_l$ ; далее производится исключение локальных окрестностей особых точек  $N_{local}$ , поиск которых осуществляется согласно рекомендациям, приведённым в работе [8]. Из области  $N_{area1}$  получают искомую область  $N_{area} = N_{area1} - N_{local}$ , соответствующую зашумлённым областям на изображении  $I_l$ .

3. Вычисление на основе найденных областей  $N_{area}$  значения  $N_i$  для каждого изображения  $I_i$ . При этом для каждого изображения  $I_i$  рассчитывается значение уровня шума  $N_i$ ; при этом принимается  $N_l = 1$ , так как данное изображение является наименее зашумлённым в серии  $I$ . Остальные значения  $N_i$  определяются как среднеквадратичное отклонение яркостей пикселей области  $N_{area}$  между изображением  $I_l$  и изображением  $I_i$ .

4. Вычисление коэффициентов вклада  $k_i$ , используя формулу (9).

5. Медианное сложение изображений  $I_i$  серии  $I$  с учётом рассчитанных коэффициентов вклада  $k_i$  с целью получения одноракурсного незашумлённого изображения  $I_{\square}$ . Сущность медианного сложения серии изображений  $I$  с учётом коэффициентов вклада  $k_i$  заключается в выборе нового значения яркости пикселя – среднего значения отсортированного массива яркостей пикселя. С вероятностью, равной значению коэффициента  $k_i \in [0, 1]$ , производится добавление значения яркости пикселя изображения  $I_i$  в массив яркостей пикселей для медианного метода улучшения качества изображения. Тогда наиболее зашумлённые изображения, коэффициент вклада которых  $k_i \rightarrow 0$ , не будут участвовать в формировании итогового изображения  $I_{\square}$ .

Таким образом, предложенный алгоритмически реализуемый метод улучшения качества изображения, отличающийся использованием анализа коэффициента вклада каждого изображения серии, позволяет минимизировать влияние зашумлённых изображений на итоговый результат. В сравнении с известными методами улучшения качества изображений предложенный метод обеспечивает наибольший показатель пикового отношения «сигнал/шум», что повышает эффективность использования робототехнических устройств при проведении контроля ТВС современных атомных реакторов.

**Список литературы:** 1. Стырикович М.А. Некоторые вопросы ядерной энергетики. – М.: Наука, 1987. – 224 с. 2. Хайретдинов В.У., Родионов А.Б., Лященко В.В., Рыжов А.С. Определение физико-механических характеристик ТВС с помощью переносных систем контроля // Вопросы атомной науки и техники. – 2002, № 2. – С. 46 – 52. 3. Бутенко В.И. Проблема повышения надёжности промышленных роботов в кузнечно-штамповочном производстве – М.: Изд-во ВНИИТЭМР. Вып. 8, 1989. – 56 с. 4. Проников А.С. Надёжность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с. 5. Бутенко В.И. Структура и свойства поверхностного слоя деталей трибосистем. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – 367 с. 6. Бутенко В.И. Управление нанотрибологическими характеристиками поверхностей тяжело нагруженных опор и подшипников скольжения. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 385 с. 7. Хисамутдинов М.В. Многостадийная методика обработки изображений для выделения эллипсов, соответствующих торцам головок тепловыделяющих сборок в активной зоне реактора // Многопроцессорные вычислительные и управляющие системы: Материалы международной научно-технической конференции (МВУС – 2009). Т.2. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – С. 230 – 232. 8. Tretiak O.J., Gabrani M. Surface – based matching using elastic transfor – mation // Pattern Recognition. – 1998. – P. 87 – 97.

## ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СЛОЁВ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ДЕТАЛЕЙ ТРИБОСИСТЕМ

Бутенко В.И.

ЮФУ, г. Таганрог, Россия

Тел./факс: +7 (8634) 371622; E-mail: mkk@egf.tsure.ru

**Abstract:** The technology of creation on working surfaces of details tribosystems of layers ensuring high operational parameters of devices and mechanisms of the overload machine water-water power reactors is developed.

**Key words:** a surface, tribosystem, layer, structure, properties, contact, factor of friction, cluster.

Проблема повышения работоспособности деталей трибосистем является наиболее актуальной во всех отраслях машиностроения. Практика показывает, что в современном машиностроительном производстве не существует уникальных технологических методов, в равной мере обеспечивающих требуемое состояние поверхностного слоя деталей трибосистем, эксплуатируемых в разных условиях.

В работах [1 – 3] показано, что эффективным способом повышения работоспособности деталей трибосистем является создание на их рабочих поверхностях специальных многокомпонентных слоёв, выполняющих следующие функции:

- нивелирование шероховатости контактных поверхностей и, как следствие, уменьшение времени их приработки;
- создание между контактирующими поверхностями деталей трибосистем разделительного смазочного слоя;
- обеспечение в зоне контакта взаимодействующих материалов условий избирательного переноса;
- трибоэкранирование контактирующих поверхностей деталей путём модифицирования материала поверхностного слоя или формирования на нём специальных структур, обладающих низкими коэффициентами трения;
- выход на условия трения, обеспечивающие проявление эффекта «нанотрибологической ямы».

Для создания на поверхностях деталей трибосистем многокомпонентных слоёв использовались следующие материалы: полиэтилен, полистирол, капрон, сплавы Вуда и Розе, графит, дисульфид молибдена и кристаллический йод. Нанесение многокомпонентных слоёв на поверхности деталей трибосистем осуществлялось на установке МПС-3М, описание которой приведено в работе [1]. При этом максимальная температура импульсного нагрева при создании на поверхностях деталей трибосистем многокомпонентных слоёв  $\Theta$  устанавливалась варьированием силы индукционного тока  $I$  и времени выдержки  $\Delta t$ , используя эмпирическую зависимость вида

$$\Theta = C_{\Theta} (I \cdot \Delta t)^a \sigma_c^b,$$

где  $C_{\Theta}$  – коэффициент, зависящий от состава многокомпонентного слоя и материала детали;

$\sigma_c$  – показатель высокоэластичной деформации применяемого полимера, МПа;

$a, b$  – показатели степеней, зависящие от состава многокомпонентного слоя и условий трения (давления  $p$ , скорости скольжения  $V_{ск}$ , температуры в зоне контакта деталей трибосистемы  $\Theta_k$ ).

Значения величин  $C_{\Theta}$ ,  $a$  и  $b$  для исследованных составов многокомпонентных

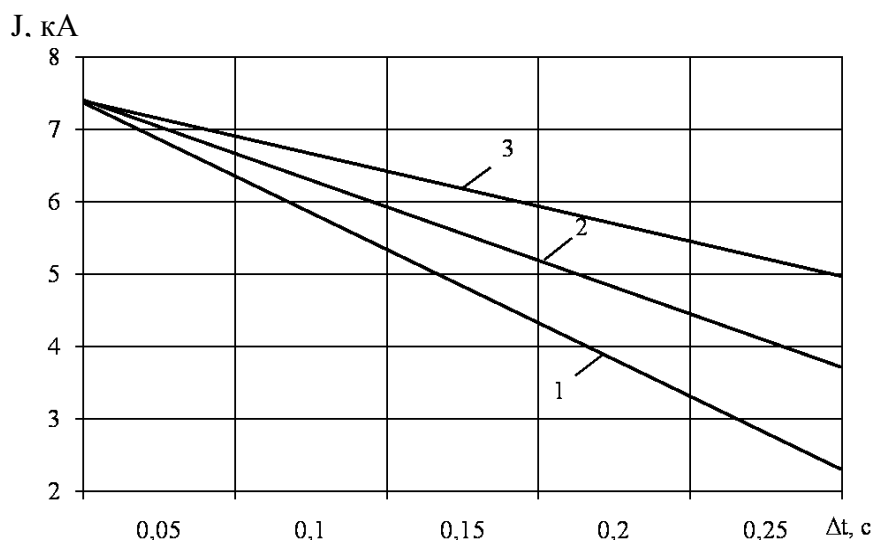


Рис. 1. Номограмма выбора силы индукционного тока  $I$  и времени выдержки  $\Delta t$  в зависимости от показателя высокоэластичной деформации  $\sigma_c$  полимера: 1 – (5 – 10) МПа; 2 – (11 – 20) МПа; 3 – (21 – 30) МПа

слоёв, работающих в диапазонах  $p = (0,5 - 1,5)$  МПа,  $V_{ск} = (0,1 - 0,5)$  м/с и  $\Theta_k = (20 - 80)^\circ \text{C}$  приведены в табл. 1.

Значения величин  $I$  и  $\Delta t$  для конкретно используемых в многокомпонентных слоях полимеров с разными показателями высокоэластичной деформации  $\sigma_c$  выбираются по номограмме, приведённой на рис. 1.

Таблица 1. Значения величин  $C_\theta$ ,  $a$  и  $b$  для исследованных составов многокомпонентных слоёв на поверхностях деталей трибосистем

№	Состав многокомпонентного слоя	$C_\theta$	$a$	$b$
1.	Полиэтилен + сплав Вуда + графит	12,55	0,85	0,24
2.	Полистирол + сплав Вуда + графит	14,18	0,72	0,22
3.	Капрон + сплав Вуда + графит	11,91	0,94	0,35
4.	Полиэтилен + сплав Вуда + дисульфид молибдена	13,16	0,83	0,28
5.	Полиэтилен + сплав Розе + графит	15,27	0,91	0,32
6.	Полистирол + сплав Розе + графит	15,52	0,70	0,27
7.	Капрон + сплав Розе + графит	12,46	1,03	0,34
8.	Полиэтилен + сплав Розе + дисульфид молибдена	16,39	0,75	0,29
9.	Полиэтилен + сплав Вуда + кристаллический йод	12,92	0,83	0,26
10.	Полиэтилен + сплав Розе + кристаллический йод	14,39	0,93	0,37
11.	Полистирол + сплав Вуда + кристаллический йод	16,27	0,77	0,39
12.	Полиэтилен + сплав Вуда + графит + кристаллический йод	15,40	0,91	0,38
13.	Полиэтилен + сплав Вуда + дисульфид молибдена + кристаллический йод	16,09	1,17	0,32
14.	Полиэтилен + сплав Розе + графит + кристаллический йод	17,24	1,19	0,26
15.	Полистирол + сплав Розе + графит + кристаллический йод	17,35	1,26	0,29

Исследования эксплуатационных свойств многокомпонентных слоёв на поверхностях деталей трибосистем проводились на установках для испытания материалов на истирание,



описание которых приведено в работе [4]. Многокомпонентные слои наносились на детали из стали 12Х3Н, прошедшие предварительное шлифование и имеющие шероховатость поверхности  $Ra = (1,2 - 1,5)$  мкм. В качестве контртел использовались образцы из закалённой быстрорежущей стали Р6М5 (HRC 62 – 65,  $Ra = (0,8 - 1,0)$  мкм). Исследования проводились при следующих условиях трения:  $p = 1,0$  МПа,  $V_{ск} = 0,3$  м/с,  $\theta = 50^\circ\text{C}$ .

Определялись следующие эксплуатационные показатели многокомпонентных слоёв:

- время приработки поверхностных слоёв контактируемых деталей  $T_{пр}$ , с;
- средняя интенсивность изнашивания  $\Delta U$  за период испытания, равный 60 мин;
- температура в зоне контакта  $\theta_k$ , град. С;
- коэффициент трения  $f$  при установившемся процессе.

Результаты выполненных исследований, как средние значения по десяти последовательно проведённых экспериментов, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Эксплуатационные показатели многокомпонентных слоёв на поверхностях деталей трибосистем

№	Состав многокомпонентного слоя	Эксплуатационные показатели			
		$T_{пр},$ мин	, мг/час	$\theta_k,$ град	$f,$
1.	Полиэтилен + сплав Вуда + графит	8	2,6	70	0,07
2.	Полистирол + сплав Вуда + графит	18	2,5	80	0,08
3.	Капрон + сплав Вуда + графит	10	2,5	70	0,09
4.	Полиэтилен + сплав Вуда + дисульфид молибдена	10	2,5	70	0,07
5.	Полиэтилен + сплав Розе + графит	13	3,2	60	0,09
6.	Полистирол + сплав Розе + графит	14	3,0	90	0,08
7.	Капрон + сплав Розе + графит	14	3,1	70	0,10
8.	Полиэтилен + сплав Розе + дисульфид молибдена	11	2,8	70	0,09
9.	Полиэтилен + сплав Вуда + кристаллический йод	10	2,7	70	0,07
10.	Полиэтилен + сплав Розе + кристаллический йод	12	3,1	70	0,08
11.	Полистирол + сплав Вуда + кристаллический йод	11	3,0	90	0,07
12.	Полиэтилен + сплав Вуда + графит + кристаллический йод	5	2,2	70	0,05
13.	Полиэтилен + сплав Вуда + дисульфид молибдена + кристаллический йод	5	2,1	70	0,04
14.	Полиэтилен + сплав Розе + графит + кристаллический йод	7	2,3	80	0,06
15.	Полистирол + сплав Розе + графит + кристаллический йод	8	2,4	80	0,06

Анализ полученных данных (табл. 2) свидетельствует о существенном влиянии на эксплуатационные показатели многокомпонентных слоёв, создаваемых на поверхностях деталей трибосистем, если учесть, что для принятых условий трения значения этих показателей при контакте образцов из стали 12Х3Н с быстрорежущей сталью Р6М5 составляли:  $T_{пр} = 18$  мин,  $\Delta U = 10,4$  мг/час,  $\theta_k = 160^\circ\text{C}$ ,  $f = 0,38$ .

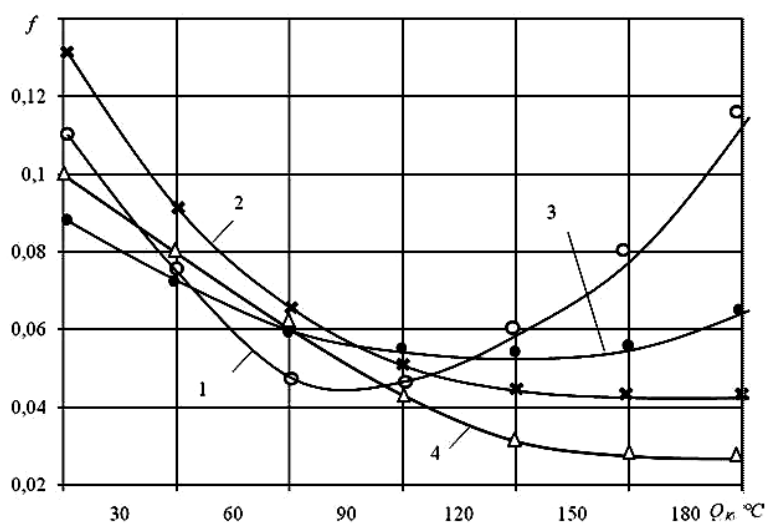
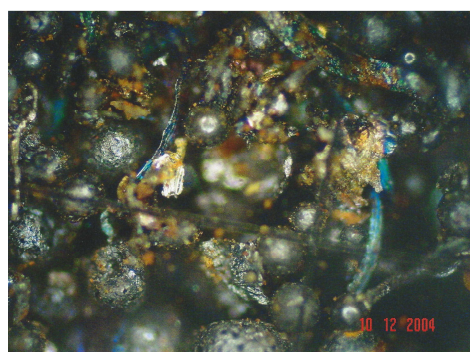


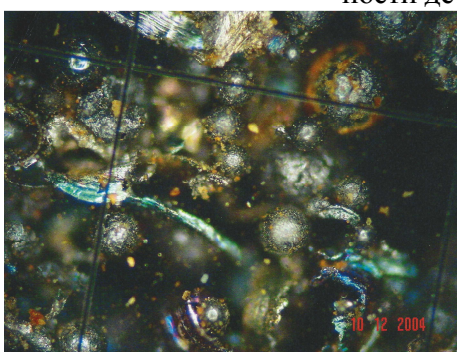
Рис. 2. Изменение коэффициента трения  $f$  от температуры в зоне контакта  $\Theta_k$  от состава многокомпонентного слоя: 1 – полиэтилен + сплав Вуда + графит; 2 – полиэтилен + сплав Розе + графит; 3 – полиэтилен + сплав Вуда + графит + кристаллический йод; 4 – полиэтилен + сплав Розе + графит + кристаллический йод

Следует также отметить, что использование многокомпонентного слоя, в состав которого входит сплав Розе (температура плавления  $93^{\circ}\text{C}$ ), более эффективно при температурах в зоне контакта взаимодействующих поверхностей более  $100^{\circ}\text{C}$ , о чём свидетельствуют графики зависимости коэффициента трения  $f$  от температуры  $\Theta_k$ , полученные при  $p = 1,5 \text{ МПа}$ ,  $V_{ск} = 0,3 \text{ м/с}$  и внешнем нагреве исследуемой трибосистемы до температуры  $100^{\circ}\text{C}$  (рис. 2).

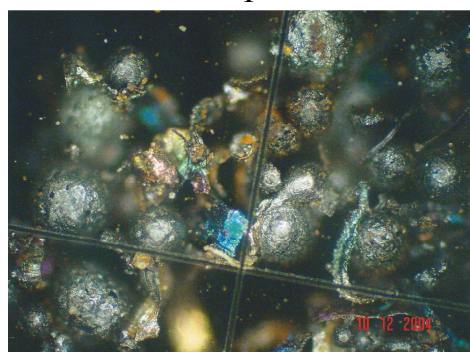
Для объяснения причин, обуславливающих повышение работоспособности деталей трибосистем



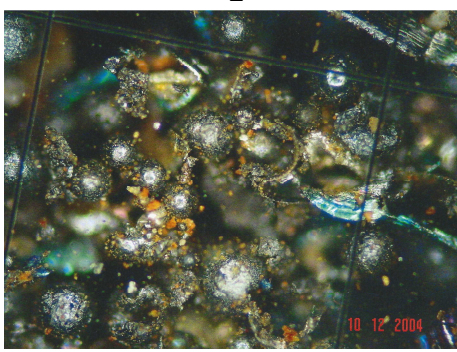
1



2



3



4

Рис.3. Фотографии кластерного строения поверхностей деталей трибосистем с нанесёнными на них многокомпонентными слоями после 30 мин эксплуатации: 1 – полиэтилен + сплав Вуда + графит; 2 – полиэтилен + сплав Розе + графит; 3 – полиэтилен + сплав Вуда + графит + кристаллический йод; 4 – полиэтилен + сплав Розе + графит + кристаллический йод (увеличение 100)

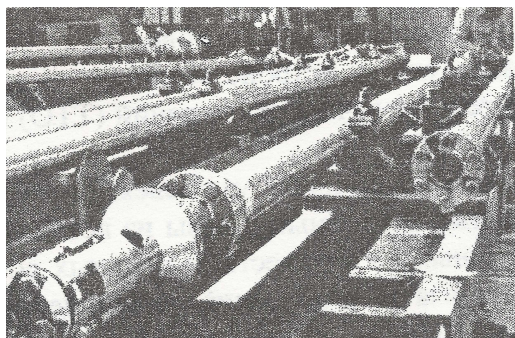
путём создания на их рабочих поверхностях многокомпонентных слоёв, на интерференционном микроскопе МИМ-4М были проведены металлографические исследования их состояния после приработки контактирующих поверхностей.

Представленные на рис. 3 фотографии состояния материалов поверхностных слоёв деталей

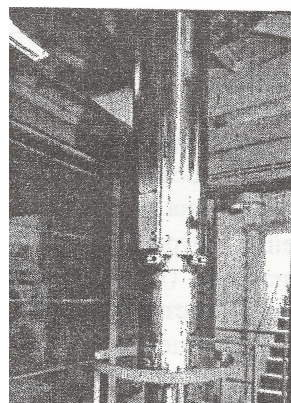


трибосистем после 30 мин. эксплуатации свидетельствуют о сложных изменениях в структуре, предварительно созданных многокомпонентных слоёв, приведших к формированию кластеров.

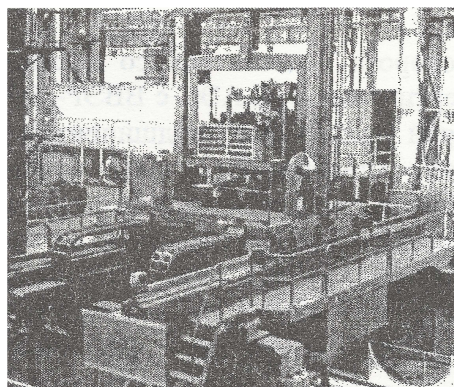
Результаты выполненных исследований были рекомендованы для повышения работоспособности трибосистем, входящих в механизмы машины перегрузочной МП-1000 водо-водяного энергетического реактора типа ВВЭР, отдельные устройства которой представлены на рис. 4. Подконтрольная эксплуатация этих устройств в течение трёх лет показала, что нанесение на поверхности деталей трибосистем многокомпонентного слоя (полиэтилен + сплав Вуда + графит + кристаллический йод) позволяет на 20% увеличить межремонтный период при сохранении заданной надёжности реактора.



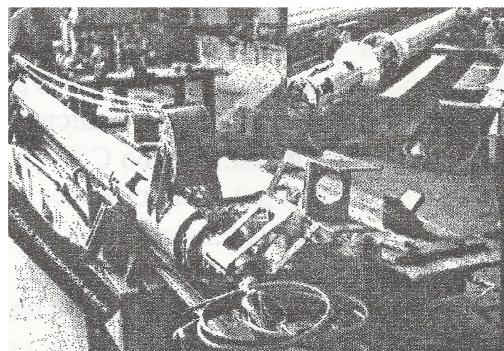
1



2



3



4

Рис. 4. Устройства машины перегрузочной МП-1000 водо-водяного энергетического реактора: 1 – грузовая тележка; 2 – сборка рабочей штанги; 3 – рабочая и телевизионная штанги (сборка для зачистки); 4 – сборка телевизионной штанги

**Список литературы:** 1. Бутенко В.И. Структура и свойства поверхностного слоя деталей трибосистем. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – 367 с. 2. Бутенко В.И. Управление нанотрибологическими характеристиками поверхностей тяжело нагруженных опор и подшипников скольжения. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 385 с. 3. Бутенко В.И. Технология создания металлополимерных слоёв на контактных поверхностях деталей трибосистем // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2011, № 12. – С. 38 – 46. 4. Бутенко В.И. Научные основы нанотрибологии. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 275 с.

## ОСОБЕННОСТИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЖАРОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Бутенко В.И., Гусакова Л.В.**

*ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия*

Одним из главных направлений развития современного машиностроения является освоение прогрессивных технологий по улучшению показателей качества поверхностного слоя материалов, определяющих эксплуатационные свойства изделий, в том числе связанных с процессами шлифования.

В современном машиностроении находят широкое применение жаропрочные сплавы ХН77ТЮР, ХН62МВКЮ (ГОСТ 5632-72), относящиеся к материалам IV группы обрабатываемости.

Материалы IV группы обрабатываемости – жаропрочные сплавы. Они имеют в своём составе упрочняющие интерметаллидные  $\gamma'$  – фазы и карбиды, высокую микротвёрдость (HV 2030 – 2060), что приводит к интенсивному выкрашиванию абразивного круга. При шлифовании жаропрочных сплавов наблюдается налипание частиц шлифуемого материала на изношенные площадки абразивных зёрен, которое вызывает трение металла по металлу, увеличивает тепловыделение, снижает режущую способность круга и качество шлифованных поверхностей [1-2].

Таким образом, шлифование сплавов IV группы обрабатываемости является дорогостоящей операцией из-за быстрого износа абразивного инструмента. Качественные показатели поверхностного слоя, прижоги и высокая шероховатость поверхности детали после обработки дают основание для разработки новых абразивных инструментов.

Ещё в 1950-х годах французские инженеры Робертс и Фьюри [3] обнаружили аномальное повышение стойкости резцов при обработке титановых сплавов и коррозионно-стойкой стали с введением микродоз йода в состав смазочного средства. Фьюри было также установлено, что действие йода эффективно и при трении. Так, было зафиксировано [3], что введение микродоз присадок йода (0,01-0,001 %) в состав смазочного средства в несколько раз уменьшает коэффициент трения. Дальнейшие работы [4-5] подтвердили, что наибольшая эффективность от использования йода зафиксирована при обработке лезвийным и абразивным инструментом титана и его сплавов. Авторы [3-6] объясняют высокую эффективность йодосодержащих технологических средств адсорбционной и химической активностью йода по отношению к металлам, его способностью образовывать комплексные соединения, благоприятно влияющие на снижение температуры в зоне контакта абразивного зерна с обрабатываемым материалом.

Экспериментально установлено [6], что применение паров йода или йодосодержащих смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) обеспечивает химическую реакцию радикалов йода с металлами (никелем, титаном, железом) при температуре 260 – 420°C с образованием неустойчивых соединений. Возгоняющиеся йодистые плёнки создают благоприятную газовую атмосферу, обеспечивающую минимальное трение. Плёнки соединений йода имеют «рыхлое» строение и низкую температуру плавления [6]. Электронно-микроскопическое исследование контактных поверхностей резцов, стружек и свободных поверхностей показывает, что применение паров йода или йодосодержащих СОТС действительно способствует образованию рыхлых тонких смазочных плёнок толщиной 80 – 100 Å.

Исследования профессоров Латышева В.Н. и Наумова А.Г. по составу и эффективности йодосодержащих СОТС дают основание полагать, что подобные СОТС не могут быть применены при обработке жаропрочных сплавов, так как при шлифовании

жаропрочных сплавов температуры в зоне контакта абразивного круга и детали превышают  $420^{\circ}\text{C}$  – температуру стабильного состояния йода.

Роберт Ф. Ролстен исследовал получение металлов высокой чистоты. Одним из методов, который успешно применяют для получения чистых металлов, является йодидный метод. Он заключается в том, что из элементарного йода и нерафинированного металла получают летучий йодид металла, который при нагревании разлагается на чистый металл и газообразный йод.

Муассан, Билтц и Бирк [7] получили диодид хрома путём нагревания  $\text{CrI}_3$  до  $300\text{--}350^{\circ}\text{C}$  в водороде. Красновато-коричневые игольчатые кристаллы были полностью растворимы в воде. Диодид хрома плавится и кипит при  $856$  и  $1248^{\circ}\text{C}$  соответственно. Таким образом, полученный диодид можно применять при обработке металла в технологической среде высоких температур.

Йод малоактивен при низких температурах, при повышении температур распадается на активные радикалы, химически взаимодействующие с металлами с образованием соответствующих йодидов. Исследуя механизм действия йода при трении, Ф.П. Боуден [6] отмечал, что химические плёнки, образованные в результате реакции паров йода и металла, имеют коэффициент трения в четыре раза более низкий, чем чистые поверхности металла.

Таким образом, вследствие образования граничных плёнок уменьшается схватывание, механическое и диффузионное взаимодействие зерен шлифовального круга и обрабатываемого материала. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что в процессе шлифования, образующиеся йодидные соединения влияют на изменение коэффициента трения в связи с их способностью создавать устойчивые смазочные пленки на поверхности шлифующих зерен и связки круга о шлифуемую поверхность. В это же время однородная мелкозернистая структура ферритного чугуна позволяет избежать в абразивном инструменте локальных участков с резко отличающей твердостью. Применение в составе абразивной массы в качестве дополнительного компонента – ферритного чугуна обеспечивает более однородную структуру многосекторного разнотернистого круга.

Для проведения предварительных исследований по определению эффективности применения диодида хрома в абразивных инструментах за счёт снижения температуры шлифования изготавливались бруски из абразивной массы следующего состава, масс. %:

Абразив	35 – 50
Полиэтиленполиамин	3,5 – 5,0
Органический модификатор	2,5 – 3,5
Высокопрочный ферритный чугун (фракции не более $5 \cdot 10^{-5}$ м)	20 – 25
Диодид хрома плотностью $4,91 \text{ г/см}^3$	0,6 – 0,7
Эпоксидная смола ЭД-5	Остальное

На предлагаемую массу для изготовления абразивного инструмента получен Патент РФ № 2392109 [8]. На образцах с эпоксидной смолой проводились предварительные исследования с целью определения оптимального количества диодида хрома, добавляемого в абразивную массу.

Выполненными исследованиями установлено [6], что, обладая адсорбционной и химической активностью, высвобождаемый в зоне контакта абразивного инструмента и обрабатываемого материала йод способен создавать на поверхности детали комплексные соединения – йодиды, обладающие низким коэффициентом трения. В результате уменьшается локальная температура в зоне контакта абразивного зерна с обрабатываемым материалом, снижается вероятность плавления материала, что приводит к уменьшению засаливания шлифовального круга и количества зон и площади прижогов на обработанной поверхности.

На плоскошлифовальном станке мод. 3Б722 способом «обратной пары» проводилась обработка дисков из стали 20ХН2МА диаметром  $320 \text{ мм}$  и высотой  $30 \text{ мм}$ . Приго-

товленные по вышеизложенной методике абразивные бруски имели размеры  $B \times H \times L = 20 \times 10 \times 100$  мм. Исследования проводились при скорости круга  $v_K = 31,6$  м/с; продольной подаче  $S_{\text{пр}} = 0,02$  мм/с;  $S_{\text{вр}} = 0,01$  мм/дв.ход. В качестве СОТС использовалась Аквол-5 путём подачи напорной струи.

При проведении сравнительных испытаний различных составов абразивной массы с целью установления наиболее эффективного состава определялись средняя температура шлифования в зоне контакта абразивного бруска с обрабатываемым материалом  $\Theta$ , количество прижогов на поверхности диска  $N_{\text{п}}$ , и съём металла  $Q_m$  за 30с обработки.

Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты сравнительных испытаний различных составов абразивных инструментов

№ п/п	Состав массы для абразивного инструмента, масс. %						Температура в зоне контакта $\Theta$ , °C	Площадь прижогов $\Delta N_{\text{п}}$ , %	Съём металла $Q_m$ , с
	Абразив	ПЭ ПА	Органич. модификатор	Высокопроч. ферритный чугун	Дийодид хрома	Эпоксидная смола			
1.	30	2	1,25	25	0,25	41,5	800	40	0,815
2.	35	2,5	1,25	30	0,4	30,95	750	42	0,880
3.	40	2,5	1,5	30	0,5	30,7	600	20	0,954
4.	40	3	2	35	0,6	19,7	650	18	1,106
5.	45	4	2,5	35	0,7	13,1	620	18	1,110
6.	50	4	3	35	0,8	7,6	700	30	0,896
7.	50	5	3	40	0,9	1,5	800	39	0,810

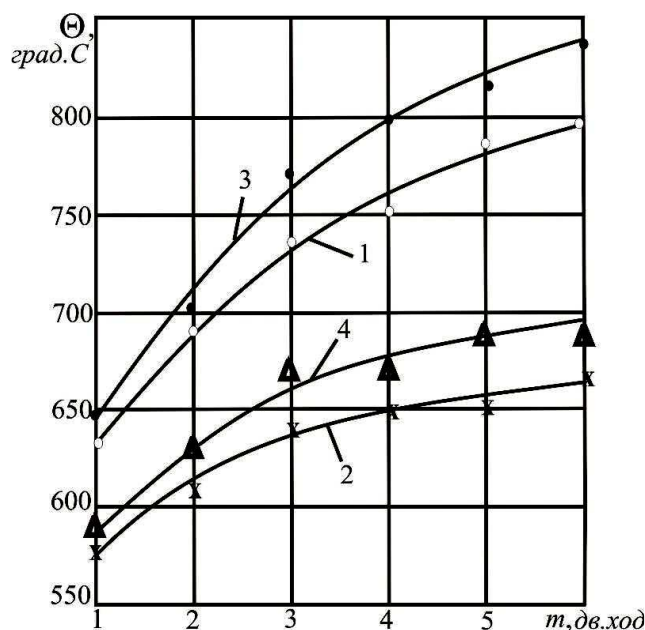


Рис. 1. Изменение температуры в зоне контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью  $\Theta$  от числа проходов  $m$  при обработке сплавов ХН62МВКЮ (кривые 1,2) и ХН77ТЮР (кривые 3,4) кругом без диоксида хрома (кривые 1,3) и с диоксидом хрома (кривые 2,4)

Из таблицы видно, что эффективность обработки в сравнении со справочными значениями, отмечаются у абразивных инструментов, имеющих в своем составе следующее соотношение компонентов, масс. %: абразив, электрокорунд белый 25А, зернистости 2 (35 – 50); полиэтиленполиамин – 2,5 – 5,0; органический модификатор – 1,5 – 3,0; высокопрочный ферритный чугун – 30 – 40; диоксид хрома – 0,6 – 0,7; эпоксидная смола ЭД-5 – остальное.

Было установлено, что использование при шлифовании кругов, содержащих диоксид хрома и ферритный чугун, более

чем на 20% снижает температуру в зоне контакта и это снижение увеличивается с увеличением числа двойных ходов стола станка (рис. 1).

Так как износостойкость детали во многом зависит от состояния материала поверхностного слоя, на металлографическом микроскопе МИМ-7 исследовались микрошлифы поверхности образцов, прошедшие обработку шлифованием абразивными инструментами разного состава (рис. 2).

Как видно из представленных фотографий микрошлифов, присутствие в абразивном инструменте диоксида хрома обеспечивает более регулярную и равномерную структуру, практически такую, как и основной материал. Это, по-видимому, достигается существенным снижением температуры и напряжённости в зоне контакта обрабатываемого материала и абразивного инструмента.

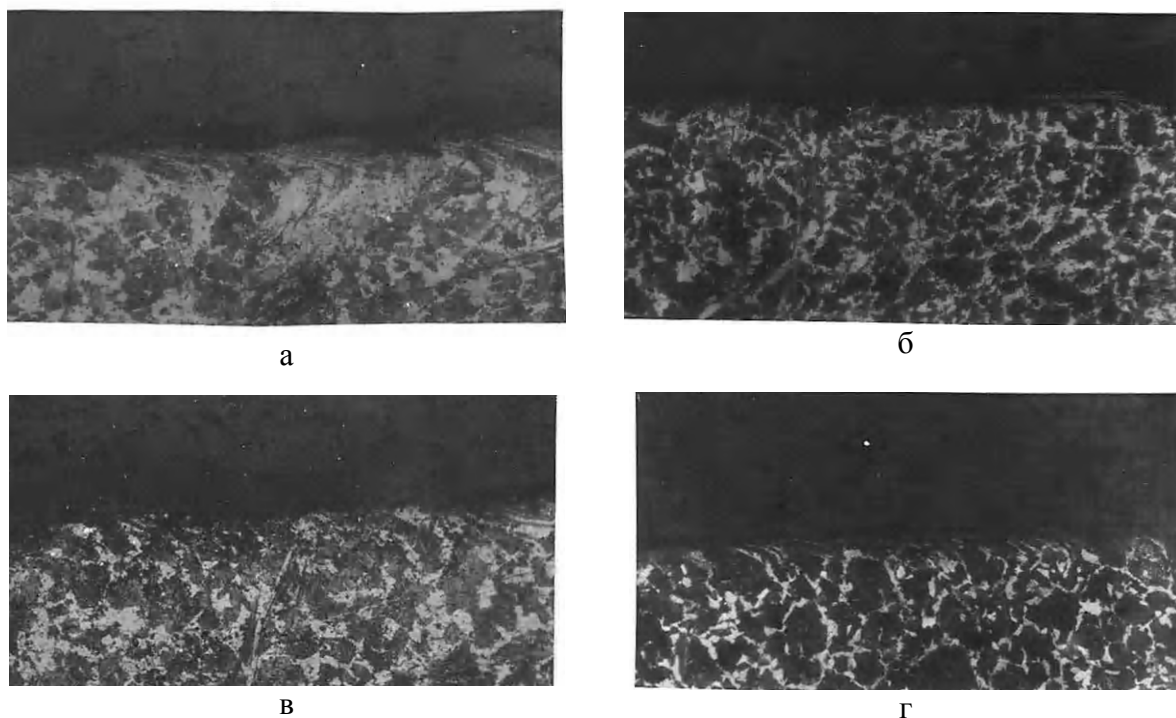


Рис. 2. Микрошлифы поверхностного слоя деталей из сплавов ХН62МВКЮ (а, б), ХН77ТЮР (в, г), обработанных обычным абразивным инструментом (а, в) и с диоксидом хрома (б, г). Увеличение 75

**Список литературы:** 1. Марочник сталей и сплавов / М.М. Колосков, Е.Т. Долбенко, Ю.В. Каширский, и др.; Под общей ред. А.С. Зубченко – М. Машиностроение, 2001. – 672 с. 2. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1965. – 176 с. 3. Фьюри М. Дж. Действие йода при получении низкой величины трения. – Wear, 1965 – Т.9. – №5. – С. 18-23. 4. Латышев В.Н. Повышение эффективности СОЖ. – М.: Машиностроение, 1985. – 64 с. 5. Наумов А.Г. Повышение эффективности лезвийной обработки быстрорежущим инструментом при использовании экологически чистых СОТС // Автореф. д-ра техн. наук. – М.: МГТУ «Станкин», 1999. – 20 с. 6. Латышев В.Н., Наумов А.Г., Раднюк В.С. Применение йода как компонента СОТС при резании металлов. // Металлообработка, 2008, № 3 (45). – С. 9-14. 7. Роберт Ф. Ролстен. Йодидные металлы и йодиды металлов. – М.: Металлургия, 1968. – 502 с. 8. Бутенко В.И., Дуров Д.С., Фоменко Е.С., Гусакова Л.В. / Масса для изготовления абразивного инструмента / Патент РФ № 2392109 класс В24D 3/28. Заявл. 24.12.2008 г. Опубл. 20.06.2010г. Бюл. № 17.



## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНОСА МНОГОКОМПОНЕНТНОГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ ТРИБОСИСТЕМЫ

Бутенко В.И., Кулинский А.Д.

ЮФУ, г. Таганрог, Россия

Тел./факс: +7 (8634) 371622; E-mail: mkk@egf.tsure.ru

**Abstract:** *The model of destruction of a multicomponent layer on a surface of a detail tribo-system is considered from the point of view of interaction clusters and fluctuational packages inside of deformational structure and ratio them energies.*

**Key words:** *serviceability, model, cluster, layer, a deformational field, energy, structure, fluctuational packages.*

Проблема повышения работоспособности деталей трибосистем во многих случаях может быть успешно решена за счёт нанесения на рабочие поверхности деталей многокомпонентных слоёв, включающих полимер, легкоплавкий сплав (Вуда или Розе), твёрдую смазку и другие материалы [1]. Современное состояние проблемы поверхностного разрушения (или изнашивания) трущихся тел таково, что при её изучении в соответствии с общей тенденцией классического подхода к процессам взаимодействия материалов всё большую роль начинают играть нанотрибологические и вероятностные представления [2]. Считается, что дискретность контакта и реальная деформируемость контактирующих зон поверхностных слоёв трущихся тел, характерные для всех известных моделей трения и износа [3], позволяют построить простую модель, непосредственно допускающую динамическую статистическую трактовку нанотрибологических явлений в зоне контакта поверхностей деталей машин с созданными на них многокомпонентными слоями. При этом возможно несколько подходов при конструировании микроскопической модели взаимодействия трущихся поверхностей. Однако наиболее приемлемым является картина взаимодействия, при которой можно постулировать существование некой динамической деформационной структуры, отличающейся от начальной структуры, и, подчинив её поведение определённым условиям, судить об отвечающих им силах взаимодействующих поверхностей.

При таком подходе к взаимодействию поверхностей деталей трибосистем следует учитывать тот факт, что деформационное поле, возникающее в многокомпонентных слоях, неоднородно и нерегулярно. Такая неоднородность и нерегулярность может задаваться как естественной, полученной в процессе обработки детали, так и искусственной, обусловленной процессами трения, шероховатостью поверхностей, дискретностью состояния контакта, реальной структурой материала, включая дефекты, а также случайными колебаниями внешних и внутренних условий трения. В этом смысле элемент случайности в схеме трения не является только привнесённым фактором, но на определённом уровне оказывается и существенным элементом механизма трения.

Пусть при трении в многокомпонентном слое образуется некая деформационная динамическая структура, связанная полем сил случайного происхождения. Можно выделить некоторый устойчивый элемент этой структуры – кластер, то есть своеобразную «турбулентность» с линейным масштабом  $l$  и энергией границы порядка  $\pi l^2 \sigma_c$ , где  $\sigma_c$  – эффективная удельная поверхностная энергия, включающая и работу пластической деформации (в дальнейшем она будет называться показателем высокоэластичной деформации [1]). В общем случае такой кластер может смещаться и поворачиваться под действием случайных толчков со стороны окружения, подобно броуновской частице, порождая локализованные деформационные образования типа флуктуационных волновых пакетов с линейным масштабом  $a$ , затухающих на длинах порядка  $\xi$ ; можно также ввести линейный масштаб  $L$ , отвечающий обычным упругим волнам, взаимодействующим как с кластерами, так и с флуктуационными пакетами. Тогда при трении поверхностей

деталей с многокомпонентным слоем диссипация энергии внешнего источника произойдет не непосредственно, а через локальные флуктуации этой образующейся при соприкосновении промежуточной структуры – как бы ступеньки, равновесной (или квазиравновесной) в механо-статистическом смысле.

При такой схеме разрушение многокомпонентного слоя на поверхности детали (или его изнашивание) можно рассматривать как побочный процесс, отвечающий взаимодействию аномальных кластеров (или их пакетов), несущих в себе зоны ослабленных связей и разрывы, отвечающие аномальным смещениям и поворотам отдельных зёрен или элементарных объёмов материала. Тогда энергия дисперсных частиц, образующихся в результате взаимодействия флуктуационных пакетов подобно энергии границ кластеров может быть выражена через площадь их поверхности, если в соответствии с известными представлениями о процессах поверхностного разрушения материалов [4] воспользоваться понятием эффективной поверхностной энергии, включающей и работу пластической деформации.

Пусть ансамбль кластеров (в частности, отдельный кластер) удовлетворяет условиям канонического распределения Гиббса с модулем  $\Theta$ . Такие условия заключаются в наличии у ансамбля некоторого окружения, с которым происходит обмен энергией при достаточно слабом их взаимодействии. Тогда линейный размер кластера на поверхности многокомпонентного слоя  $b$  определится по формуле:

$$b = (\pi l^2 \rho_v), \quad (1)$$

где  $\pi l^2$  – эффективное сечение кластера;

$\rho_v$  – объёмная плотность материала многокомпонентного слоя на поверхности детали трибосистемы.

Параметр  $b$  отражает связь частоты взаимодействий кластеров и флуктуационных пакетов внутри деформационной структуры многокомпонентного слоя с нерегулярностью процесса микроконтактирования на границе поверхностей трения. Поэтому имеет смысл определить другой масштабный параметр  $\xi$ , представляющий собой интервал затухания флуктуационных пакетов:

$$\xi = \sigma_c / p = - \sigma_c \Delta S / P, \quad (2)$$

где  $p$  – изотропное давление в системе кластеров;

$P$  – внешняя нагрузка на трущиеся поверхности деталей трибосистемы;

$\Delta S$  – принятая элементарная площадь поверхности с многокомпонентным слоем.

Параметр  $\xi$  отражает связь размеров области «возмущения» внутри деформационной структуры с номинальным и локальным давлением на поверхности. Этот параметр в известной мере аналогичен соответствующим линейным параметрам в теории турбулентности [4], взаимодействия трещин [1], теории сверхпроводимости и т.д.

Параметры  $b$  и  $\xi$  можно объединить в одну безразмерную величину  $\beta$  следующим соотношением:

$$\beta = \pi \xi / b. \quad (3)$$

Тогда из выражений (1) и (2) получается

$$p = \rho \pi^2 l^2 \sigma_c / \beta. \quad (4)$$

Используя формулы (1) – (4), можно получить следующие соотношения:

$$\Theta = \pi^2 l^2 \sigma_c / \beta; \quad (5)$$

$$\beta = \pi^2 l^2 \sigma_c / \Theta. \quad (6)$$

Параметр  $\beta$  имеет смысл отношения энергии границы кластера внутри многокомпонентного слоя к средней энергии нерегулярных колебаний температуры его окружения. Этот параметр играет фундаментальную роль в представляемой модели трения при наличии на поверхности детали многокомпонентного слоя и позволяет определять параметры изнашивания через линейные размеры частиц износа и атомно-молекулярные характеристики взаимодействующих материалов [4].

Для исследования флуктуации энергии в зоне контакта сопряжённой детали с многокомпонентным слоем, а также распределения диспергированных частиц по линейным размерам можно воспользоваться известной формулой для определения веро-

ятности  $d\omega$  флуктуации энергии  $\Delta E(\lambda)$  в квазизамкнутой системе с модулем  $\Theta$ , зависящей от изменения некоторого внешнего параметра  $\lambda$ :

$$d\omega = \text{const} \cdot e^{-\Delta E(\lambda)/\Theta} d\lambda, \quad (7)$$

где  $\text{const}$  – некоторый нормирующий множитель.

Соотношение (7) является следствием сохранения каноничности распределения кластеров в ансамбле при изменении конфигурационной (потенциальной) части энергии элементов этого ансамбля, зависящей от параметра  $\lambda$ , который, в свою очередь, изменяется в зависимости от воздействия внешних сил. Пусть под действием внешних сил изменяется поверхность границы отдельно выделенного в многокомпонентном слое кластера так, что параметром этого изменения является величина  $\lambda = \pi l^2$ . Если допустить, что распределение дисперсных частиц износа, образующихся в результате взаимодействия флуктуационных пакетов, по энергиям их частиц подобно распределению кластеров многокомпонентного слоя, то в соответствии с предлагаемой моделью изнашивания для таких дисперсных частиц должна иметь место формула (7) с параметрами  $\lambda = \pi a^2$ , где  $a$  – в данном случае размер частицы, порядка протяжённости пакета. Тогда для функции распределения частиц износа  $f(a, \beta)$  по линейным размерам на основании формулы (7) можно написать:

$$f(a, \beta) = d\omega/da = \frac{2\beta\alpha}{\pi l^2} \cdot e^{-\beta/\pi(\frac{\alpha}{l})^2}. \quad (8)$$

Так как функция  $f(a, \beta)$  имеет максимум при  $df/da = 0$ , то наиболее вероятный линейный размер частицы износа  $l_{\text{вер}}$  будет равен:

$$l_{\text{вер}} = l (\pi/2\beta)^{1/2}. \quad (9)$$

Модуль квазизамкнутой системы  $\Theta$  с учётом зависимостей (5), (6) и (9) определится по формуле:

$$\Theta = 2\pi l_{\text{вер}}^2 \cdot \sigma_c. \quad (10)$$

Анализ полученных зависимостей (9) и (10) позволяет сделать вывод о том, что энергия деформационной структуры складывается из энергии дисперсных частиц износа и при прочих равных условиях даёт возможность понять механику изменения степени шероховатости истираемой поверхности, тесно связанной с размером дисперсных частиц, с изменением шероховатости сопряжённой поверхности детали трибосистемы.

Большую практическую значимость при исследовании процесса износа многокомпонентного слоя на поверхности детали трибосистемы имеет локальный перенос частиц в зоне контакта взаимодействующих материалов, скорость их диспергирования, а также рассеиваемая мощность и сила трения. Известно, что при рассмотрении любой трибосистемы наблюдается диссипация энергии в зоне контакта, которая приводит к неравновесности и необратимости всего процесса изнашивания на фоне чрезвычайно простой видимости картины износа. При определённых условиях диссипацию энергии внешнего источника рассматривать и через равновесную систему, если допустить возникающие в зоне контакта тепловые колебания сравнительно слабыми [4]. В этом случае локально-равновесная функция распределения  $f_o$  будет иметь следующий вид:

$$f_o = -\frac{\ell}{3} U \frac{d\omega(x)}{dx}, \quad (11)$$

где  $U = \int_0^\infty u f_o du$  – некоторая средняя скорость переноса частиц на поверхности многокомпонентного слоя.

Полагая  $\omega(x) = N_o(x)g$ , где  $N_o(x)$  – объёмная плотность кластеров на поверхности многокомпонентного слоя, а  $g$  – переносимая ими величина (масса, импульс, энергия), отождествляя  $U$  с относительной скоростью трущихся поверхностей деталей  $U_{12}$ , заменяя градиент  $d\omega/dx$  соотношением  $gN_o/\xi$  и учитывая уравнения (2), (9), интенсивность переноса частиц в многокомпонентном слое  $I$  определится по формуле

$$I = g P U_{12} / 3 \pi l_{\text{вер}}^2 \cdot \sigma_c \cdot \left( \frac{N}{\rho} \right), \quad (12)$$

где  $N/\rho$  – относительная объёмная плотность кластеров в зоне контакта на поверхности многокомпонентного слоя.

Величина относительной объёмной плотности кластеров  $N/\rho$ , обусловленная случайными моментами, действующими на них со стороны их окружения, приводит к закручиванию частиц в многокомпонентном слое в сторону трения, что создаёт соответствующий нескомпенсированный поток флуктуационных пакетов. При этом работа для получения вращательной флуктуации кластера относительно направления трения под действием вращательного момента  $M = P \cdot q$  (здесь  $q$  – плечо силы  $P$ ) вызовет в локальной зоне контакта всплеск энергии  $\Delta E$ , определяемый по формуле:

$$\Delta E = -P \cdot q \cos \square = \pi l^2 \sigma_c, \quad (13)$$

где  $\square$  – вероятный угол поворота кластера многокомпонентного слоя относительно направления трения.

Как показывают наблюдения, величина угла  $\square$  при различных условиях трения может изменяться в диапазоне  $0 \leq \square \leq \pi$ , что даёт право сделать следующую запись:

$$\cos \square = L(\alpha), \quad (14)$$

где  $L(\alpha)$  – функция Ланжевена;  $L(\alpha) = \frac{1}{\alpha} \text{cth } \alpha$ ,  $\alpha = P \cdot q / \Theta = \pi l^2 \sigma_c \Theta$  (при детерминировании) и  $\alpha = \pi l^2 \sigma_c / \Theta$  (при разрушении).

Тогда формула (12) запишется в следующем обобщённом виде:

$$I = g P U_{12} / 3 \pi l_{\text{вер}}^2 \cdot \sigma_c \cdot L(\alpha). \quad (15)$$

При  $g = m = \rho \pi l^3 / 6$ , где  $m$  – масса флуктуационного пакета или кластера при  $P \cdot q = \pi l^2 \sigma_c$  формула (15) для определения скорости диспергирования многокомпонентного слоя на поверхности детали трибосистемы  $I_m$  может быть представлена в виде следующей зависимости:

$$I_m = \frac{\rho}{18} (a/l)^3 l P U_{12} L[\beta/\pi(a/l)^2]. \quad (16)$$

Применительно к усталостному изнашиванию многокомпонентного слоя на поверхности детали трибосистемы может быть выделен изотропный коэффициент трения сцепления  $f_o$ , а в отношении  $N/\rho$  множителем  $\exp(-p/p_{\text{max}})$  учтено влияние «раздавливания» отдельных кластеров под воздействием внешних факторов и режимов трения (здесь  $p$  – номинальное давление в зоне контакта;  $p_{\text{max}}$  – критическое давление, при котором возможно «раздавливание» кластеров многокомпонентного слоя) при том, что незакруглённость кластеров может быть учтена соотношением  $l_s = l\sqrt{2}$  (здесь  $l_s$  – новое значение  $l$ ) формула определения скорости диспергирования многокомпонентного слоя будет иметь следующий вид:

$$I_m = f_o (a/l_s)^3 (\rho l_s P U_{12} / 18 \sqrt{2} \sigma_c) \exp^{-p/p_{\text{max}}} L[\beta/\pi \sqrt{2} (a/l_s)^2] \quad (17)$$

Выполненные аналитические исследования процесса износа многокомпонентного слоя на поверхности детали трибосистемы позволили создать вероятную модель изнашивания и выяснить возможность управления ею. Ценность выполненных исследований, на наш взгляд, состоит также в том, что благодаря им экспериментально была установлена зависимость относительной интенсивности изнашивания многокомпонентных слоёв от их состава. Используя метод планирования эксперимента типа  $2^k$  [5], была получена следующая эмпирическая зависимость относительной интенсивности изнашивания  $I$  от состава многокомпонентного слоя на полимерной основе:

$$i = C_i \sigma_c^m V_I^{x1} V_2^{x2} V_3^{x3} \dots \quad (18)$$

где  $i = I/I_m$ ; здесь  $I_c$  – интенсивность изнашивания многокомпонентного слоя при заданных в зоне контакта значениях давления  $p$ , скорости скольжения  $V_{\text{ск}}$  и температуре

$T$ ;  $I_m$  – интенсивность изнашивания материала детали трибосистемы без многокомпонентного слоя при тех же значениях режимов трения:  $p$ ,  $V_{ск}$  и  $T$ ;

$C_i$  – коэффициент, зависящий от физико-механического состояния материала поверхностного слоя сопряжённой детали; при наличии на контактирующих поверхностях деталей трибосистем одного и того же многокомпонентного слоя

$$C_i = 1,0;$$

$V_1, V_2, V_3, \dots$  – объёмное содержание компонентов в слое, причём

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots = 1,0;$$

$m$  – показатель степени, учитывающий эффективную удельную поверхностную энергию  $\sigma_c$  конкретного полимера, входящего в состав многокомпонентного слоя;

$x_1, x_2, x_3, \dots$  – показатели степеней, определяющие степень влияния конкретного компонента на относительную интенсивность изнашивания слоя  $i$ .

В табл. 1 приведены некоторые значения коэффициента  $C_i$  в зависимости от физико-механического состояния материала поверхностного слоя сопряжённой детали, характеризуемого его твёрдостью  $H_v$ , параметром шероховатости  $R_a$ , отношением среднего шага неровностей  $S_m$  к округлению их вершин  $r$  и независимым параметром  $\Delta$ , представляющем собой безразмерное отношение вида [6]

$$\Delta = R_{max} / (r \cdot b^{1/v}), \quad (19)$$

где  $R_{max}$  – максимальная высота неровности на базовой длине поверхности;

$r$  – средний радиус округления вершин неровностей;

$b$  и  $v$  – параметры степенной аппроксимации 1-го участка относительной опорной кривой профиля поверхности, определённых на заданном уровне  $R_a / R_{max} = 0,3$ .

Таблица 1. Значения коэффициента  $C_i$  для условий трения:  $p = 0,2 - 1,2$  МПа;  $V_{ск} = 0,1 - 0,5$  м/с;  $T = (20 - 50)^\circ\text{C}$

$C_i$	$R_a$ , мкм	$H_v \cdot 10^2$ , Па	$S_m/r$	$\Delta$
3,25 – 3,40	0,8 – 1,2	3,2	3,26 – 3,35	0,09 – 0,11
3,12 – 3,25	0,6 – 0,8	3,0	3,15 – 3,25	0,08 – 0,10
3,03 – 3,12	0,4 – 0,7	2,8	3,00 – 3,15	0,07 – 0,09
2,85 – 3,03	0,4 – 0,6	2,8	2,90 – 3,00	0,06 – 0,08
2,70 – 2,85	0,3 – 0,5	2,6	2,75 – 2,90	0,05 – 0,07

В табл. 2 приведены значения показателей степеней  $x_1, x_2, x_3, x_4$  для некоторых материалов, входящих в состав создаваемых на поверхностях деталей трибосистем многокомпонентных слоёв.

Таблица 2. Значения показателей степеней  $x_1, x_2, x_3, x_4$  материалов, входящих в состав многокомпонентных слоёв ( $p = (0,5 - 0,8)$  МПа;  $V_{ск} = (0,2 - 0,3)$  м/с;  $T = 30^\circ\text{C}$

Материал	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
Полиэтилен	0,35			
Полистирол	0,38			
Сплав Вуда		0,42		
Сплав Розе		0,40		
Графит			0,24	
Дисульфид молибдена			0,22	
Кристаллический йод				0,18

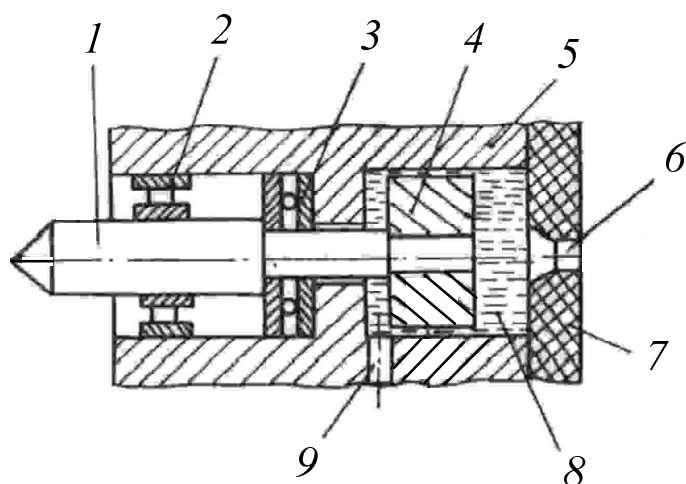


Рис. 1. Схема шпиндельного узла задней бабки гидрокопировального станка: 1 – шпиндель, 2 – роликовый подшипник, 3 – радиально-упорный шариковый подшипник, 4 – шип, 5 – втулка, 6 – отверстие для подачи масла, 7 – уплотнительная крышка, 8 – масляное пространство, 9 – отверстие для слива масла

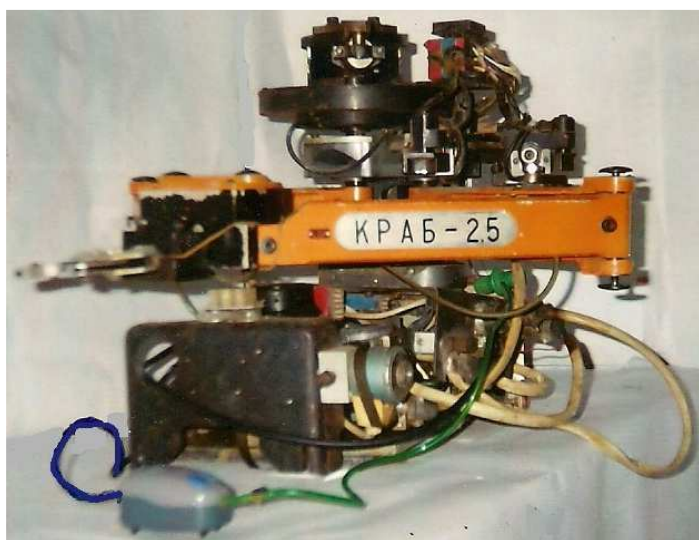


Рис. 2. Общий вид промышленного робота с рекуперацией энергии грузоподъемностью 2,5 кг

Различные составы многокомпонентных слоёв на поверхностях деталей трибосистем прошли производственные испытания и рекомендованы к внедрению в модернизированную конструкцию шпинделя узла задней бабки гидрокопировальных станков, выпускаемых ОАО «Ейский станкостроительный завод» (рис. 1) и механизмах поворота и выдвижения руки промышленного робота с рекуперацией энергии модели «Краб-2,5» (рис. 2).

Проведённые расчёты и подконтрольная эксплуатация указанных гидрокопировальных станков и промышленных роботов показали, что создание на контактных поверхностях деталей трибосистем многокомпонентных слоёв на полимерной основе позволяет повысить вероятность их безотказной работы до 0,95 – 0,97 за наработку 1000 часов и увеличить технический ресурс более чем на 30%.

При этом многокомпонентные покрытия на поверхности деталей могут наноситься либо на токарно-револьверном станке, модернизированном устройством для индукционного нагрева с упрочняющими роликами [7], либо на специальной установке для нанесения покрытий мод. МПС-3М [1].

#### Список литературы:

1. Бутенко В.И. Структура и свойства поверхностного слоя деталей трибосистем. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. – 367 с.
2. Бутенко В.И. Управление нанотрибологическими характеристиками поверхностей тяжело нагруженных опор и подшипников скольжения. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 385 с.
3. Бутенко В.И. Износ деталей трибосистем. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – 236 с.
4. Цеснек Л.С. Статистическая интерпретация механического изнашивания трущихся тел. / В кн.: Контактное взаимодействие твёрдых тел и расчёт сил трения и износа. – М.: Наука, 1971. – С. 176 – 187.
5. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1971. – 283 с.
6. Комбалов В.С. Оценка триботехнических свойств контактирующих поверхностей. – М.: Наука, 1983. – 136 с.
7. Бутенко В.И. Технология создания металлополимерных слоёв на контактных поверхностях деталей трибосистем. // Научно-ёмкие технологии в машиностроении, 2011, №12. – С. 38 – 46.

## К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОСТОВЫХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КРАНОВ ЗА СЧЕТ ОЦЕНКИ ИХ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

**Водолазская Н.В.**

*ДонНТУ, г. Донецк, Украина*

Ведущее место среди системы машин, используемых для механизации монтажных и погрузочно-разгрузочных работ, занимают мостовые и металлургические краны. Эти краны выполняют разнообразные подъемно-транспортные операции при сборке и изготовлении машиностроительной продукции, а также в технологических процессах металлургической промышленности. Основной их номенклатурой являются краны общего назначения (грузоподъемностью 5...320 т), литейные (от 80 т до 630 т), мультисаважные (30...50 т), колодцевые, для освобождения слитков от изложниц (стрипперные), для транспортирования слябов и ковочные краны. Они относятся к оборудованию циклического действия, так как их рабочий процесс состоит из отдельных чередующихся циклов, включающих рабочие и вспомогательные периоды.

В зависимости от интенсивности их использования все краны разделяются на три класса [1]: *A* – периодическая нерегулярная работа с большими простоями; *B* – работа с регулярными перерывами; *C* – почти непрерывная работа с интенсивной нагрузкой.

Графики, соответствующие трем случаям действия нагрузки, представлены на рисунке 1, где цифрами обозначены следующие кривые:

1 – краны, поднимающие номинальные грузы очень редко (например, мостовые краны на электростанциях),

2 – краны, поднимающие грузы весом от минимального до номинального (например, краны в цехах машиностроительных заводов),

3 – краны, постоянно поднимающие грузы, вес которых приближается к номинальному (например, транспортные краны прокатных цехов).

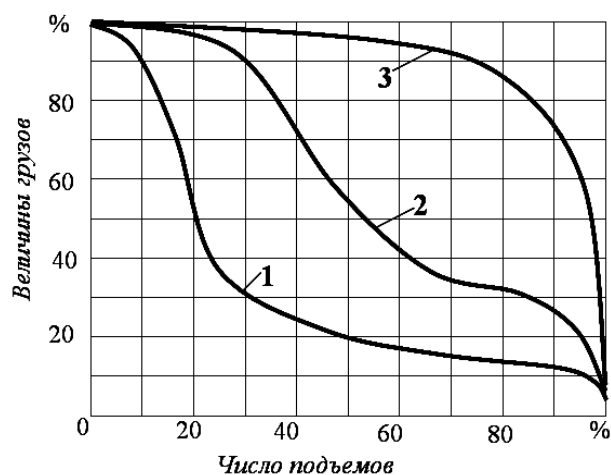


Рис. 1. Характер действия нагрузки

Переход предприятий на рыночные отношения обуславливает повышение конкурентоспособности грузоподъемных кранов и качества их эксплуатации.

Применение современных моделей грузоподъемных кранов обеспечивает выполнение требований технологии производства монтажных и погрузочно-разгрузочных работ, рост производительности и улучшение условий труда обслуживающего персонала, но

достигается это за счет усложнения конструкций машин. Естественно их эксплуатация становится дороже использования моделей предыдущих поколений. Однако, с учетом кризисных явлений, имеющих место в последние годы, многие особенно металлургические предприятия Украины вынуждены использовать устаревшее оборудование, в том числе и краны, отработавшие свой нормативный срок. По оценкам специалистов [2, 3, 4, 5] к моменту окончания нормативного срока службы у 80% кранов остаточный ресурс не исчерпан. Это объясняется не только значительным разбросом их долговечности в зависимости от свойств материалов конструкций и условий эксплуатации (см. рис. 1), но и заниженными расчетами значений нормативного срока службы как меры



ресурса. Следовательно, нормативный срок службы не является предельным значением работоспособности грузоподъемных кранов. Поэтому для обеспечения максимально длительной надежной и безопасной работы кранов с истекшим нормативным сроком службы требуется решение проблемы оценки их остаточного ресурса.

Целью данной работы является проведение анализа остаточного ресурса мостовых и металлургических кранов для повышения их надежности и безопасной эксплуатации. Для решения поставленной задачи были проанализированы дефектные ведомости по ряду мостовых кранов [6]. Соотношение наиболее часто встречающихся дефектов мостовых кранов класса *B* (среднего режимов работы грузоподъемностью 5 т) представлено на рисунке 2.

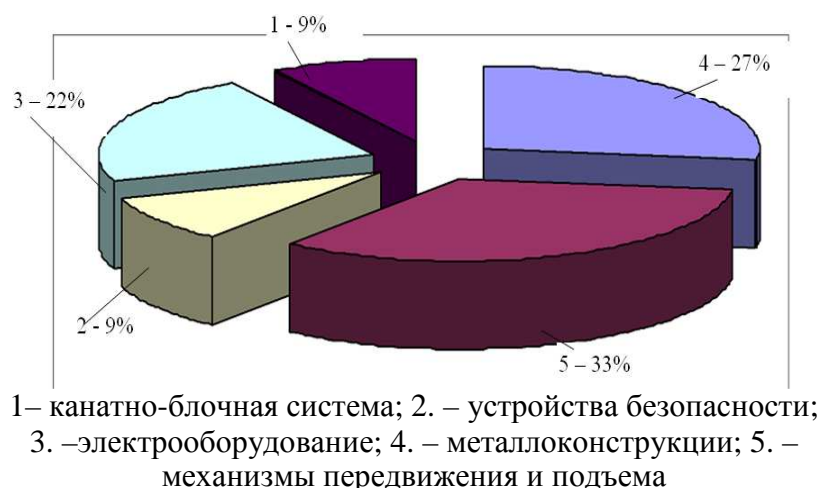


Рис. 2. Соотношение дефектов мостовых кранов класса *B*

Проведенный анализ показал, что наиболее распространенными дефектами грузоподъемных кранов являются механизмы передвижения и подъема (33%), а также металлоконструкции (27%). Особый интерес представляют металлоконструкции кранов, с истекшим нормативным сроком службы, т. к., значения остаточного ресурса таких

металлоконструкций позволяют установить календарные сроки их безопасной эксплуатации, ремонта и плановой замены. В свою очередь, участки металлоконструкций кранов, где чаще всего образовывались дефекты, распределились в следующей последовательности, представленной в таблице 1.

Таблица 1. Элементы дефектных металлоконструкций

№ п/п	Название элемента дефектной металлоконструкции	% обнаруженных дефектов
1	Концевая балка	25,14
2	Грузовая тележка	17,88
3	Крепление кабины машиниста крана	12,85
4	Главная балка	10,06
5	Площадка под редуктор хода моста крана	5,03
6	Галерея	2,79

Из таблицы следует, что наибольшее количество трещин выявляется в концевых балках мостовых и металлургических кранов. На втором месте по числу обнаруженных дефектов стоит грузовая тележка. Следующие дефекты наблюдаются в креплении кабины машиниста, хотя значительного нагружения эта кабина не испытывает. Главная балка, которая в большей степени испытывает грузовые нагрузки, по количеству выявленных дефектов стоит на четвертом месте. Далее следует площадка под редуктором хода моста крана, расположенная на главной балке и являющаяся также одним из ответственных узлов, где выявляются дефекты в виде трещин. Галереи, хоть и не являются основными несущими элементами металлоконструкций кранов, также подвергаются различным эксплуатационным нагрузкам, в результате чего и на них иногда образуются различные дефекты в основном в виде трещин. Участки металлоконструкций кранов, дефекты на которых были обнаружены менее чем в 1% случаев, в таблице не приведены.

На концевых балках трещины образуются по основному металлу и сварным швам в соединении надбуксовой пластины с вертикальными листами концевой балки, как с внешней, так и с внутренней стороны, а также по сварному шву в месте соединения главной и концевой балки. Основной причиной образования трещин является то, что концевые балки мостовых кранов подвержены не только статическим, но и динамическим нагрузкам, которые возникают во время движения крана с грузом по подкрановым путям. Особенно увеличение динамических нагрузок наблюдается в случае, если зазор в стыках рельс превышает установленные нормы, а также при наличии перепадов по высоте в стыках рельс [4]. Дефекты в металлоконструкциях грузовой тележки возникают также из-за очень часто меняющихся статических и динамических нагрузок, как при движении крана с грузом, так и при резком включении механизма подъема и опускания груза. Крепления кабины машиниста крана, казалось бы не должны подвергаться значительным нагрузкам, однако, вследствие частых включений механизма передвижения крана и резких остановок, кабина крана подвергается раскачиванию, в результате чего возникают циклические напряжения в металле и образуются трещины.

Следующим узлом, в котором были выявлены определенные дефекты, является главная балка с размещенным на ней механизмом перемещения моста крана. Трещины в основном имели место по сварному шву в месте соединения главной балки с концевой балкой, а также в вертикальной стенке главной балки у нижнего яруса крепления механизма передвижения моста крана. Кроме того, трещины возникали по металлу, как в центральной зоне вертикальной стенки главной балки, так и по сварному шву в соединениях вертикальной стенки напротив редуктора передвижения хода моста крана. Причиной возникновения дефектов в указанном узле является не только наличие частых статических и динамических грузовых нагрузок, а также присутствие вибрационных нагрузок от механизма передвижения моста крана. Отмеченные вибрационные нагрузки возникают из-за не достаточно точной центровки узлов и деталей механизма передвижения моста крана (таких как редуктор, электродвигатель, вал и др).

На основании проведенного анализа наиболее распространенных дефектов мостовых и металлургических кранов и с учетом существующих методик оценки остаточного ресурса металлоконструкций [2, 3, 4, 7], можно сделать следующие выводы. Теоретические методы оценки остаточного ресурса кранов дают неоднозначные результаты, а экспериментальные методы до сих пор не исследованы применительно к оборудованию, находящемуся в цехах предприятий. Следовательно, актуальной проблемой, требующей дальнейшей разработки, является создание методологии надежной оценки остаточного ресурса эксплуатируемых мостовых и металлургических кранов для повышения их безопасности.

**Список литературы:** 1. Богинский К. С. Мостовые и металлургические краны / К. С. Богинский, Ф. С. Зотов, Г. М. Николаевский. – М. : Машиностроение, 1970. – 300 с. 2. Болотин В. В. Ресурс машин и конструкций / В. В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с. 3. Котельников В. С. Новые аспекты и методологии экспертных обследований грузоподъемных кранов / В. С Котельников, А. А. Зарецкий, А. А. Короткий // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 11. – С. 2–6. 4. Москвин П. В. Диагностика и прогнозирование остаточного ресурса сварных металлоконструкций мостовых кранов с использованием металлических пленок / П. В. Москвин // Дефектоскопия. – 2007. – №12. – С. 86–98. 5. Пакаянко Н. Н. Безопасность подъемных сооружений / Н. Н. Пакаянко, В. С Котельников. – М.-Астрахань: Изд-во Астраханского государственного университета, 2004. – 593 с. 6. Водолазская Н. В. Анализ дефектов, возникающих при эксплуатации мостовых кранов в различных условиях / Н. В. Водолазская, А. Л. Костюкевич // Материалы 1-ой региональной научн. конф. в г. Донецке, 18-19 мая 2011 г.- г. Донецк: ДонНТУ, 2011. – С. 20 – 24. 7. Емельянов О. А. Усталостные повреждения сварных крановых мостов / О. А. Емельянов, В. П. Шепотько, В. Ю. Пихота, С. В. Лубенец, А. Т. Буренко // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2001. – № 1. – С. 13–18.

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ ПРИРОДНОГО КАМНЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Горобец И.А., Голубов Н.В., Шпирка А.Г.

ДонНТУ, г.Донецк, Украина

Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

**Abstract:** The article is devoted to experimental investigation of the grinding process of natural stone. Proposed to increase the performance of the process to add ultrasonic (UT) variations. The results of the experiments.

**Key words:** workpiece, grinding, instrument, vibration, productivity.

Современное машиностроение развивается такими темпами, что технологии, общепринятые сегодня, завтра могут уже не удовлетворить запросам производства. Одним из путей выхода из этой ситуации есть поиск новых технических решений в области процессов обработки материала. В настоящее время на производстве возникают повышенные требования к качеству производимых изделий, что в свою очередь повышает требования, которые предъявляются к контролю а, следовательно, к контрольно-измерительным приспособлениям. Ответственные элементы приспособлений должны обеспечивать необходимую точность измерений в различных условиях эксплуатации на длительном времени работы. Новым решением этой проблемы является применение нетрадиционных материалов, в том числе неметаллических, для изготовления контрольно-измерительных приспособлений. Одним из таких материалов есть природный камень, в частности гранит. Одним из актуальных вопросов является повышения производительности обработки заготовок из природного камня без ухудшения качественных характеристик заготовки.

Повышение производительности процесса шлифования, что может быть достигнуто за счет совершенствования технологического процесса шлифования и в том числе интенсификации процесса обработки за счет подвода в зону резания ультразвуковых колебаний (УЗК). Анализ возможных использования УЗК схем показывает, что все они включают наложение УЗК либо на инструмент, либо на заготовку, либо одновременно на инструмент вдоль его оси и заготовку

При ультразвуковом резании алмазным инструментом в зоне контакта алмаза с образцом на поверхности образца образуется зона повышенной трещиноватости - зона предразрушения. Роль ультразвуковых колебаний заключается в интенсификации процесса хрупкого разрушения обрабатываемого материала путем создания сетки микротрещин и выколов на поверхности материала. При ультразвуковой обработке значительно увеличивается объем удаленного материала. Разрушенный материал представляет собой различные по форме и размерам частицы, не имеющие следов пластической деформации.

Для определения влияния ультразвуковых колебаний (УЗК) на производительность процесса шлифования изделия из камня различными кругами была проведена серия экспериментов.

В соответствии с поставленной задачей в качестве контролируемых величин принимались: входные величины: режимы резания, характеризующиеся скоростью подачи  $s$ , усилием прижима инструмента  $P_o$ , припуском обработки  $Z$ .

Выходная величина: величина съема материала  $h$  по поверхности заготовки.

В качестве заготовок при проведении экспериментальных исследований принят гранит. Обрабатывались образцы Токовского месторождения (прочность при сжатии  $200 \div \text{МПа}$ , плотность  $2,62 \div 2,82 \text{ г/см}^3$ ).

Проводился полный факторный эксперимент. Скорость резания  $v$  при шлифовании принята равной  $8,8 \text{ м/с}$  (частота вращения инструмента  $n = 1600 \text{ об/мин}$ ). Проводилась обработка образцов с наложением и без наложения УЗК

Уровни варьирования факторов:

- подача,  $400\text{-}630\text{-}800 \text{ мм/мин}$ .
- глубина шлифования,  $200\text{-}600\text{-}800 \text{ мкм}$ .

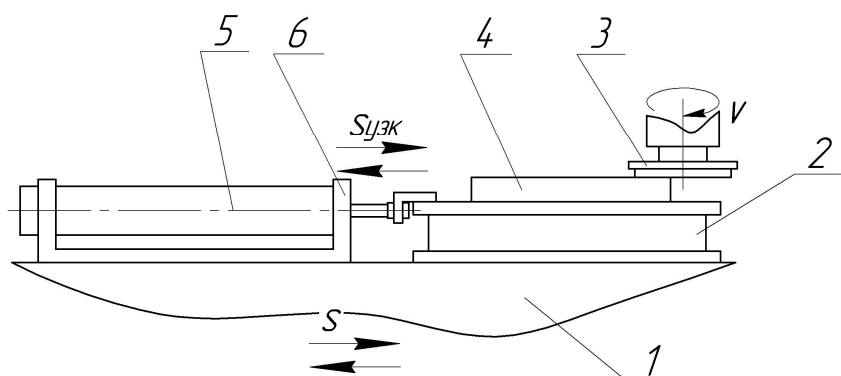


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Измеряемым параметром являлась величина съема материала  $h$ , мкм, которая производилась в 25 точках поверхности с интервалом в  $30 \text{ мм}$ .

В процессе шлифования осуществлялось два полных рабочих хода инструмента с продольной подачей и

фиксирувалась осевая сила  $P_o$ .

Эксперименты проводились на исследовательском комплексе, который состоит из основного технологического оборудования, измерительных приборов и оснастки, а также вспомогательных устройств [1]. Шлифование осуществлялось на модернизированном вертикально-фрезерном станке 6М13П. Модернизация станка заключалась в установке на конец шпинделя специальной головки для крепления торцевого шлифовального инструмента и подачи СОТС через центральное отверстие шлифовального круга.



Рис. 2. Тензометрический стол и ультразвуковой генератор УЗГ1-1

В качестве инструмента для шлифования гранита использовали круги алмазные шлифовальные АГШГ Д160 мм АС50 400/315 М6-14.50% ТУ 88 Украина 90. 513-81 производства ИСМ НАНУ.

В качестве средства для измерения величины съема использовался индикатор часового типа, [2].

Для проведения точных тензометрических исследований использовалась установка, которая состоит из разработанного авторами специального тензометрического стола, [3-4] на который подавались колебания с

ультразвукового генератора УЗГ1-1. Схема установки показана на рис. 1, общий вид установки показан на рис. 2.

Тензометрический стол 2 и кронштейн 6 устанавливаются на столе станка 1. Заготовка 4 устанавливается на тензометрическом столе 2. Ультразвуковой генератор 6 крепится на кронштейне 6 и соединяется тягой с верхней плитой стола 2. Обработка ведется абразивным кругом 3. В процессе обработки круг совершает вращательное движение  $v$ , стол станка совершает движение подачи 2, на верхнюю плиту тензометрического стола, параллельно движению подачи, подаются ультразвуковые колебания  $S_{узк}$ .

В ходе эксперимента были получены данные величины съема слоя материала при различных подачах и величина осевой силы  $P_o$  с наложением и без наложения УЗК.

Таблица 1. Величина съема материала без подачи УЗК (мкм)

Вдоль заготовки	Поперек заготовки				
	590	610	580	540	520
	560	570	550	530	510
	560	550	520	490	490
	530	540	520	480	490
	510	550	530	500	500
					$\Sigma 532.8$

Значения величины съема при подаче  $S=400$  мм/мин и глубине резания  $t=0.8$  мм приведены в табл. 1 и 2.

Примеры осциллограмм приведены на рис.3.

Таблица 2. Величина съема материала с подачей УЗК (мкм)

Вдоль заготовки	Поперек заготовки				
	840	850	840	880	870
	820	780	780	770	850
	820	800	820	810	820
	780	780	790	800	810
	790	790	790	790	810
					$\Sigma 811.2$

Приведенные осциллограммы позволяют сделать вывод о том, что добавление УЗК в зону обработки не влияет на величину осевой силы.

Графики зависимости производительности от режимов обработки приведен на рис. 4 и 5.

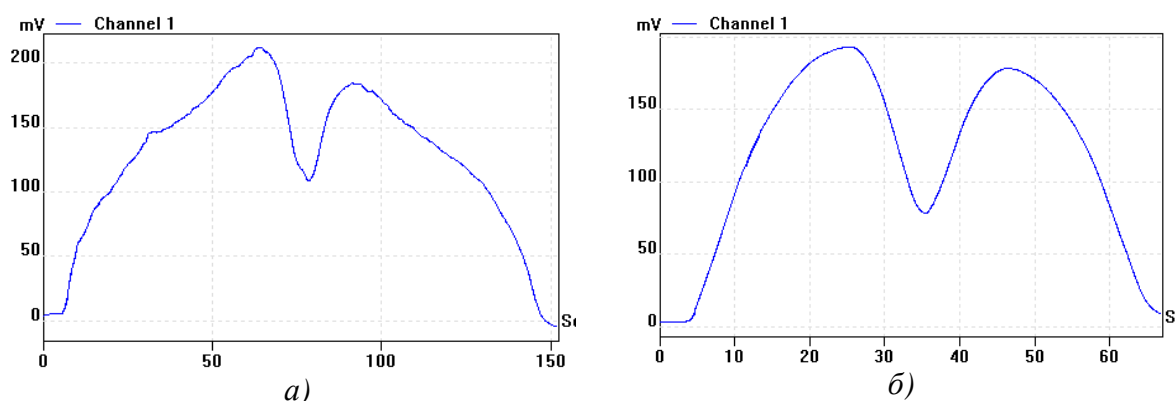


Рис. 3. Осциллограмма изменения осевой силы  $P_o$  при шлифовании с подачей  $S=800$  мм/мин и глубиной резания  $t=400$  мкм (а) без УЗК; б) с добавлением УЗК)

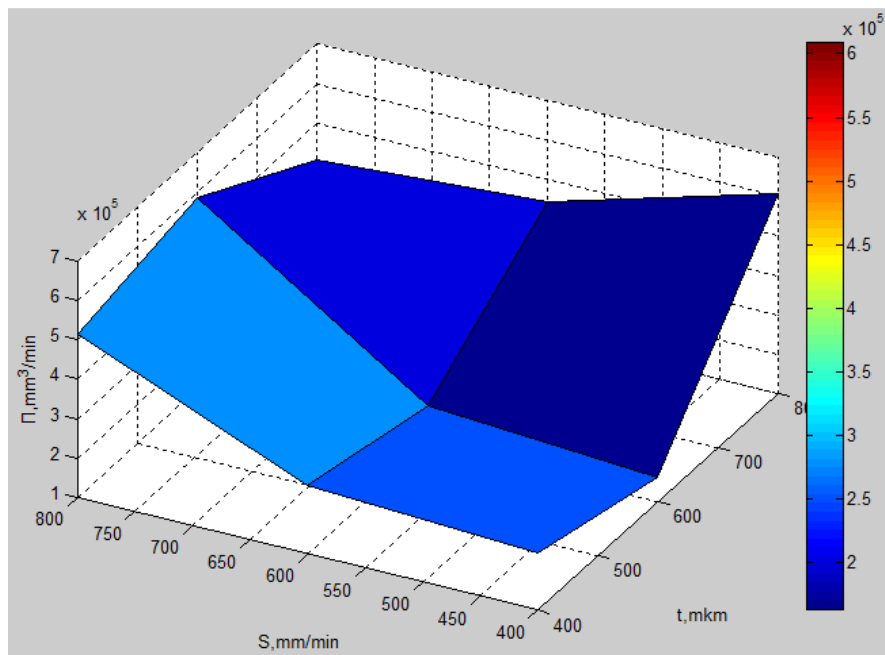


Рис.4. График зависимости производительности шлифования с подачей в УЗК

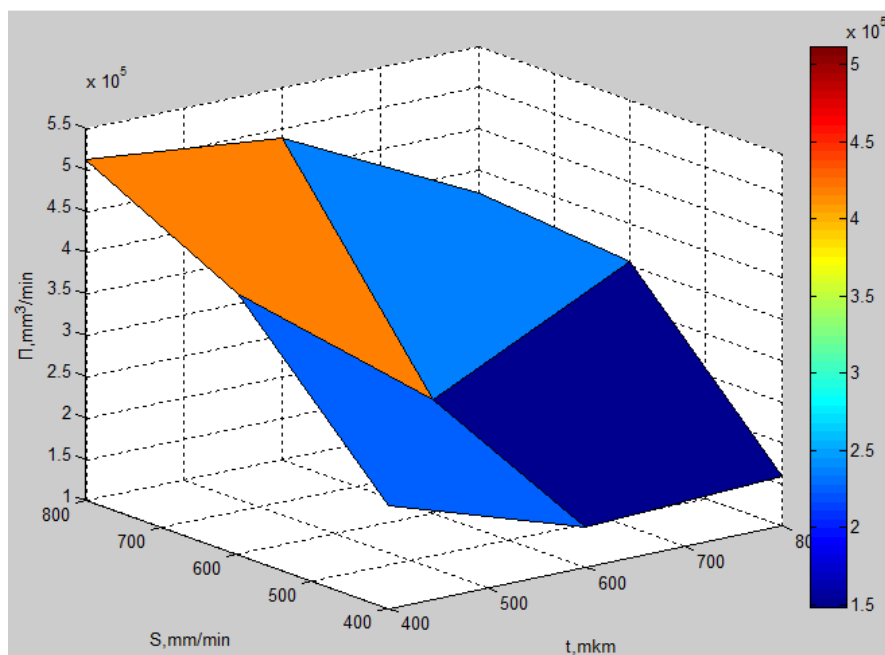


Рис. 5. График зависимости производительности шлифования без подачи в УЗК

Анализ приведенных графиков позволяет сделать вывод о том, что существует комбинация подачи и глубины резания при котором обработка с УЗК позволяет увеличить производительность шлифования. Максимальное увеличение производительности достигается при подаче 400 мм/мин и глубине резания 0,8 мм и составляет 52%.

#### Список

**литературы: 1.** Михайлов А.Н., Горобец И.А., Байков А.В., Голубов Н.В., Ищенко А.Л. Экспериментальная установка для исследования процессов шлифования изделий из природного камня /Наукові праці Донецького національного

технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип. 92. – Донецьк, ДонНТУ 2005. с. 164 – 174. **2.** Горобец И.А., Михайлов А.Н., Голубов Н.В. Исследование влияния формы режущей кромки шлифовального круга на производительность обработки изделий из природного камня/ Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. Наукових праць – Донецьк: ДонНТУ, 2008, Вип.35, С.49-58. **3.** Горобец И.А. Михайлов А.Н. Управление качеством поверхностного слоя обрабатываемой заготовки. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип.71. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – с.164 – 174.



## РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАНЕВРУВАННЯ РОБОТА ROBOTINO

Горобець І.О., Загребельний С.С., Голубов М.В.

Донецький національний технічний університет, г.Донецьк, Україна  
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

**Abstract:** The design of a mobile robot ROBOTINO. Investigate questions of change of friction when moving the robot. A model of the mechanical characteristics of wheels of the robot. Simulated the process of moving the robot.

**Key words:** Construction, robot, moving, wheel, friction, model.

Мобільний робот ROBOTINO фірми FESTO, рис.1, є автономною рухливою платформою з трьома привідними колесами типу “omnidirectional” [1]. Рух робота здійснюється за рахунок трьох двигунів постійного струму, осі яких розташовані під кутом 120 градусів один до одного. Завдяки такій конструкції робот здатний переміщатися по всіх напрямках на площині руху, з можливістю повороту довкола своєї осі.



Рис. 1. Вид робота Робот ROBOTINO

Робот має дискову платформу діаметром 500 мм з управлінням від бортового комп'ютера. Диск колеса має конструкцію з трьома парами зміщених роликів, рис. 2. Принцип роботи такого колеса в тому, що коли колесо обертається на валу (при русі в прямому напрямку) – воно є звичайним колесом і їде як диск, на застосовуючи 6 роликів, що на ньому знаходяться. Проте при русі у іншому напрямку – вступають у гру ролики, що заміщають тертя-ковзання на тертя-кочення, і таким чином супротив сили тертя зменшується в багато разів.

Система приводу

Omn wheel значно підвищила маневреність робота. Застосування цього типу приводу зменшує час на розворот робота, зменшує час гальмування за рахунок розташування коліс під 120° одне до одного, та за рахунок гумових роликів.

Тип тертя колес робота відзначається як тертя-кочення. Тертя кочення — опір рухові що виникає при перекочуванні тіла одне по одному. Згідно із термінами ДСТУ 2823-94 тертя кочення — тертя руху, під час якого швидкості тіл однакові за величиною і напрямком, принаймні, в одній точці зони контакту. Як правило, зусилля тертя кочення набагато менші від зусиль тертя ковзання і тому, кочення є поширеним видом руху в техніці.

Тертя-кочення в між двома тілами можна визначити за рівняннями [2]:

$$F = (F_c + (F_{brk} - F_c) - \exp(c_v|v|))\text{sign}(v) + f_v$$

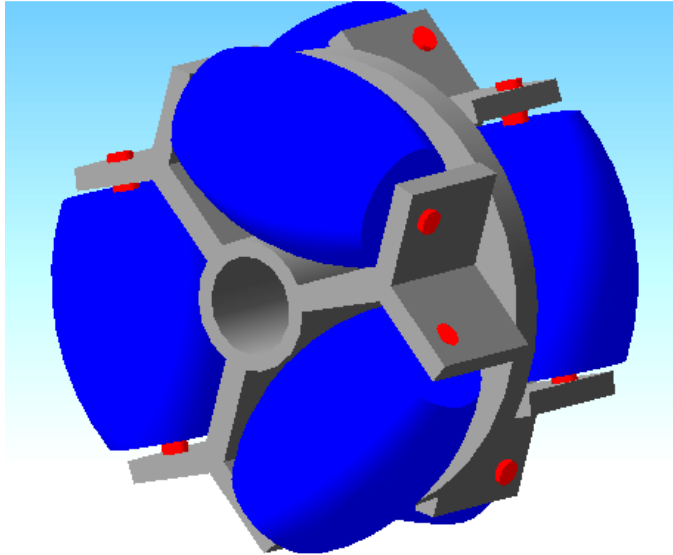


Рис. 2. Схема конструкції колеса мобільного робота ROBOTINO

врівноважується притисною силою, а горизонтальна складова  $F_t$  врівноважується тягнучою силою, протидіючи рухові тіла кочення і за аналогією до тертя ковзання називається силою тертя кочення.

Рівномірне кочення означає, також, що сума моментів сил відносно довільної точки дорівнює нулю. З рівноваги моментів сил відносно середини тіла кочення випливає:

$$F_t \cdot R = N \cdot f$$

Звідки

$$F_t = \frac{f}{R} \cdot N$$

де:  $F_t$  — сила тертя кочення;  $f$  — коефіцієнт тертя кочення, одиниці вимірювання метр;  $R$  — радіус тіла кочення;  $N$  — притисна сила тіла до поверхні.

Для малої швидкості кочення сила тертя кочення не залежить від цієї швидкості. Коли швидкість кочення досягає значень, коли швидкість утворення деформації стає порівняльною із швидкістю поширення деформації в матеріалі, тертя кочення різко зростає і навіть може перевищити тертя ковзання.

Визначимо для рухомого колеса робота гальмівний момент обертального руху тіла. Якщо розглянути цей момент відносно центру обертового колеса то він дорівнюватиме добутку гальмівного зусилля на осі на радіус колеса. Відносно точки контакту рухомого тіла із по верхньою момент буде рівний добутку тягового зусилля, що врівноважує сили тертя, на радіус колеса.

$$M_t = F_t \cdot R = P \cdot R$$

З іншого боку, момент тертя дорівнює моменту притисної сили ( $N$ ) на плече довжиною, що дорівнює коефіцієнту тертя кочення ( $f$ ), рис.3:

$$M_t = f \cdot N$$

де  $M_t$  — момент тертя;  $R$  — радіус тіла кочення;  $P$  — тягнуча сила;  $F_t$  — сила тертя кочення;  $f$  — коефіцієнт тертя кочення.

де  $F$  - сила тертя,  $F_c$  - кулонівське тертя,  $F_{brk}$  - сепаративне тертя,  $v$  - швидкість,  $f_v$  - коефіцієнт в'язкого тертя.

Якщо векторна сума цих сил дорівнює нулю, то середина тіла кочення рухається рівномірно прямолінійно .

$$\vec{N} + \vec{P} + \vec{R_p} = 0$$

де  $P$  — тягнуча сила, що прикладена до середини тіла;  $N$  — сила притискування тіла до поверхні кочення;  $R_p$  — асиметрична сила реакції поверхні кочення.

Це означає що вертикальна складова сили реакції



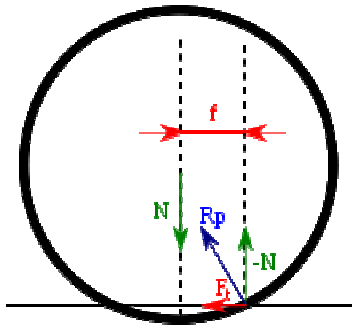


Рис. 3. Розташування сил під час руху колеса

Для подальшого дослідження зміни сили тертя-кочення приймемо 4 поверхні, по яких теоретично може рухатись може здійснювати рух мобільний робот ROBOTINO. Цими поверхнями можуть будуть бетон та асфальт у сухому та вологому станах. За допомогою додатку SIMMECHANICS програми MATLAB було розроблено модель колеса, що пересувається по поверхні, рис.4. Розроблена

модель характеризує механічну поведінку колеса. Змінними параметрами моделі є швидкість колеса, напрямок та траєкторія його руху, коефіцієнт тертя.

Результатами експериментальних досліджень було встановлено рівномірний характер зростання швидкості при прямолінійним переміщенні.

Оскільки сила тертя кочення залежить від коефіцієнту тертя кочення (що визначається експериментально), радіусу тіла, що здійснює обертальний рух по поверхні, та притискаючої сили (вага робота та його компонентів).

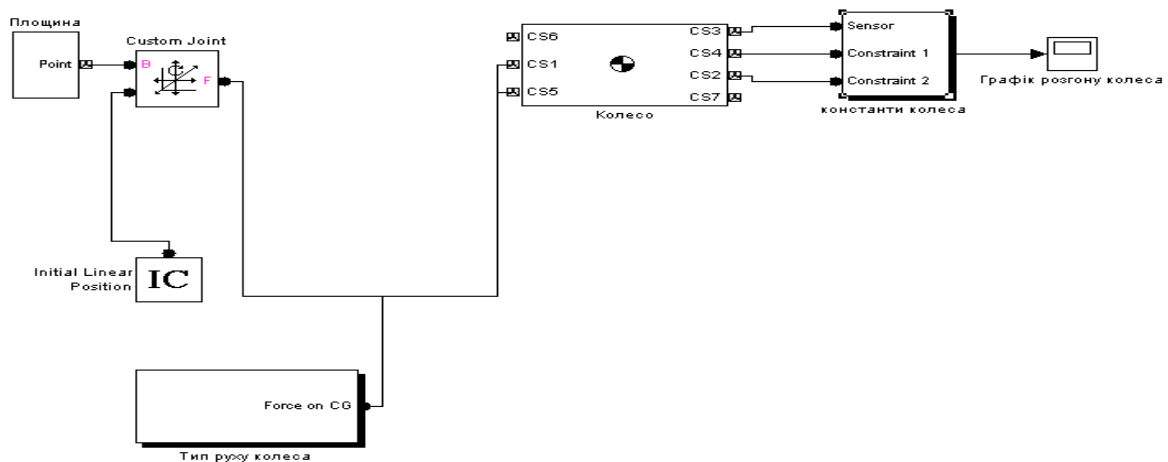


Рис. 4 Модель колеса робота, що рухається по поверхні

$$F_t = \frac{f}{R} \cdot N$$

Тоді, враховуючи діаметр колеса мобільного робота (дорівнює 90 мм), та вагу (складає 11 кг), з розрахунків сили тертя можна зробити висновок, що найгіршим випадком буде пересування робота по вологому асфальту. Сухий бетон є найліпшим варіантом площини по якій пересуватиметься робот.

Змоделюємо процес переміщення роботу, рис.5, в MATLAB SIMULINK, та проаналізуємо результати.

По отриманим результатам моделювання, рис.6 (найвищий графік – контакт колеса із сухим бетоном, найнижчий – контакт колеса з вологим асфальтом.), можна зробити висновок, що найкращою поверхнею для пересування робота є дійсно сухий бетон, оскільки сила тертя кочення є показником надійного зчеплення – цій поверхні

маневреність робота буде найкращою, гальмівний час найменшим, та розгін – найшвидшим.

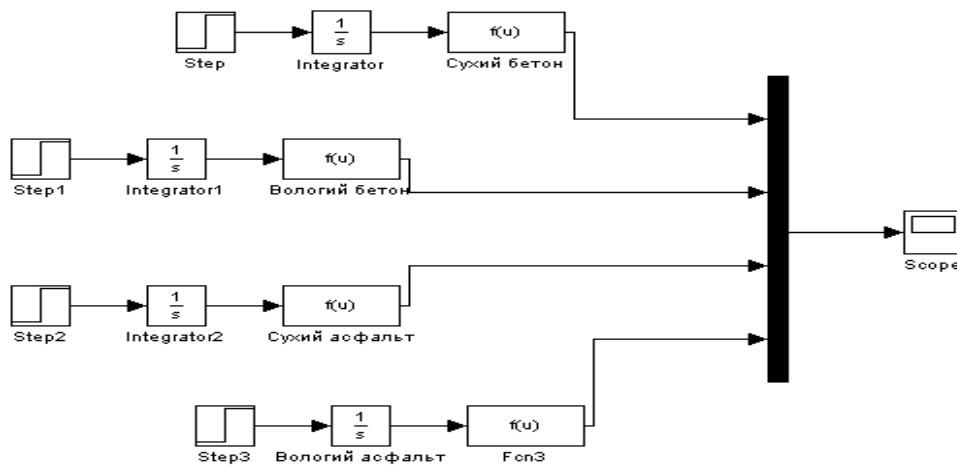


Рис. 5 Модель визначення сили тертя в зачепленні з різними поверхнями

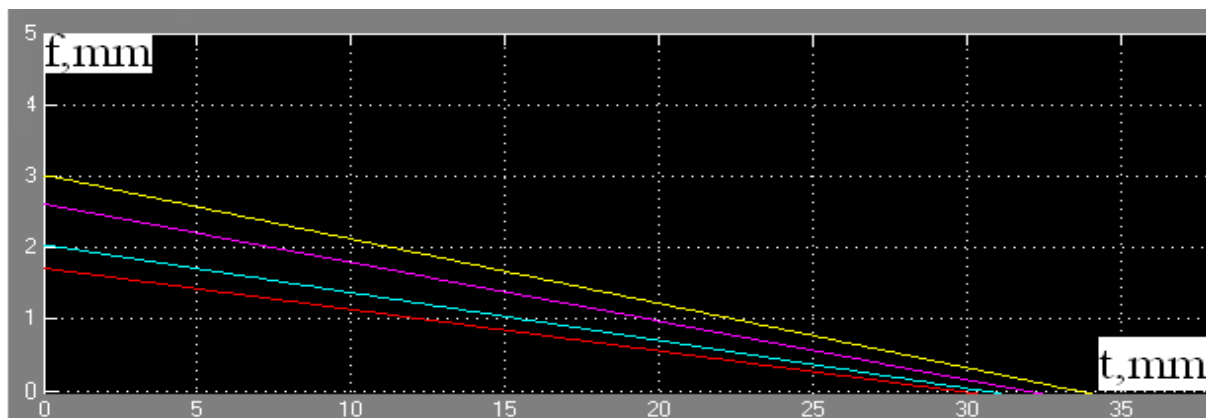


Рис. 6 Графіки зміни сили тертя в зачепленні з різними поверхнями

Таким чином завдяки графікам на рис. 6 можна визначити силу тертя кочення в будь який момент часу. Момент тертя кочення також має найбільше значення для пари тертя-кочення «гума-сухий бетон». Це пов'язано з тим, що для того, щоб подолати супротив зі сторони реакції цієї пари (з найбільшим коефіцієнтом тертя-кочення) необхідний і найбільший момент. Це є водночас і перевагою і недоліком, бо для того, щоб виробити такий момент треба мати й більшу потужність електродвигуна, та велику ємність акумуляторної батареї. Перевагою є той факт, що колеса робота уникнуть проковзування, і контакт між колесом та підлогою буде більш надійним – і як результат – маневреність, та швидкість розгону.

**Список літератури:** 1. Конструирование роботов / Les Robots — constituents technologiques. Андре П., Кофман Ж.-М., Лот Ф.: Мир-Москва, 2005, г. 309 с. 2. А. В. Чичинадзе, Э. Д. Браун, Н. А. Буше и др. Основы трибологии (износ, смазка) :М. Машиностроение, 2001, 390 с.

## ВОЗМОЖНОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ОБЪЕКТАХ ТЕХНОСФЕРЫ

Горяинова А.В., Звягинцева А.В.

*Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж. Россия*

*Тел. (4732) 35-61-01, E-mail: zvygincevaav@mail.ru*

**Abstract:** The analysis of the highly explosive properties of ammonia using thermodynamic calculations. Shows the calculation of the population affected areas and facility personnel cloud of ammonia, the most probable scenario man-made disaster

**Key words:** Analysis of the fire, the calculations, the probability of the accident

В настоящее время в промышленности применяется более 600 вредных веществ. Немногим более 100 можно отнести к аварийно химически опасным веществам (АХОВ), 34 из которых получили наибольшее распространение. К таким веществам относится аммиак [1]. При испарении аммиака образуется белое облако с четкими краями. Оно состоит из паров аммиака, жидких капелек (диаметром от 10 до 30 мкм) и воздуха, однако выпадения жидкости из облаков практически не бывает [2].

При аварии выброс паров в воздух происходит очень быстро и формируется первичное облако (в течение от 1 до 3 минут) с высокой концентрацией аммиака. За это время в атмосферу переходит от 18 до 20 % вещества. Вторичное облако возникает при испарении аммиака с площади разлива. Характеризуется оно тем, что концентрация его паров на 2-3 порядка ниже, чем в первичном облаке. Однако, продолжительность их действия и глубина распространения значительно больше. Продолжительность действия вторичного облака определяется временем испарения разлившегося аммиака, которое в свою очередь зависит от температуры окружающей среды, скорости ветра и характера разлива (свободно или в поддон).

В условиях городской застройки глубина распространения аммиака из разрушенной цистерны емкостью 48 тонн при максимально благоприятных условиях (инверсия, скорость ветра 1 м/сек) в поражающих концентрациях может составить до 2,1 км. При этом смертельные концентрации могут быть на расстоянии 0,6 км (т.е. расстояния в 9 раз меньше чем при хлоре).

Аммиак относится к аварийно химически опасным веществам (АХОВ), представляет собой IV класс опасности (ГОСТ 12.1.005-88). Предельная допустимая концентрация в воздухе производственных помещений  $20 \text{ мг/м}^3$ , в воздухе населенных пунктов максимальная разовая и среднесуточная ПДК составляет  $0,2 \text{ мг/м}^3$ , в водоемах санитарно-бытового назначения –  $0,2 \text{ мг/л}$ . Пороговая токсодоза равна  $15 \text{ мг·мин/л}$ , летальная –  $100 \text{ мг·мин/л}$ .

Аммиак  $\text{NH}_3$  – бесцветный газ с едким запахом и жгучим вкусом. Он значительно легче воздуха ( $\rho = 0,771 \text{ г/л}$ ). При давлении 8,46 атм ( $8569,98 \text{ гПа}$ ) и температуре  $20^\circ\text{C}$  аммиак сжижается, образуя легкоподвижную бесцветную, обладающую сильным светопреломлением жидкость, кипящую при  $-33,4^\circ\text{C}$ . Критическая температура аммиака  $132,4^\circ\text{C}$ , критическое давление 112 атм ( $113456 \text{ гПа}$ ). Температура плавления  $-77,7^\circ\text{C}$ . Теплота плавления  $338,58 \text{ Дж/г}$ , теплота испарения при температуре кипения  $1366,86 \text{ Дж/г}$ .

Большую теплоту испарения  $\text{NH}_3$  используют в холодильных установках. Она обусловлена в основном тем, что мономолекулярный в газообразном состоянии аммиак при сжижении, подобно воде, ассоциирует за счет образования водородных связей и разрыв их при испарении требует большой затраты тепла.

Смесь  $\text{NH}_3$  с воздухом при объемном содержании аммиака от 15 до 28 % (от 107 до 200 мг/мл) является взрывоопасной. Аммиак, при концентрации в пределах 15-28 объемных процентов, с воздухом образует взрывоопасные смеси (предел взрывоопасной концентрации в воздухе). Сухая смесь аммиака с воздухом (соотношение 4:3) способна взрываться.

Давление взрыва аммиачно-воздушной смеси может достигнуть 0,45 МПа при объемном содержании в воздухе свыше 11 % (78,5 мг/л). При наличии открытого пламени начинается горение  $\text{NH}_3$ . Температура воспламенения по разным литературным источникам от 630 до 650 °С. В присутствии катализатора можно достигнуть сгорания смесей с воздухом уже при относительно низких температурах (от 300 до 500 °С). В этих условиях образуются оксиды азота.

Теплота сгорания аммиака 18588 кДж/кг (теплоты сгорания большинства углеводородов 46000 кДж/кг), концентрационные пределы распространения пламени находятся в диапазоне от 15 до 28 % об. (в кислороде от 13,5 до 79,5 % об.); максимальное давление взрыва 558 КПа.

При высоком уровне НКППП аммиака (15 %) и достаточно узком диапазоне концентрированных пределов распространения пламени, а также при минимальном содержании кислорода в смеси (16,2 % об.) возможность образования взрывоопасных смесей аммиака с воздухом, как в открытой атмосфере, так и в производственных зданиях, при типовых аварийных ситуациях достаточно ограничена.

Аммиачно-воздушные смеси характеризуются низкой скоростью распространения пламени 0,23 м/с, что примерно в 2-3 раза меньше скоростей распространения пламени большинства углеводородно-воздушных смесей.

Аммиачно-воздушные смеси характеризуются большими значениями минимальной энергии зажигания 680 мДж (для большинства других веществ она составляет: углеводороды – от 0,1 до 0,2 мДж, водород – 0,017 мДж, ацетилен 0,011 мДж) и температурой самовоспламенения 650 °С. Эти особенности аммиака характеризуют ограниченные возможности воспламенения аварийных выбросов аммиака в открытую атмосферу и производственные помещения.

Указанными выше свойствами аммиака обусловлено то, что о взрывах аммиачно-воздушных смесей в атмосфере и производственных зданиях при статистических исследованиях промышленных взрывных явлений не упоминается; описаны лишь единичные взрывные явления в технологической аппаратуре окисления аммиака воздухом при высоком давлении и температуре около 700 °С, которые не вызывали ощутимых разрушений.

Жидкий аммиак относится к трудногорючим веществам. Теплового излучения горящего пара аммиака над поверхностью жидкого аммиака, находящегося под атмосферным давлением, недостаточно для поддержания горения. Горение прекращается по окончании кипения аммиака. Образовавшийся при истечении жидкого аммиака под давлением в атмосферу аэрозоль из аммиака и сконденсировавшейся воды из воздуха не загорается от источника огня.

Аварии с выбросом аммиака происходят не только в России, но и за рубежом. Только в США за один 1995 г зарегистрировано около 6 тысяч аварий с утечкой аммиака. По данным Ростехнадзора РФ в России в химических отраслях ежегодно происходит несколько тысяч аварий с выбросом аммиака.

В качестве примера аварии аммиака можно привести происшествие на ПО «АОЗТ» (г. Ионов, Литва). Здесь 20.03.93 г. рухнул резервуар с 7000 т аммиака. Начался пожар, заражение воздуха оказалось значительным, погибло 7 человек, пострадало 50. Всего из опасной зоны было эвакуировано около 30 тыс. человек. В атмосфере возникла значительная концентрация оксида азота (II), который является сильным ядом, поражающим кровь.

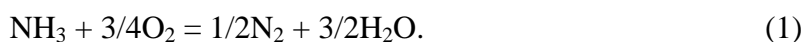
Катастрофические последствия имела авария на химическом предприятии в г. Новосибирске в апреле-мае 1979 г. Утечка огромного количества аммиака унесла около

300 человеческих жизней. Приведем несколько примеров аварий, происшедших в последние десятилетия. 11 февраля 1994 г из-за утечки аммиака на комбинате в г. Березники Пермской области пострадали 40 человек, из них 7 попали в реанимацию. 28 апреля 2004 г на Очаковском хладокомбинате произошел взрыв аммиака в результате его утечки из трубопровода холодильной установки. Масса аммиака составила 40 кг. В результате взрыва обрушилась стена площадью 300 м<sup>2</sup>. Общая площадь разрушения достигла 400 м<sup>2</sup>. В эпицентре взрыва концентрация аммиака в 50 раз превысила установленные нормативы и составила 1000 мг/м<sup>3</sup>, в то время как ПДК для аммиака составляет 20 мг/м<sup>3</sup>. Зданию хладокомбината нанесен значительный материальный ущерб. О числе пострадавших не сообщается [2].

Число аварий увеличивается вследствие транспортных происшествий. В настоящее время резко возросли объемы перевозок по железной дороге сжиженного аммиака. В России одновременно находятся в пути от 650 до 700 цистерн и столько же - на загрузочно-разгрузочных работах, которые тоже отличаются повышенной опасностью. Так, 15 ноября 1983 г на Кемеровском производственном объединении «Прогресс» произошел выброс аммиака из цистерны емкостью 60 т. Заражена площадь порядка 5 тысяч м<sup>2</sup>. Погибли 21 человек.

Целью данной работы является сравнительный анализ методов для оценки потенциальных опасностей производства химически опасного объекта экономики с участием аварийных химически опасных веществ, к которым относится аммиак, на основе термодинамического анализа.

В работе проведен анализ взрывопожароопасных свойств аммиака с использованием термодинамических расчетов. Известно, что в основе горения аммиака лежит химическая реакция:



Чтобы оценить химическое сродство реагентов, то есть аммиака и кислорода, необходимо рассчитать  $\Delta G_{x.p.}$  при температуре воспламенения – 650 °С (950 К). Были использованы: приближенный расчет по методу Улиха и точный расчет по методу Темкина-Шварцмана [3].

Согласно первому приближению (метод Улиха) предполагается, что тепловой эффект и энтропия химической реакции (1) не зависят от температуры, и константа равновесия может быть рассчитана по формулам:

$$R \ln K_T = - \frac{\Delta H^0_{298}}{T} + \Delta S^0_{298}$$

или

$$\ln K_T = - \frac{\Delta H^0_{298}}{RT} + \frac{\Delta S^0_{298}}{R}. \quad (2)$$

$\Delta H^0_{298}$  рассчитывали на основании первого следствия из закона Гесса по формуле:

$$\Delta H^0_{298} = \sum n \Delta H^0_{f,298} (\text{прод.}) - \sum n \Delta H^0_{f,298} (\text{исх.}). \quad (3)$$

$\Delta S^0_{298}$  находили из соотношения:

$$\Delta S^0_{298} = \sum n S^0_{298, \text{прод.}} - \sum n S^0_{298, \text{исх.}}. \quad (4)$$

В выражениях (3) и (4) расчеты термодинамических функций производили с учетом стехиометрических коэффициентов в уравнении реакции, а их стандартные значения находили в справочнике термодинамических величин [4].

Рассчитанная в первом приближении константа равновесия реакции (1) при температуре 950 К оказалась равной  $K_{950} = 1,26 \cdot 10^{19}$ .  $\Delta G_{950}$  находили, используя известное соотношение:

$$\Delta G_{950} = - RT \ln K_{950}. \quad (5)$$

Можно применить выражение:

$$\Delta G_{950} = \Delta H_{298}^0 - T \Delta S_{298}^0, \quad (6)$$

где  $T = 950\text{K}$ .

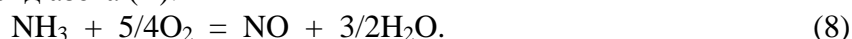
Получили приближенное значение  $\Delta G_{950} = -346,72 \text{ кДж}$ .

Согласно второму приближению (методу Темкина-Шварцмана) учитывается зависимость теплового эффекта химической реакции от температуры в соответствии с законом Кирхгоффа. В этом случае используется температурная зависимость теплоемкости в виде эмпирических степенных рядов. Выражение для расчета  $K_{950}$  имеет вид:

$$R \ln K_{950} = -\frac{\Delta H_{298}^0}{T} + \Delta S_{298}^0 + \Delta a_0 \int_{298}^T \frac{dT}{T^2} + \Delta a_1 \int_{298}^T \frac{dT}{T} + \Delta a_2 \int_{298}^T \frac{dT}{T^2} + \Delta a_3 \int_{298}^T \frac{dT}{T^3} + \Delta a_4 \int_{298}^T \frac{dT}{T^4} + \Delta a_5 \int_{298}^T \frac{dT}{T^5} + \Delta a_6 \int_{298}^T \frac{dT}{T^6} + \Delta a_7 \int_{298}^T \frac{dT}{T^7} + \Delta a_8 \int_{298}^T \frac{dT}{T^8} + \Delta a_9 \int_{298}^T \frac{dT}{T^9} + \Delta a_{10} \int_{298}^T \frac{dT}{T^{10}}. \quad (7)$$

Значения коэффициентов  $a_0, a_1, a_2$  находили в справочнике термодинамических величин. Константа равновесия данной реакции при 950 К оказалась равной  $K_{950} = 1,81 \cdot 10^{14}$ , а  $\Delta G_{950}^0$ , рассчитанное по формулам (5) или (6), равно - 350,04 кДж.

Если реакция окисления аммиака происходит при соприкосновении с металлом, способным оказать каталитическое действие на реакцию, то продуктами взаимодействия будут пары воды и оксид азота (II):



В соответствии с приближенным расчетом, выполненным по формулам (2), (3), (4), значение константы равновесия реакции (8)  $K_{950}$  равно  $6,28 \cdot 10^{14}$ , а  $\Delta G_{950}^0$  оказалось равным -269,2 кДж. Найденная величина константы равновесия последней реакции по методу Темкина-Шварцмана в соответствии с выражением (7) равна  $9,25 \cdot 10^{14}$ , а величина  $\Delta G_{950}^0 = (-272,0) \text{ кДж}$ .

Полученные термодинамические константы интересно сравнить с соответствующими константами реакции взаимодействия водорода с кислородом, являющейся классическим примером разветвляющейся цепной реакции. Ее протекание можно выразить следующим суммарным уравнением реакции:



Приближенный расчет по Улиху дал значение  $K_{850}$ , равное  $3,65 \cdot 10^{12}$ , а  $\Delta G_{850}^0$ , рассчитанное по формуле (5), оказалось равным -204,1 кДж. Точный расчет с использованием формул (5), (6) и (7) дал следующие результаты:  $K_{850} = 9,92 \cdot 10^{12}$  и  $\Delta G_{850}^0 = -207,95 \text{ кДж}$ .

Данные расчеты выполнены для температуры 850 К, так как в соответствии с литературными источниками, температура воспламенения стехиометрической смеси газов водорода и кислорода в соотношении, соответствующем уравнению (9) («гремучий газ»), лежит при температурах около 500 °С.

Известно, что цепной взрыв, или воспламенение, наблюдается при протекании цепных реакций с разветвленными цепями, к которым и относится реакция взаимодействия водорода с кислородом. Эти реакции характеризуются верхним и нижним пределами воспламенения, которые зависят от температуры, формы сосуда, содержания примесей в газовой смеси. Так, для водород-кислородных смесей при 298 К и общем давлении 101,3 кПа нижний предел воспламенения составляет около 6 об. % кислорода, верхний предел – около 95 об. % кислорода. Для полного сгорания 1 объема водорода требуется около 2,4 объемов воздуха. Чистый гремучий газ взрывается, начиная с температуры 500 °С. В присутствии некоторых катализаторов взаимодействие происходит уже при значительно более низкой температуре.

Приведенные факты говорят о большом сходстве в протекании реакций окисления, идущих по цепному механизму. Рассмотренные процессы окисления аммиака можно отнести к группе реакций, идущих по цепному механизму. Как известно реакции, идущие по

цепному механизму, сопровождаются значительными энергетическими изменениями в различной форме световой, тепловой, механической. Термодинамический анализ подтверждает данное высказывание. Действительно, значения констант равновесия реакций окисления аммиака и водорода при соответствующих температурах воспламенения имеют большую величину: порядка  $10^{14}$ - $10^{19}$  для реакций окисления аммиака и  $10^{12}$  – для реакции окисления водорода. Одного порядка величины химического сродства  $\Delta G$  при температурах воспламенения: для реакций окисления аммиака -350 и -270 кДж, а для реакции окисления водорода - 208 кДж. Термодинамические расчеты показывают, что при температуре воспламенения реакция взаимодействия аммиака с кислородом протекает с меньшей величиной энергии Гиббса, а значит с большим химическим сродством, чем реакция окисления аммиака при соприкосновении с металлом, способным оказать каталитическое действие на реакцию и чем реакция окисления водорода. Процесс взаимодействия аммиака с кислородом является, в соответствии с законами химической термодинамики, протекающим самопроизвольно и необратимо в прямом направлении. Управление такими реакциями затруднено. Это служит определенным доказательством того, что смесь кислорода с аммиаком является взрывопожароопасной и существует риск взрыва и возникновения пожара подобно «гремучему газу» [1].

При разработке планов действий по предупреждению и ликвидации ЧС предлагается проводить анализ условий и вероятностей возникновения и развития аварий, что позволит более четко и обоснованно выявить наиболее вероятный сценарий возникновения и развития аварии и сценарий с наиболее тяжелыми последствиями [5]. В отличие традиционных моделей атмосферного переноса, методика МЧС не позволяет получить распределение концентрации АХОВ в атмосфере, выходными параметрами этой модели являются две зоны: зона фактического заражения и зона возможного заражения. Зона фактического заражения представляет собой замкнутый участок территории, где концентрация АХОВ в приземном слое атмосферы превышает порог острого отравления. Зона возможного заражения представляет собой доверительный интервал отклонения реального облака от зоны фактического заражения с уровнем значимости 0,05. Иными словами, с вероятностью 95 % облако с поражающей концентрацией АХОВ не выйдет за границы зоны возможного заражения. Но ее преимуществом является относительная простота расчета и оперативность и критериями в первую очередь выступают оценка социальных и материальных потерь.

В качестве химически опасного объекта исследования выбран ОАО Молочный комбинат «Воронежский», относящийся к 4 классу опасности. Санитарно-защитная зона для предприятия установлена 50 м<sup>2</sup>. Все оборудование аммиачной холодильной установки, предназначенной для обеспечения холодом камер для хранения молочной продукции, размещено в помещении с общим количеством аммиака, находящегося в системе 4 тонны. Руководящими документами МЧС предлагается при разработке планов действий по предупреждению и ликвидации ЧС проводить анализ условий и вероятностей возникновения и развития аварий, что позволит более четко и обоснованно выявить наиболее вероятный сценарий возникновения и развития аварии и опасный сценарий с наиболее тяжелыми последствиями. Ниже рассматривается метод оценки риска, основанный на использовании методики МЧС[4].

Частота проявления того или иного сценария рассчитывается исходя из средней частоты проявления инициирующего события умноженной на частоту проявления конечного исхода. Возможные аварии на холодильной установке ограничиваются выбросом аммиака из аммиакопровода и в наиболее опасном варианте из всего блока с последующим взрывом. На рисунке 1 представлены деревья развития событий при авариях с выбросом аммиака.

Персонал может пострадать при условии, что в случае аварии с выбросом всего содержимого блока человек попадет под непосредственное действие аммиака или будут предприняты ошибочные действия персонала, а гибель персонала возможна в случае взрыва, при ошибочных действиях и попадании персонала в непосредственный контакт с аммиаком. Был произведен



расчет зон поражений населения и персонала объекта облаком аммиака, который представлен на рисунке 2.



Рис. 1. Деревья развития событий при аварии с выбросом аммиака на холодильной установке

м/с и направлении ветра – запад, время с 15 до 17 часов дня. Частота реализации  $1 \cdot 10^{-4}$  событий в год, что находится в пределах допустимых значений.

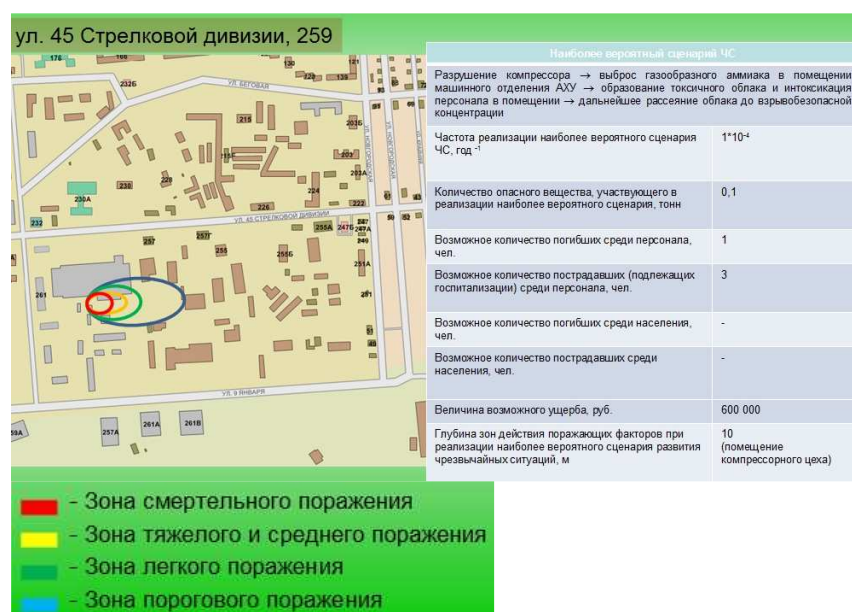


Рис. 2. Расчетная зона воздействия поражающих факторов в случае аварии на объекте. Наиболее вероятный сценарий чрезвычайной ситуации, возникающей на химически опасном объекте, содержащем аммиак

Н.В. Лазарева. М.: Химия, 1971. 142 с. 2. Инглунда Г.М. Защита атмосферы от промышленных загрязнений. Справ. изд.: в 2-х ч. /Г.М. Инглунд и др. /Под ред. Г.М. Инглунд. М.: Металлургия, 1988. 760 с. 3. Монахов В.Т. Методы исследования пожарной опасности веществ /В.Т. Монахов М.: Химия, 1972. 294 с. 4. Рабинович В.А. Краткий химический справочник / В.А. Рабинович, З.Я. Хавин. С.- Пб.: Химия, 1997. 392 с. 5. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях на химически опасных объектах и транспорте. М.: Госкомгидромет, 1990. 29 с.

Наиболее вероятный сценарий – авария на дренажном ресивере, происходит выброс аммиака в помещение компрессорной с последующим образованием первичного и вторичного облака заражения. При условии: состояние устойчивости атмосферы - изотермия, скорость ветра 3,7

Таким образом, исходя из статистики возникновения аварий за 2006-2012 год (не зафиксировано) и расчета риска возникновения аварий, связанных с нарушением технологического процесса, следует, что вероятность возникновения ЧС, связанной с авариями на данном химически опасном объекте, находится в пределах допустимых значений

**Список литературы:** 1. Лазарев Н.В. Вредные вещества: справочник / Н.В. Лазарев и др.; под ред.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗУБЧАТОЙ МУФТЕ МЕЖДУ ЗУБЬЯМИ С ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ОБРАЗУЮЩЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ МОНТАЖА ВАЛОВ

Грубка Р.М., Тарасова Е.С., Каюмов Х.А.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

**Abstract:** This paper describes a method for determining the distribution of stresses in the gear clutch between the gear toothed hub and the gear holder with line generators using finite element software package ANSYS. What is described build 3D models and simulated gear clutch mounting misalignment of shaft. You-filled studies revealed the distribution of stresses between the teeth of a gear clutch and limit compensated angle over-braid connection at a given value of backlash.

**Key words:** gear clutch, toothed hub, gear holder, 3D model, finite elements, mounting misalignment of shaft.

Одним из этапов проектирования любого изделия, до его изготовления и натурных испытаний, является расчет на прочность всего изделия и его отдельных элементов. Прочностной расчет деталей и узлов изделия позволяет на этапе его проектирования выявить наиболее нагруженные элементы и слабые места деталей и внести изменения в конструкцию для обеспечения заданного запаса прочности всего изделия в целом. Расчет деталей и узлов проводят, используя методики известные из курса «Сопротивление материалов» или численными методами. Применение численных методов в последнее время получает все большее распространение с увеличением сложности исследуемых изделий, процессов и систем, возможностью моделировать все изделие целиком и отдельные его части и в связи с ростом производительности компьютерной техники. Известно несколько численных методов расчета, одним из которых является метод конечных элементов (МКЭ) [1, 2, 3]. Использование метода конечных элементов для машиностроительных изделий позволяет определить распределения напряжений, деформаций, перемещений и т.д.

В данной работе проведем исследования распределения напряжений в зубчатой втулке с прямолинейной образующей зубьев методом конечных элементов используя программный комплекс ANSYS 13.0. При проведении исследований будем использовать 3D модель зубчатой муфты, построенную в программе SolidWorks 2010 и состоящую из двух зубчатых втулок и двух обойм. Для удобства последующих измерений и расчетов, а так же в виду аналогичности рассматриваемых процессов в дальнейшем исследования будем проводить на половине зубчатой муфты, то есть на сборке зубчатой втулки с обоймой рис. 1.

Зубчатая втулка представляет собой тело вращения с центральным отверстием (рис. 1. б). На втулке нарезан зубчатый венец с наружными зубьями с модулем 3 мм и числом зубьев 40 шт. Зубья получены вырезанием впадины и как следствие имеют прямолинейную образующую. Координаты точек профиля зуба втулки с прямолинейной образующей рассчитаны по зависимостям [4], в которых для удобства представления эвольвента повернута на угол смещения начала эвольвенты:

$$\left. \begin{aligned} x &= r_b [\sin(\varphi - \varphi_c) - \varphi \cos(\varphi - \varphi_c)] \\ y &= r_b [\cos(\varphi - \varphi_c) + \varphi \sin(\varphi - \varphi_c)] \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $r_b$  — радиус основной окружности;

$\varphi$  — угол развернутости эвольвентного профиля;

$\psi$  — угол поворота соединения;

$\varphi_c$  — угол смещения начала эвольвенты, определяемый по зависимости [2]:

$$\varphi_c = \frac{\pi}{2z} + \text{inv}\alpha_w, \quad (2)$$

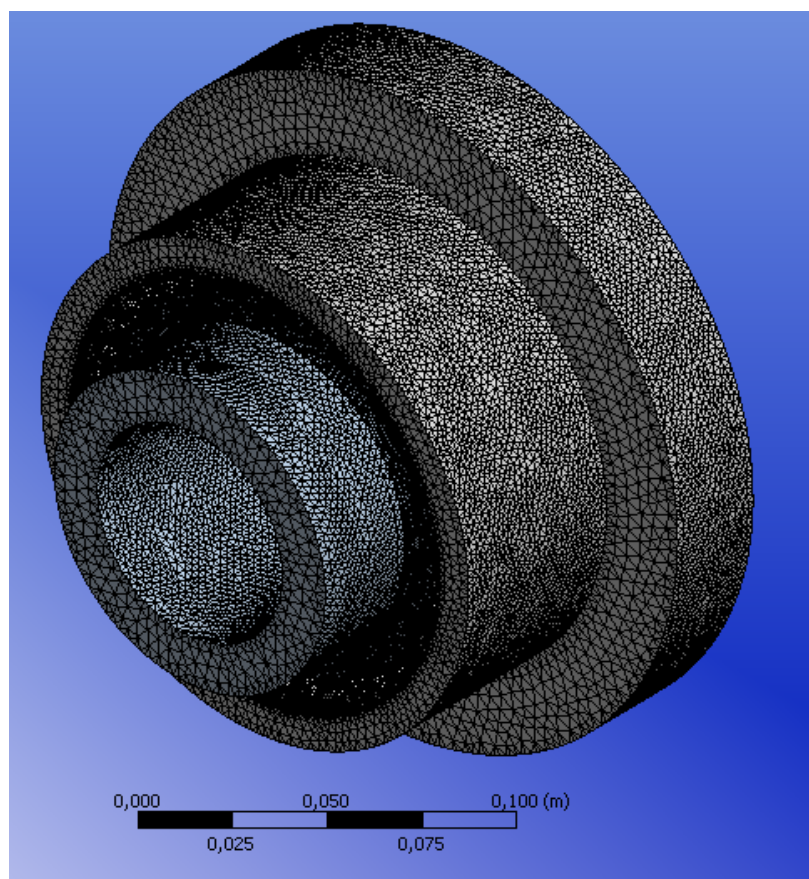
где  $z$  - число зубьев;

$\text{inv}\alpha_w$  – инволюта угла профиля  $\alpha_w$ .

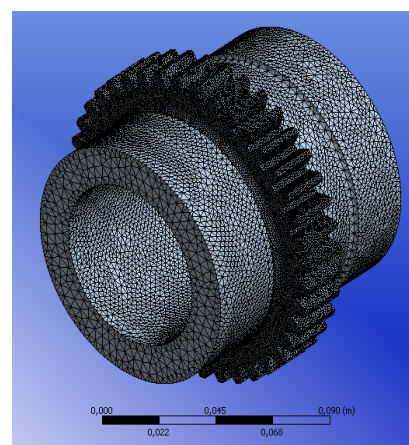
В результате расчета по зависимостям (1) и (2) получены координаты точек эвольвенты, принадлежащей левому профилю зуба втулки (табл. 1.).

Таблица 1. Координаты точек эвольвенты

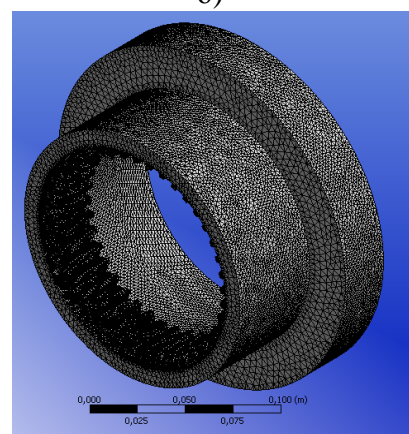
№ п/п	х, мм	у, мм	№ п/п	х, мм	у, мм
1	-3,053	56,299	7	-2,660	58,902
2	-3,054	56,372	8	-2,398	59,819
3	-3,049	56,592	9	-2,043	60,859
4	-3,021	56,957	10	-1,581	62,017
5	-2,957	57,467	11	-0,999	62,283
6	-2,841	58,116			



а)



б)



в)

Рис. 1. Трехмерные модели зубчатой муфты и ее элементов с сеткой конечных элементов: а – зубчатой муфты; б – зубчатой втулки; в – обоймы

Обойма представляет собой тело вращения с нарезанными внутренними зубьями (рис. 1. в). Координаты точек боковой поверхности зубьев обоймы получены основываясь на данных таблицы 1 и с учетом рекомендаций по выбору вида соединения по нормам бокового зазора, указанным в ДСТУ 2742. При этом боковой зазор для выбранного соединения составил 0,046 мм [6], а ширина впадины зуба обоймы была увеличена с учетом величины бокового зазора.

В процессе сборки зубчатой муфты в программе SolidWorks 2010 обеспечивалось касание зубьев втулки и обоймы. Для чего обойма была зафиксирована, а зубчатая втулка поворачивалась относительно оси вращения до обеспечения касания поверхностей зубьев. Наличие контакта проверялось с использованием стандартной функции в SolidWorks 2010 – проверка интерференции компонентов. После чего 3D модель зубчатой муфты импортировалась в ANSYS Workbench используя функцию «Import». А затем проводился статический расчет модели, используя модуль Static Structural, который позволяет определить напряжения и деформации в условиях статического нагружения рассматриваемой конструкции.

В процессе описания расчетной схемы:

- задано ограничение – зафиксирована от перемещения плоскость торца фланца обоймы;

- приложен момент к цилиндрической поверхности центрального отверстия втулки, величина момента составила 4000Нм, направление – вращение против часовой стрелки, если смотреть со стороны торца втулки, который упирается в буртик вала;

- заданы значения параметров сетки: 2мм – глобальный размер конечных элементов, 1мм – размер конечных элементов на зубчатых венцах.

После описания расчетной схемы построена сетка конечных элементов для сборки половины зубчатой муфты рис. 1 и выполнен статический расчет моделей без перекоса зубьев втулки относительно обоймы. При этом максимальные напряжения для втулки с прямолинейной образующей зубьев составили: на левой боковой поверхности зубьев – 56,1МПа, на правой боковой поверхности зубьев – 58,9МПа и на поверхности вершин зубьев 48,9МПа. Распределение напряжений по элементам зубчатого венца близкое к равномерному и в контакте находятся все пары зубьев. Однако такая картина является идеальной и практически не достижима в реальных условиях из-за наличия погрешностей изготовления элементов зубчатых муфт и погрешностей монтажа, соединяемых муфтами валов агрегатов [7, 8, 9]. Поэтому в дальнейшем проведем исследования напряженно деформированного состояния элементов зубчатых муфт взаимодействующих в условиях наличия погрешностей монтажа валов.

Моделирование погрешностей монтажа валов осуществлялось поворотом обоймы на заданный угол перекоса в положительном направлении относительно вертикальной оси. Для исследований приняты следующие углы перекоса зубьев втулки относительно зубьев обоймы: 5', 10', 15', 19'. Дальнейшее увеличение угла перекоса при выбранной величине бокового зазора невозможно из-за возникновения интерференции, как на левом, так и на правом профилях зубьев.

В результате выполнения расчетов в программном комплексе ANSYS 13.0 для моделей с наличием перекоса зубьев втулки относительно обоймы получены диаграммы распределения эквивалентных напряжений (критерий von-Mises) рис. 2. Как видно из диаграмм распределения эквивалентных напряжений (рис. 2) наиболее нагруженные участки расположены на торце зубчатого венца, расположенного со стороны плоскости разъема фланцев муфты. Большие значения напряжений на данном торце зубчатого венца объясняются тем, что вблизи него осуществляется первоначальный контакт зубьев втулки и обоймы. При этом если рассматривать зубья втулки в области возможного



контакта, то можно выделить несколько зон, в которых наблюдается локальный рост напряжений (если смотреть с наиболее нагруженного торца рис. 2 г):

- левая боковая поверхность зубьев – поверхность, которая непосредственно контактирует с боковой поверхностью зубьев обоймы;
- правая боковая поверхность зубьев – поверхность, которая не контактирует с боковой поверхностью зубьев обоймы;
- поверхность вершин зубьев – поверхность, на которой также может возникать контакт, так как муфты центрируемые.

Локальная зона с высокими напряжениями на левой боковой поверхности зубьев и на поверхности вершин зубьев следствие возникновения контактных напряжений в местах контакта зубьев втулки и обоймы.

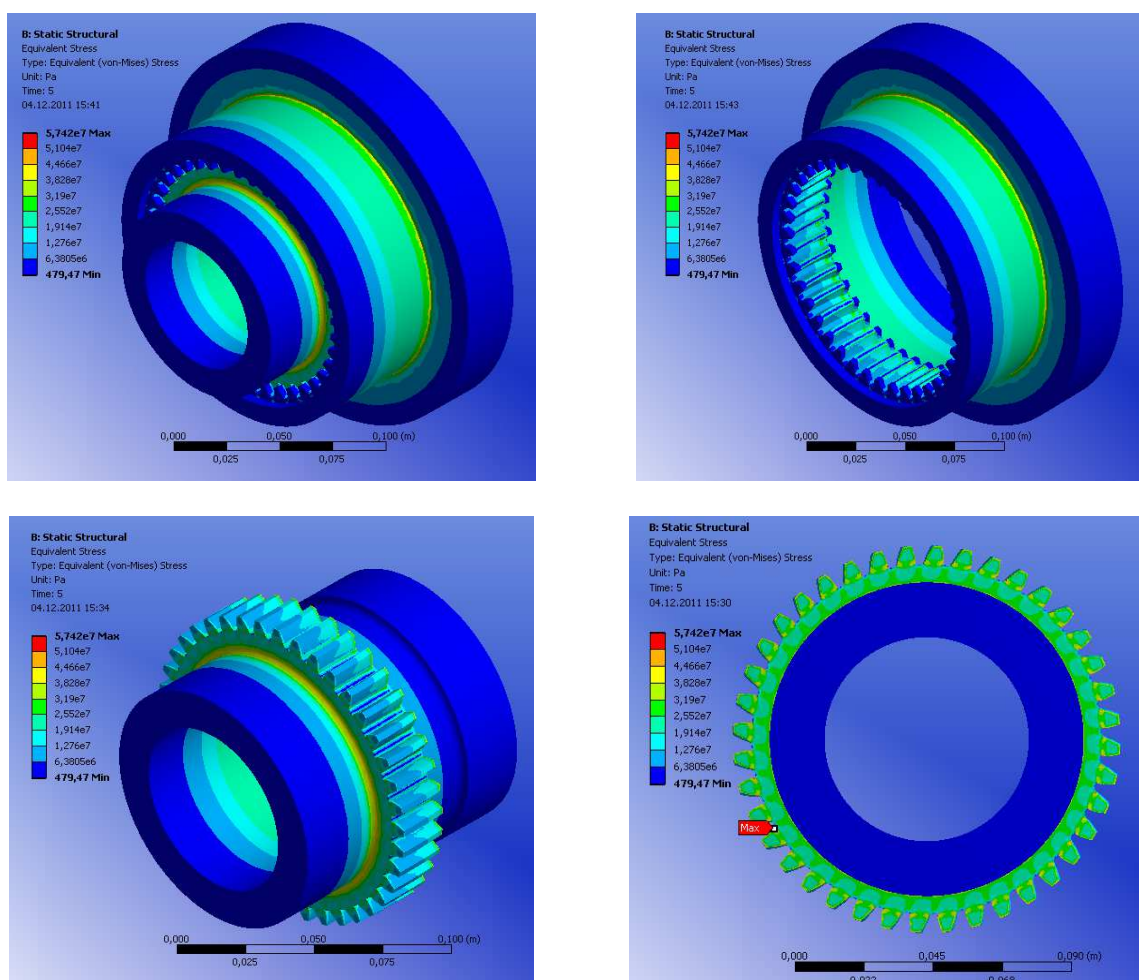


Рис. 2. Результаты расчета напряжений: а - общий вид муфты; б - вид обоймы; в - вид втулки; г - вид втулки с наиболее нагруженного торца.

Локальная зона с высокими напряжениями на правой боковой поверхности зубьев следствие действия момента, который возникает из-за наличия погрешностей монтажа валов. Зубья под действием момента изгибаются.

В дальнейшем в работе проведем обработку полученных диаграмм распределения эквивалентных напряжений (критерий von-Mises), для всех значений углов перекося зубьев. Обработка диаграмм заключается в определении максимальных напряжений на левой боковой поверхности зубьев, на правой боковой поверхности зубьев и на поверхности вершин зубьев, вблизи максимально нагруженного торца зубчатого венца. По получен-

ным, в результате измерения в программном комплексе ANSYS 13.0, напряжениям на левой боковой поверхности зубьев, на правой боковой поверхности зубьев и на поверхности вершин зубьев строим эпюры распределения максимальных напряжений на зубьях втулки с прямолинейной образующей для левой боковой поверхности зубьев (рис. 3 а), на правой боковой поверхности зубьев (рис. 3 б) и на поверхности вершин зубьев (рис. 3 в).

Как видно из эпюр рис. 3 а и б напряжения между зубьями распределены неравномерно, что связано с неравномерным распределением зазоров по рассматриваемым направлениям. Что касается распределения напряжений на правой боковой поверхности зубьев рис. 3 в, то величина этих напряжений зависит, как от распределения зазоров между зубьями, так и от места приложения нагрузки. При этом во всех случаях пары зубьев, между которыми до нагружения наблюдался зазор, остаются недогруженными, что явно видно на сводной эпюре распределения напряжений и зазоров рис. 3 г.

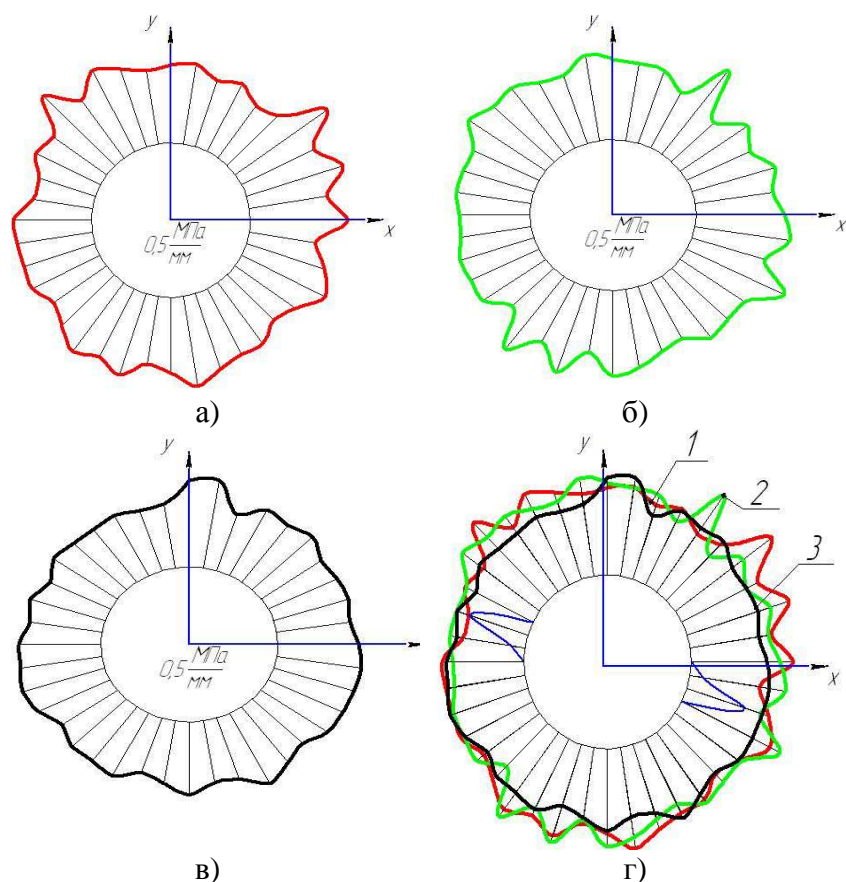


Рис. 3. Эпюры распределения максимальных напряжений на зубьях втулки с прямолинейной образующей: а) напряжения на левом профиле; б) напряжения на правом профиле; в) напряжения на вершине зубьев; г) сводная эпюра напряжений и зазоров: 1-левый профиль, 2-правый профиль, 3-вершина зуба

возрастают при максимально возможных значениях углов перекоса соединения, что связано с особенностями относительных движений зубьев втулки и обоймы, выбором бокового зазора в соединении и как следствие с вступлением в работу правой боковой поверхности зубьев. Напряжения на поверхности вершин зубьев втулки так же резко возрастают при максимально возможных значениях углов перекоса соединения, что

Найдя таким образом максимальные напряжения на левой и правой боковых поверхностях зубьев, а так же на поверхности вершин зубьев строим график их изменения в зависимости от угла перекоса соединения рис. 4. Как видно из графика рис. 4 изменение напряжений в зависимости от угла перекоса соединения носят линейный характер и с увеличением угла перекоса соединения возрастают значения максимальных эквивалентных напряжений. Причем напряжения на левой боковой поверхности, которая непосредственно контактирует с боковой поверхностью зубьев обоймы, возрастают быстрее с увеличением угла перекоса соединения, что связано с локализацией площадки контакта. Напряжения на правом профиле резко

связано со стремлением цилиндрической поверхности вершин зубьев внедриться в поверхность впадин зубьев обоймы.

Таким образом, нагрузка на зубьях с прямолинейной образующей зубчатой втулки распределена неравномерно, а максимальные напряжения превышают минимальные более чем в 2 раза. Неравномерность распределения нагрузки при малых углах

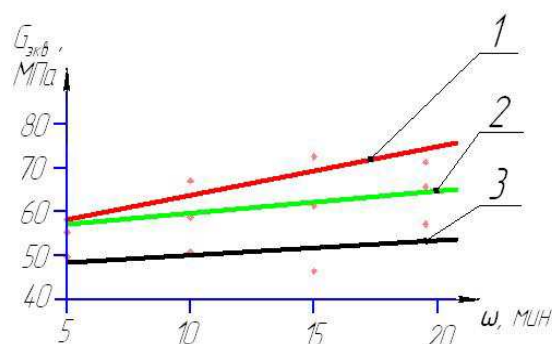


Рис. 4. График изменения максимальных напряжений в зависимости от угла перекоса: 1-левый профиль, 2-правый профиль, 3-вершина зуба

перекоса соединения связано с неравномерностью распределения зазоров между зубьями втулки и обоймы. Неравномерность распределения нагрузки при больших углах перекоса связано локализацией контакта на кромке зуба втулки и на поверхности вершин зубьев втулки. При этом, величина максимального компенсируемого угла перекоса соединения ограничена величиной бокового зазора в соединении и геометрией поверхности вершин зубьев и не превышает - для зубьев с  $m=3\text{ мм}$  и  $z=40$  -  $19'$  при выбранном значении бокового зазора, а максимальные напряжения по сравнению с моделью, в которой отсутствует перекос зубьев втулки относительно обоймы, увеличились для: левой боковой поверхности зуба втулки на 27,1%, правой боковой поверхности зуба втулки на 15,6% и поверхности вершин зубьев на 16,8%.

**Список литературы:** 1. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров. Справочное пособие. - М: Машиностроение-1, 2004. - 512 с. 2. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. Москва: ДМК Пресс, 2005. - 640 с. 3. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс, 2010. - 464 с. 4. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: Учебник для вузов / Артоболевский И.И. — М.: Наука, 1988. — 640с. 5. Михайлов А.Н. Основы синтеза геометрии внутренних пространственных зацеплений с равным числом внутренних и наружных зубьев / А.Н. Михайлов, С.А. Рыбина, Д.В. Перов, Т. Оливер // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. — Донецк, Донец. гос. техн. ун-т., 2000. — Вып. 10. — С. 149—161. 6. Допуски и посадки: Справочник В 2—х ч. / В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. — Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1983. — ч. 2. — 448 с. 7. Михайлов А.Н. Анализ погрешностей монтажа валов и изготовления зубчатых венцов полумуфт / А.Н. Михайлов, Р.М. Грубка // Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века: Сборник трудов международной научно-технической конференции в г. Севастополе 10–16 сентября 2001 г. В 3 т. — Донецк: ДонНТУ, 2001. — Т. 2. — С. 37-42. 8. Михайлов А.Н. Анализ влияния геометрических характеристик зубьев зубчатых муфт на параметры контактирования зубьев с пространственной модификацией / А.Н. Михайлов, Р.М. Грубка // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. — Донецк: Донец. гос. техн. ун-т, 2002. — Вып. 21. — С. 126-131. 9. Грубка Р.М. Кинематико-геометрический анализ движений элементов зубьев зубчатых муфт в условиях перекоса осей валов / Р.М. Грубка, Е.А. Буленков // Практика и перспективы развития институционального партнерства: Материалы третьего Международного научно-практического семинара в г. Таганроге 4–6 июня 2002 г. В 2 кн. — Таганрог: ТРТУ, 2002. — Кн. 2. — С. 53-57.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПОНЯТИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ

Демченко А.А., Момот А.И., Василян Г.Р.

ДонНТУ, г.Донецк, Украина

Тел./факс: +38 062 263 78 3; E-mail: momot@mech.dgtu.donetsk.ua

**Abstract:** *There have been studied characteristicsofthe conceptsof efficiency andeffectivenessin the evaluation processof the enterprise.*

**Keywords:** *Efficiency, effectiveness,assessment,enterpriseactivity.*

В условиях рыночной экономики субъекты хозяйствования стремятся к максимализации доходов и минимализации затрат, то есть стремятся к эффективному производству. Правильное определение экономического состояния предприятия, оценка эффективности и результативности его хозяйственной деятельности служит первой ступенью для разработки обоснованной экономической политики, постановки задач, которые могут быть реально решены для совершенствования всего производственного механизма. В настоящее время существует множество методик по определению эффективности и результативности деятельности. Разный подход основывается на несовпадении понятийного аппарата, поэтому для объективной оценки необходимо четко определиться с самими понятиями.

Данной проблеме посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных ученых, среди них можно выделить: Андрийчука В.Г., Ефимову О. В., Карамана, М.М., Новикова, М.М., Петрова И. В., и др. В связи с выходом в 2008 г. новой версии международного стандарта ISO 9001:2008, в которой отводится более важная роль оценке эффективности и результативности деятельности предприятия, необходимость совершенствования понятийного аппарата значительно усиливается.

Цель данной статьи - проведение исследования особенностей применения понятий эффективности и результативности в процессе оценки деятельности предприятий.

Общеизвестно, что категорию эффективности можно отнести к разряду ключевых в экономике. Эффективность является одним из важнейших показателей человеческой активности, взятым с точки зрения ее способности обеспечить конечный результат. Как экономическая категория эффективность дает единую качественно-количественную характеристику результативности хозяйствования [1].

Принято считать, что термин «эффективность» появился первоначально в экономической литературе в работах Уильяма Пети (1623-1687 гг.) – английского экономиста, родоначальника классической политэкономии, основоположника трудовой теории стоимости -и главы школы физиократов, французского экономиста Франсуа Кенэ (1694-1774 гг.). Однако как самостоятельное экономическое понятие «эффективность» ими не разрабатывалась. Они употребляли этот термин в значении результативности и использовали его для оценки тех или иных правительственных или частных мер в зависимости от того, способствовали те или нет оживлению экономической жизни [2]. Большинство авторов сходятся во мнении о том, что основоположником теории экономической эффективности является выдающийся шотландский экономист Адам Смит. В дальнейшем его идеи получили развитие в трудах Д. Риккардо, К. Маркса и других.

Представителем классической политэкономии Давидом Риккардо (1772-1823 гг.) были предприняты попытки оценки эффективности капитала. В частности, он доказал, что чем менее долговечен капитал, тем больше требуется постоянно затрачиваемого труда для сохранения его первоначальной эффективности. У Д. Риккардо термин «эффективность» использовался уже не в значении «результативность», а как отношение результата к определенному виду затрат. С этого времени понятие «эффективность» приобретает статус экономической категории [3]. К. Маркс говорил о том, что «производство эффективно, если при минимуме авансированного капитала производить максимальное количество продукта с возможно меньшими затратами сил и средств».

Свой вклад в развитие категории эффективности внесли такие зарубежные ученые, как Питерс Т., Уотермен Р., Харрингтон Дж., А. Файоль, Г. Эмерсон, Ф. Тейлор, Г. Форд и другие, мнения которых сходятся в том, что именно эффективность с точки зрения управленцев является наиболее важной характеристикой деятельности предприятия. Однако «эффективность» как самостоятельное экономическое понятие они не исследовали, а только использовали этот термин в значении результативности управления и рассматривали его на макроуровне относительно действий субъекта управления - правительства государства.

Так, в книге К.Р. Макконнелла и С.Л. Брю, непосредственно сама наука определяется через понятие эффективности. По мнению авторов «Экономика» исследует проблемы эффективного использования ограниченных производственных ресурсов или управление ими с целью максимального удовлетворения материальных потребностей человека». Они отмечают, что экономическая эффективность «характеризует связь между количеством единиц ресурсов, которые используются в процессе производства, и полученного в результате количества любого продукта. Большее количество продукта, полученного от данного объема затрат, означает повышение эффективности. Меньший объем продукта от данного количества затрат указывает на снижение эффективности» [4].

В отечественной экономической литературе понятию эффективность посвящено множество научных трудов и исследований. Дискуссии в этом направлении не прекратились и с началом кардинальных экономических преобразований, когда на первый план были выдвинуты иные, на первый взгляд, более актуальные вопросы. В общем представлении эффективность (в переводе с латинского - действенный, производительный, дающий результат) характеризует развитые различные системы, процессы, явления.

Эффективность выступает как индикатор развития. Она же - его важнейший стимул. Стремясь повысить эффективность конкретного вида деятельности и их совокупности, мы определяем конкретные меры, способствующие процессу развития, и отсекаем те из них, что ведут к регрессу. Как категория она имеет две стороны - качественную и количественную. Качественная сторона отражает ее логическое, теоретическое содержание, то есть сущность категории. Количественная сторона раскрывает действие закона экономии времени, а именно, отражает экономию времени при достижении целей общественного производства в ходе всего воспроизводственного процесса и на отдельных его фазах в масштабе всего народного хозяйства, отдельных его регионов, отраслей, хозяйственных субъектов. То есть на всех исторических этапах развития человеческого общества оно должно экономно расходовать свои силы, достигая расширения выпуска продукции при минимальных затратах средств. А это и есть объективно существующий критерий экономической эффективности на всех ступенях развития общества.

Ряд авторов, в т.ч., А. Бугуцкий, П.Т. Саблук, Ю.Н. Новиков, М.М. Караман считают, что эффективность - это не просто результативность производства, а соотношение результата или эффекта производства к затратам общественного труда. Так, с точки зрения А. Бугуцкого, эффективность производства можно рассматривать как производство товара с наименьшими затратами, использования минимального количества ресурсов для производства определенного объема продукции при минимальных средних общих затратах [5]. В то же время П.Т. Саблук считает, что критерий эффективности всегда показывает соотношение результатов к затратам. Ю.Н. Новиков указывает, что понятие «экономическая эффективность» означает всегда положительный результат, который выраженный в денежной форме. В.Г. Андрийчук определяет экономическую эффективность как такое соотношение между ресурсами и результатами производства, при котором получают стоимостные показатели эффективности производства [6]. М.М. Караман утверждает, что экономическая эффективность – это соотношение полученного результата и всеми затратами труда и использованных средств на его производство [7].

Понятия эффективности рассматриваются в трудах современных ученых Мочерного В. И., Петрова И. В., Сеницыной Т. А., Ефимовой О. В. и других, которые объясняют эту категорию по-разному. Рассмотрим подходы к определению эффективности в трактовке разных авторов, выделив при этом морфологический признак определения в таблице 1.

Таблица 1. Подходы к определению эффективности в трактовке разных авторов

Группы авторов	Морфологический признак	Определение эффективности
Долан Е. Дж.	выбор	Эффективность - это выбор правильных целей, на которых фокусируется вся энергия
Друкер П. Ф., Устенко О. Л., Маркина И. А., Шеремет А. Д., Сайфулин Р. С.	Результат	Эффективность - это не только связь результата с намеченными целями, но и результат (эффект) с точки зрения оптимального использования ресурсов - материальных, финансовых, трудовых
Мескон М. Х., М. Альберт, Ф. Хедоури	Оценка	Эффективность - внутренняя экономичность, которая измеряет наилучшее использование ресурсов
Румянцева З. П., Мазур И. И., Шапиро В. Д., Ольдерогге Н. Г., Сеницына Т. А., Ячменева М. В., Сулима О. Й., Мильнер Б. З., Н. Туленков, Мочерный С. В., К. Макконелл и С. Брю	Соотношение	Эффективность - это всегда определенное соотношение (результата с целями или результата с расходами на его получение), то есть величина относительная, данная категория носит управленческий характер и отображает, прежде всего, степень достижения поставленных целей. Эффективность - это способность приносить эффект, результативность процесса, проекта и т. п., которые определяются как отношение эффекта, результата к расходам, которые обеспечили этот результат

Повышение эффективности производства является одной из актуальнейших проблем, успешное решение ее дает огромные возможности для дальнейшего развития экономики страны и повышения уровня жизни населения [8].

Одним из условий успешной деятельности любого предприятия в соответствии с требованиями МС ISO 9000 является проведение мониторинга и измерения результатов деятельности. Однако любой результат может быть интересен тогда, когда он может быть сравним с затратами на его получение. Иначе говоря, при проведении анализа деятельности предприятия необходимо сопоставлять результативность (требования ISO 9001:2008) с эффективностью (требования ISO 9004:2000)[9].

Результативность определяется стандартами ISO 9000:2005 как степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов. Кроме того, поясняется, что результативностью может считаться приведение в исполнение, достижение (степень законченности действия), выполнение, проведение (степень исполнения) команды, обязанности (долга), назначения (цели), обещания. Эффективность, согласно стандарту ISO 9000:2005 - связь между достигнутым результатом и использованными ресурсами[10].

Сущность результативности - нечто такое, что можно охарактеризовать неким числом (достигнутым результатом), то есть традиционным отношением результата к затратам. В английском языке существуют два термина – efficiency и effectiveness, словарные эквиваленты которых одинаковы - «эффективность». Однако между этими терминами существует содержательное различие: efficiency обычно относится к использованию средств (ресурсов), в то время как effectiveness(результативность) имеет отношение к организационным целям, поведению и развитию. В первом случае понятие эффективность характеризует степень рациональности использования финансовых, организационных, материальных, временных и человеческих ресурсов. Эффективная организация сфокусирована на достижение эффектов за счет структурной и ресурсной оптимизации и контроля внутриорганизационных затрат. Во втором случае термин «эффект» используется в контексте соотношений «причина-результат».

О соотношении результативности и эффективности упоминается в известной работе по менеджменту. «Чтобы быть успешной в течение долгого времени, чтобы выжить и достичь своих целей организация должна быть как эффективной, так и результативной». По словам известного ученого Питера Друкера, результативность является следствием того, что «делаются нужные, правильные вещи (doingtherightthings). И первое, и второе одинаково важно...»[11]. Результативность, в том смысле, что «делаются правильные вещи» является чем-то неосознанным, что трудно определить, особенно если организация внутренне неэффективна. Но эффективность обычно можно измерить и выразить количественно, потому что можно определить денежную оценку ее входов и выходов. Именно результативность как показатель, отражающий правильное делание вещей, обязана иметь количественное выражение. Следовательно, результативность - определенный показатель некоего процесса, показатель того, что в конце процесса получается нечто, заранее запланированное. Под результативностью организации понимается ее способность достичь установленных внешних целей, нацеленность на то, чтобы все ее организационные решения и действия отвечали критериям, установленными внешней средой.

Это фокусирование организаций на постоянный поиск новых возможностей в создании новых видов продукции, инвестиций, на приспособление своей внутренней

среды к внешним обстоятельствам и условиям деятельности, на будущее. Таким образом, организации могут быть очень эффективными, но абсолютно не результативными.

Повышение эффективности и результативности производства является одной из актуальнейших проблем, успешное решение ее дает огромные возможности для дальнейшего развития экономики страны и повышения уровня жизни населения.

На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Для организаций, занятых в инновационной сфере возникает необходимость развести категории «результативность» и «эффективность». Каждое из них имеет самостоятельное значение, одинаково важное для проведения оценки деятельности предприятия, и не может заменить другое понятие.

2. В условиях формирования рыночных отношений, когда результаты работы одних субъектов рынка зависят от четкости и слаженности работы других субъектов, проблема эффективности становится определяющей.

3. Залог успеха деятельности любого предприятия кроется в постоянном повышении эффективности и результативности производства, систематическом анализе производственной деятельности, разработке и внедрении мероприятий нацеленных на повышение эффективности и результативности производства.

**Список литературы:** 1. Економічна енциклопедія: у 3-х т. Т. 1 / редкол. В. Мочерний (відп. ред.) та ін. - К.: Вид. центр "Академія", 2000. - 864 с. 2. Проблема эффективности в современной науке // Под ред. А.Д. Урсула. - Кишинев. Изд-во Штиинца, 1985. - 256 с. 3. Рикардо Д. Начала политической экономики и податного обложения / Д. Рикардо.- М.: Госиздат, 1929. - 368 с. 4. Макконел К.Р. Экономикс: Принципы, проблемы, политика. В 2 т. / К.Р. Макконел, С.А. Брю.- М.: Республика, 1992. - Т.1. - 399 с. 5. Бугуцкий А.Л. Повышение эффективности труда в сельском хозяйстве / Бугуцкий А.Л. - Е.: Урожай, 1990. - 168 с. 6. Андрійчук В.Г. Економіка аграрних підприємств / Андрійчук В. Г. - 2. вид., доп. і перероб. - К.: КНЕУ, 2004. - 624 с. - Бібліогр.: с. 612 - 614. 7. Караман М.М. О сущности эффективности и экономической эффективности сельскохозяйственного производства в переходный период к рыночной экономике, их критерии и показатели / М.М. Караман // Экономика Крыма. Научно-практический журнал. - 2002. - №4. - с. 10-13. 8. Омельченко Е.В. Организационно-экономические основы повышения эффективности российского производственного предпринимательства: дис. д-ра экон. наук / Е.В. Омельченко. - М.: Российская академия предпринимательства, 2002. - 314 с. 9. Момот А.И., Бакало Е.А. Соотношение понятий «результативность» и «эффективность» при осуществлении производственной деятельности // Матеріали 6-ої Регіональної науково-практичної і студентської конференції. «Проблеми розвитку та упровадження систем управління якістю в регіоні». - Донецьк: ДонНТУ, 2009. - С. 114-117. 10. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. Третье издание: ISO 9000:2005. - [Действующий с 15.09.2005]. - Группа компаний «ИНТЕРСЕРТИФИКА», 2005. - 41с. - (Международный стандарт). 11. Питер Ф. Друкер. Эффективный управляющий - Москва: ВЦИ, 1994 - 268 с.

## АНАЛИЗ МЕТОДИК ОЦЕНКИ РИСКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Долгополова А.Г., Плуготаренко Н.К.

ЮФУ, г. Таганрог, Россия

Тел./факс: +7 (8634) 37-16-24; E-mail: plugotarenkonk@sfnedu.ru

**Abstract:** *The article is devoted to the important issue of our time, which has an impact on the environment and human health, and sometimes in his life. The article analyzes the methods of risk assessment of the impact of nuclear power plants on the environment. As a result of analysis, we can make a proposal to create a new and improved method of assessing risk from exposure to nuclear power plants.*

**Key words:** *Nuclear power plants, nuclear energy, radiation risk, a guideline, radiation safety.*

В настоящее время проблемы, связанные с эксплуатацией атомных электростанций (АЭС), обострились. Увеличилось количество аварий на атомных электростанциях, одним из ярких таких примеров является авария на японской АЭС «Фукусима», случившаяся 2 года назад, вызвавшая массовые митинги в Германии и Франции, призывающие привести к отказу от атомной энергетики или, как минимум, прекращению эксплуатации всех атомных электростанций старше 30 лет.

Все происходящие события подтверждают необходимость адекватной оценки риска воздействия на окружающую среду атомных электростанций. В данной работе проведен анализ существующих методик для вычисления радиационного риска от АЭС.

Первой будем рассматривать методику из Положения [1], в котором приведены рекомендации Ростехнадзора по:

- методам выполнения обоснования радиационной безопасности объектов использования атомной энергии для населения и персонала при нормальной эксплуатации объектов использования атомной энергии и при возможных на них проектных и запроектных авариях;
- методам расчета индивидуальных радиационно-обусловленных рисков раковых заболеваний среди лиц, подвергшихся внешнему облучению вследствие профессиональной деятельности, а также среди населения, проживающего вблизи объектов использования атомной энергии.

Оценка радиационного риска, создаваемого объектами использования атомной энергии для населения и персонала при их нормальной эксплуатации и возможных проектных и запроектных авариях, основана на сравнении установленных в нормативном документе [3] критериев безопасности соответствующих категорий лиц с консервативно рассчитанными значениями показателей радиационного риска этих лиц, обусловленного их облучением при нормальной эксплуатации объектов использования атомной энергии, а также их потенциальным облучением.

Оценка радиационного риска основывается на общей теоретико-вероятностной методологии анализа риска, математических моделях радиационного риска и фоновых медико-демографических данных. Поглощенные или эквивалентные дозы облучения являются необходимыми исходными данными. В настоящем Положении [1] описаны методы расчета радиационного риска от внешнего облучения.

Оценка радиационного риска проводится при:

- выполнении анализа радиационной безопасности объектов использования атомной энергии для населения и персонала при их нормальной эксплуатации и при возможных на них проектных и запроектных авариях;

- оценке фактического уровня радиационной безопасности объектов использования атомной энергии для населения и персонала;
- ретроспективных исследованиях индивидуального облучения лиц из населения и персонала;
- оптимизации планируемого повышенного облучения лиц из персонала;
- разработке и реализации планов оптимизации радиологической защиты.

Оценку радиационного риска рекомендуется проводить с целью определения вероятности нанесения ущерба здоровью человека вследствие воздействия ионизирующего излучения при:

- фактическом (уже произошедшем) облучении;
- облучении при нормальной эксплуатации объектов использования атомной энергии, которое может произойти в будущем с вероятностью, равной единице;
- потенциальном облучении, которое может произойти в будущем вследствие возможной аварии на объектах использования атомной энергии с некоторой вероятностью, меньшей единицы.

Эти данные являются основой для принятия управленческих решений:

- по выполнению обоснования радиационной безопасности проектируемых, сооружаемых и уже существующих объектов использования атомной энергии для персонала и населения при их нормальной эксплуатации и при возможных на них проектных и за-проектных авариях;
- по оценке документов, обосновывающих радиационную безопасность проектируемых, сооружаемых и уже существующих объектов использования атомной энергии, органами государственного надзора за безопасностью использования атомной энергии;
- по ограничению риска установленными пределами;
- по информированию персонала и населения о существующем риске нанесения ущерба здоровью.

При оценке радиационной безопасности объектов использования атомной энергии для персонала в условиях их нормальной эксплуатации рекомендуется расчетным путем или на основании фактических данных по эксплуатации аналогичных объектов определить количественные значения всех радиационно-опасных факторов на рабочих местах:

- мощности дозы внешнего излучения (с учетом вида излучения, его энергетического и углового распределений), с обязательным учетом возможной неравномерности этого поля в пределах пространства, в котором могут находиться лица из персонала при выполнении ими работ в условиях нормальной эксплуатации объектов использования атомной энергии;
- удельной газоаэрозольной активности в атмосфере рабочих помещений (или на конкретных рабочих местах) с учетом ее радионуклидного состава, химической формы, значения среднего медианного диаметра газоаэрозольных частиц (при невозможности определить эту последнюю характеристику консервативно рекомендуется принять, что вся газоаэрозольная активность существует в газовой фазе);
- бета-загрязненности рабочих поверхностей радионуклидами.

По консервативно определенным значениям рабочего времени, в течение которого лица из персонала находятся в условиях непосредственного воздействия радиационно-опасных факторов, и по данным, перечисленным выше, рассчитываются значения годовой эффективной дозы внешнего облучения и годовых эквивалентных доз внешнего облучения органов или тканей, для которых в нормативном документе [3] приведены значения основных пределов доз (хрусталика глаза, кожи, а также кистей рук и стоп).

При расчетах эффективной дозы внутреннего облучения персонала рекомендуется использовать дозовые коэффициенты ингаляторного поступления радиоактивности в организм, установленные в приложении 1 к нормативному документу [3].

Полученные значения рекомендуется сравнить с установленными в табл. 3.1



нормативного документа [3] критериями безопасности персонала (основными пределами доз) при нормальной эксплуатации объектов использования атомной энергии. Требуемый уровень радиационной безопасности этих объектов достигается при условии, что ни одно из рассчитанных значений эффективной и/или эквивалентных доз облучения не превысит установленного значения соответствующих критериев безопасности.

Для оценки индивидуального радиационного риска раковых заболеваний от внешнего облучения используются следующие исходные данные об облученном человеке:

- пол;
- режим облучения в виде набора связанных пар значений: возраст, в котором получена доза облучения (число полных лет);
- эквивалентная дозовнешнего облучения в зивертах;
- возраст, для которого ведется расчет риска (число полных лет).

Для радиационной безопасности объектов использования атомной энергии для персонала и населения при возможных на этих объектах авариях с радиационными последствиями необходимо знать данные об эффективной дозе облучения человека, при происхождении аварии; вероятность того, что эта авария может произойти и приведет к облучению лиц из персонала или критической группы лиц из населения; полный набор значений доз облучения человека при реализации возможных аварий на данном объекте использования атомной энергии; полный набор значений вероятностей реализации этих аварий; значение суммарного пожизненного риска, обусловленного облучением человека эффективной дозой; коэффициент пропорциональности между значениями эффективной индивидуальной дозы облучения человека (лица из персонала или населения) и риска, обусловленного этим облучением, на интервале от 0 мЗв до 200 мЗв.

Вторым документом рассмотрим методические указания (МУ) [2], которые являются государственным санитарно – эпидемиологическим нормированием Российской Федерации. Данные методические указания устанавливают процесс оценки популяционного избыточного пожизненного риска онкологической заболеваемости, связанной с длительным равномерным облучением тела в малых дозах от техногенных источников ионизирующих излучений с постоянной или изменяющейся во времени средней годовой дозой облучения населения, проживающих на территориях с повышенным вследствие аварии на АЭС уровнем радиоактивного загрязнения. Такие количественные показатели на уровне отдельного населенного пункта, района или субъекта РФ используются для сравнительной оценки рисков и выявления причин повышенной заболеваемости злокачественными новообразованиями (ЗНО) при одновременном воздействии на население различных вредных факторов среды обитания.

По данному МУ [2] приводятся методы оценки риска и/или ожидаемого количества вызванных облучением ЗНО для следующих видов длительного облучения:

- облучение населения в течение года;
- облучение населения в течение ряда лет, предполагая дальнейшее проживание на рассматриваемой территории;
- облучение населения, проживавшего на рассматриваемой территории в течение ряда лет в любой период после произошедшей аварии.

Оценка риска может осуществляться для следующих групп облучаемого населения:

- дети в возрасте 0–14 лет;
- подростки 15–17 лет;
- дети и подростки 0–17 лет;
- взрослое население от 18 лет и старше;
- все население в возрасте 0 – 85 лет и старше.

Применительно к ситуациям облучения, описанным выше, рассматривается три варианта оценки ожидаемых последствий облучения:

- оценка текущей ситуации облучения (за счет облучения в течение одного календарного года);
- прогнозная оценка (за счет облучения в течение ряда последующих лет);
- ретроспективная оценка (за счет облучения в предшествующий период).

Оценка риска производится на основе следующих исходных данных:

- Популяционная оценка возможных последствий облучения может производиться как для населения в целом, так и для отдельных групп населения.
- В оценках радиационного риска для конкретной группы населения используются данные о численности данной возрастной группы на том административном уровне, для которого производится такая оценка.
- Информацию о половозрастной структуре населения следует брать только из официальных данных Федеральной службы государственной статистики.
- Оценка риска возникновения ЗНО у населения, проживающего на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на АЭС, производится по величине СГЭД, которая рассчитывается в соответствии с различными методическими указаниями, например, МУ 2.6.1.2222-07 «Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду».
- При отсутствии данных о средних дозах облучения населения в отдельных возрастных группах значения СГЭД принимаются одинаковыми для всего населения в пределах административно-территориальной единицы, для которой осуществляется оценка риска.
- Для ситуации, когда облучение населения происходит, исходя из предположения дальнейшего проживания на рассматриваемой территории в течение ряда лет, риски рассчитываются только для лиц, входящих в изучаемую группу на начало первого года периода облучения (фиксированная когорта).

Также для расчета риска учитываются коэффициенты риска, которые включают в себя оценки для ЗНО следующих органов и тканей: пищевода; желудка; ободочной кишки; печени; легких; молочной железы у женщин; мочевого пузыря; щитовидной железы; мозга и центральной нервной системы; костей; кожи (за исключением меланомы); солидные ЗНО других органов и тканей; лимфоидной и кроветворной тканей (только лейкозы).

Рассмотрев обе методики можно сделать вывод, что для расчета каждой из них есть схожие исходные данные, такие как количество населения, возможность разделения населения на возрастные и половые группы, возможные дозы облучения. Но с другой стороны вторая методика учитывает больший спектр возможных заболеваний и последствий у населения при длительном облучении радиацией после происхождения аварии на АЭС, когда первую методику удобно применить для расчета рисков при нормальной эксплуатации объектов использования атомной энергии и при возможных на этих объектах авариях с радиационными последствиями.

Возможно, стоит задуматься о создании комплексной методики, которая могла бы усовершенствовать приведенные выше методические указания, учитывая и другие воздействия АЭС на окружающую среду, так как они также являются факторами риска для населения.

**Список литературы:** 1. Положение о прогнозировании индивидуальных радиационных рисков персонала и населения при нормальной эксплуатации и возможных авариях на объектах использования атомной энергии. – Утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 июля 2010 г. N 605. 2. МУ 2.1.10.3014 – 12 «Оценка радиационного риска у населения за счет длительного равномерного облучения в малых дозах». 3. СанПиН 2.6.1.2523 – 09 «Нормы радиационной безопасности НРБ – 99/2009».

## ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ САМОЛЕТОМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ НА ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМЕ И РЕЖИМЕ ВИСЕНИЯ

Дуров Д.С.

ЮФУ, г. Таганрог, Россия

Тел. +7(8634)371622; E-mail: [mkk@egf.tsure.ru](mailto:mkk@egf.tsure.ru)

**Abstract:** *The article considers the particular operation of the aircrafts vertical takeoff and landing, and exposure of the forces and moments on the transition mode from vertical to horizontal flight and hover. The rationale redistribution of the required engine power and thrust, according to the type of the aircraft vertical takeoff and landing with synchronized propellers at failure of one of engine.*

**Key words:** *VTOL, powered lift aircraft, transitional regime, propeller aircraft.*

Одним из направлений развития современной авиации стали самолеты вертикального взлета и посадки (СВВП), в разработке которых добились успеха ряд конструкторских бюро как отечественных, так и зарубежных производителей авиационной техники. Обладая скоростными и маневренными характеристиками, не уступающими характеристикам самолетов обычной схемы, СВВП имеют важное преимущество, заключающееся в том, что они не нуждаются в протяженных взлетно-посадочных полосах и могут осуществлять взлет и посадку с ограниченных площадок и в стесненных пространствах городского базирования. Для обеспечения возможности такого применения СВВП требуется решить ряд задач, связанных с разработкой аэродинамической компоновки, выбора типа и параметров силовой установки (СУ), режимов полета и техники пилотирования.

СВВП с несущими винтами и легконагруженными винтовыми силовыми установками имеют благоприятные условия для экономичного полета на режиме взлета и висения. Но если требуются и большие скорости горизонтального полета, то применение самолетов вертолетного типа (с неподвижной вертикальной осью несущих винтов) становится затруднительным, а все предпринимавшиеся до настоящего времени попытки существенного увеличения горизонтальной скорости вертолетов были лишь отчасти успешными.

Применение силовых установок с несущими и тянущими воздушными винтами для СВВП представляет собой компромисс между очень хорошими летными характеристиками на режиме висения, но малыми горизонтальными скоростями и дальностями вертолетов с одной стороны, и очень плохими летными характеристиками на режиме висения, но большими горизонтальными скоростями и дальностями реактивных СВВП – с другой. Главную роль в такого рода решении играет поворот оси вращения несущего или тянущего воздушного винта на переходном режиме полета. В случае легконагруженных винтов целесообразным является поворот оси винта при неподвижном крыле (поворотные винты), а в случае тяжелонагруженных винтов необходимо поворачивать воздушный винт вместе с крылом, как у СВВП модели ХС-142А [1, 2]. Необходимость совместного поворота в последнем случае объясняется тем, что возникающие за тяжелонагруженными винтами высокоскоростные струи приводят при неподвижном крыле к недопустимо большим потерям тяги на режиме висения. Другие отличительные для винтовых силовых установок большое значение приобретает расчет обтекания винта и взаимодействия обтекающего потока с крылом. Такой расчет играет особенно важную роль при применении винтовых силовых установок (СУ) для СВВП, так как на переходном режиме имеют место большие углы атаки.

Как известно, тягу воздушного винта в статических условиях можно значительно увеличить, окружая винты многовинтового СВВП кольцевыми каналами [1, 3]. Кольцевой канал, окружающий винт, препятствует выравниванию давления на концах лопастей. Поэтому при заданной величине тяги можно уменьшить диаметр кольцевого канала и, следовательно, общую ширину СВВП. Поскольку благодаря кольцевым каналам отодвигается интенсивное возрастание волнового сопротивления до достижения окружной скорости концов лопастей винтов равной 280-290 м/с и, как следствие, увеличивается статическая тяга и за винтами образуется воздушная струя, обладающая большой энергией, что позволяет установить на выходе кольцевых каналов и за ними эффективные аэродинамические рулевые поверхности. Использование кольцевых каналов также предопределяет обеспечение дополнительными несущими поверхностями, увеличивающими подъемную силу крыла и позволяет повысить безопасность, исключая возможность соприкосновения посторонних предметов с консольными винтами. Данные винты кроме создания силы тяги и обеспечения управляемости на малых скоростях создают поток, обдувающий несущие поверхности, чем обеспечивается до 20% подъемной силы во время переходного режима полета, что повышает надежность и стабильность управления. Это также уменьшает акустическую сигнатуру и шумовое воздействие при их работе в сравнении с винтами без кольцевых каналов, создающих аналогичную им тягу, но при более высоком уровне шума. Кроме того, кольцевой канал упрощает на вертолетных режимах полета продольное и поперечное управления, а также и управление по курсу, что позволит использовать несущие винты без циклического изменения их шага и позволит уменьшить вес конструкции и повысить весовую отдачу [2-4].

Но, с другой стороны, кольцевой канал воздушного винта увеличивает полетный вес, что приводит к ухудшению отношения тяги к весу по сравнению со свободным винтом, а также значительно увеличивает обтекаемую (смоченную) поверхность самолета, определяющую сопротивление трения.

Для СВВП с большими нагрузками на крыло, например для транспортных СВВП, относительное увеличение площади особенно велико, даже в тех случаях, когда используется струя большой скорости. Если, как на СВВП модели X-22А [2], так и на гидроконвертоэкраноплане (ГКЭП) [3] кольцевые каналы воздушных винтов служат одновременно кольцевыми секциями крыла и составляют существенную часть несущего крыла, то ситуация улучшается по сравнению с рассмотренным случаем. Но так как при одинаковой подъемной силе площадь поверхности кольцевого крыла всегда больше, чем у соответствующего плоского крыла, то при применении воздушных винтов в кольцевых каналах всегда имеет место некоторый проигрыш в аэродинамическом сопротивлении самолета.

Очередной сложной проблемой является оптимизация самого кольцевого канала воздушного винта, так как для получения наивыгоднейшей формы канала требуется различная кривизна его входных кромок на режиме висения и в крейсерском полете. Подводя итог, можно сказать, что преимуществам применения воздушных винтов в кольцевых каналах противостоит ряд труднопреодолимых недостатков, особенно в случаях, когда необходимо достичь высоких скоростей крейсерского полета.

Аэродинамическое управление СВВП на режиме висения не является эффективным из-за малой поступательной скорости движения летательного аппарата. СВВП необходимы дополнительные устройства для создания управляющих ускорений и моментов вокруг связанных с самолетом осей, например, для совершения разворота в горизонтальной плоскости (рис. 1).

С помощью этих управляющих воздействий решаются такие задачи как стабилизация, маневрирование, балансировка и управление полетом по вертикали. На режиме

висения в отсутствие возмущений самолет находится в состоянии неустойчивого или нейтрального равновесия. При воздействии возмущений, например вследствие турбулентности атмосферы, самолет, находящийся на режиме висения, должен сохранять желаемое горизонтальное положение, что обеспечивается путем быстрого манипулирования органами управления по крену и тангажу. Маневрирование в продольном и боковом направлениях на режиме висения обычно осуществляется путем изменения углового положения самолета. Для изменения углового положения самолета по тангажу, крену и курсу необходимо создать достаточные по величине управляющие моменты относительно соответствующих осей. При этом изменения углового положения по тангажу и крену приводят к поступательному движению самолета в горизонтальной плоскости.

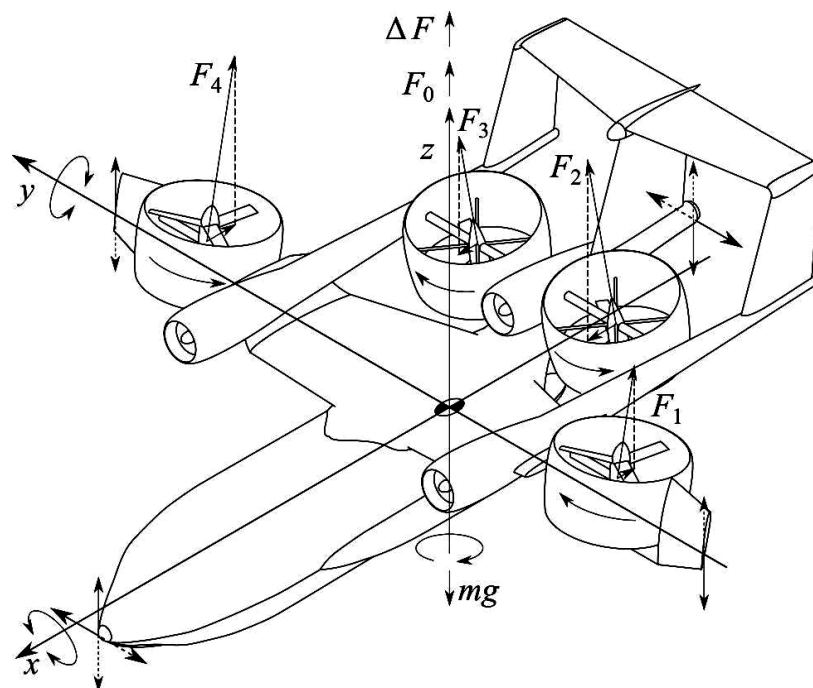


Рис. 1. Управляющие силы и моменты, действующие на СВВП на режиме висения

Управляющие моменты необходимо создавать также для компенсации возмущающих моментов при изменениях центровки самолета, например вследствие смещения центра тяжести, а также компенсации возмущающих моментов, возникающих при продольном движении самолета и (или) при наличии воздушных потоков произвольного направления, например при боковом ветре. Кроме того, может возникнуть необходимость в дополнительных управляющих моментах в случае отказа двигателей или управляющих устройств.

Управление необходимо и для обеспечения поступательного движения самолета в вертикальной плоскости, например при взлете или посадке. Орган управления общей тягой двигателей является четвертым органом управления самолетом на режиме висения, при помощи которого можно изменить высоту полета путем одновременного увеличения или уменьшения тяги всех двигателей. Это самый главный орган управления на этапах вертикального взлета и посадки.

Решение задач стабилизации, маневрирования осуществляется, как известно, главным образом путем изменения углового положения самолета и связано с величиной создаваемых угловых ускорений, т.е. с моментом силы, деленным на соответствующий момент инерции самолета [1]. А задачи, объединенные термином балансировка, решаются путем прямого воздействия на самолет управляющим моментом, компен-

сирующим возникающие возмущающие моменты. Так, например, для СВВП с центральным расположением двигателей, а, следовательно, с малым моментом инерции относительно продольной оси расчет дает небольшие значения требуемых управляющих моментов по крену, что вызывало бы значительные затруднения при осуществлении балансировки (например, при сильном боковом ветре).

При оценке различных способов создания управляющих моментов важное значение имеет учет инерционности системы управления, которая проявляет себя в виде динамической ошибки в процессе отклонения органа управления и в зависимости от типа системы управления может иметь различную величину.

Исходя из этого, необходимо определять требуемую степень повышения управляющего ускорения для компенсации влияния инерционности. Для обеспечения заданных характеристик управляемости СВВП управляющее ускорение у систем управления с большой инерционностью должно быть значительно выше, а сама инерционность систем управления является очень важной характеристикой при оценке управления самолетом вертикального взлета и посадки, что предопределяет повышенные затраты мощности двигателей СВВП на управление и необходимость по возможности их уменьшить.

Актуальной проблемой, оказывающей влияние на величину управляющих моментов на режиме висения, наряду с инерционностью системы управления, является собственное демпфирование самолета. Оно существенно у СВВП с центрально расположенным несущим винтом (винтокрыл) или с реактивными двигателями, расположенными на крыле с эксцентриситетом относительно центра тяжести самолета и создающими сравнительно небольшую удельную тяговую нагрузку.

При выполнении, например, правого крена двухвинтовым СВВП (см. рис. 2) правый несущий винт по линии оси получает отрицательное приращение скорости набегающего потока  $\Delta \bar{V}_{\text{прав}} = -y_{\text{винта}} \dot{\varphi}$ , соответственно левый несущий винт – положительное приращение  $\Delta \bar{V}_{\text{лев}} = y_{\text{винта}} \dot{\varphi}$ , здесь  $\varphi$  – угол крена [1]. В рассмотренном случае правый несущий винт получает положительное приращение тяги  $\Delta F_{\text{прав}}$ , а левый винт – отрицательное приращение  $-\Delta F_{\text{лев}}$ . Таким образом, вращательному движению вокруг продольной оси противодействует момент сил вокруг этой же оси, пропорциональный угловой скорости вращения составит:

$$\Delta L = -y_{\text{винта}} (\Delta F_{\text{прав}} - \Delta F_{\text{лев}}),$$

где:  $y_{\text{винта}}$  – расстояние от продольной оси СВВП до оси винта.

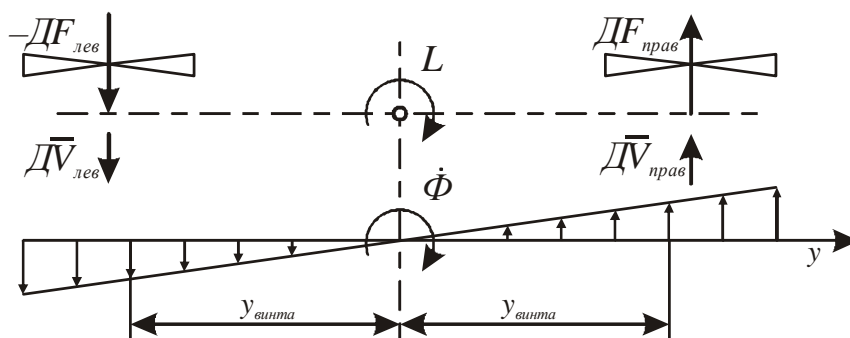


Рис. 2. Приращение скорости потока, набегающего на винты при вращении СВВП вокруг продольной оси

Возможности управления по крену зависят от демпфирования, которое сильнее сказывается для малонагруженных винтов. У самолетов с тяжелонагруженными винтами влиянием демпфирования можно пренебречь.

У винтовых СВВП, винты которых расположены на крыле вблизи друг от друга, управляющие моменты на режиме висения создаются путем дифференциального изменения шага лопастей винтов. Если воздушные винты механически связаны между собой системой валов (например, на СВВП типа четырехвинтовой гидроконвертоэкраноплан [3]), то при изменении шага винтов в противоположные стороны через трансмиссию передается и необходимая для каждого винта мощность. Тем самым потери мощности при создании управляющих моментов получаются очень малыми. Компоновка гидроконвертоэкраноплана с симметричным расположением четырех винтов в кольцевых каналах (см. рис. 3) позволяет осуществить управление указанным выше способом как по тангажу, так и по крену, но и по курсу.

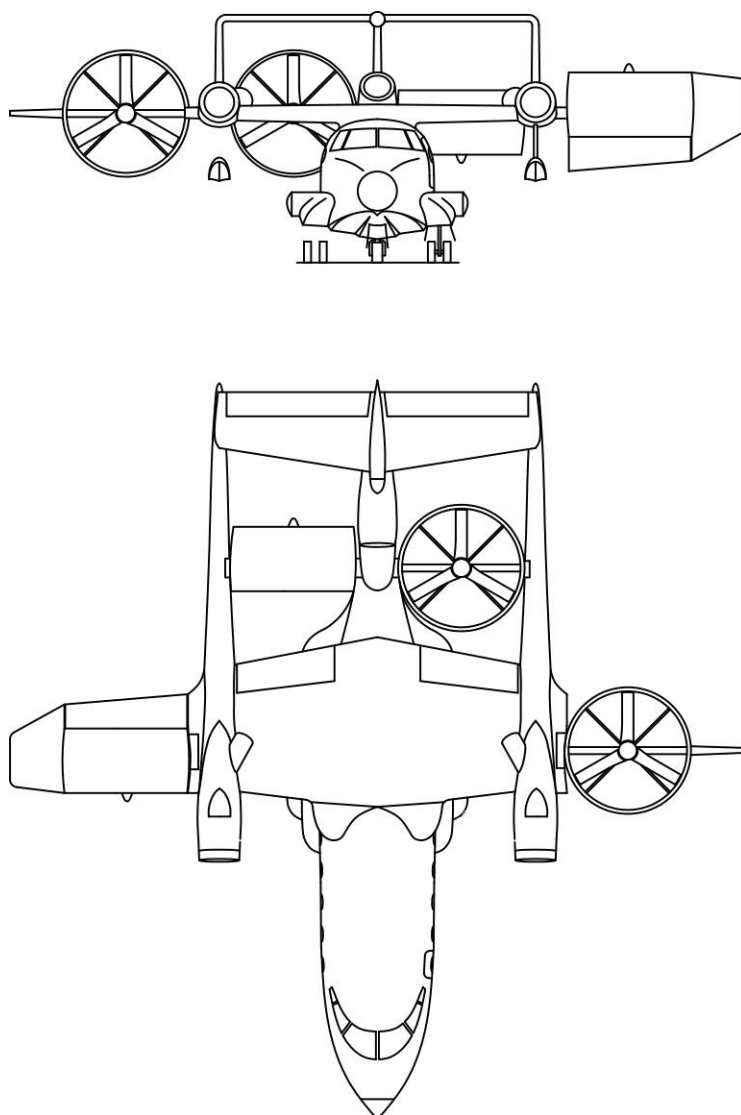


Рис. 3. Компоновка ГКЭП с трехдвигательной СУ [3]

Если воздушные винты вместе со своими двигателями размещены на основном несущем крыле как у СВВП модели ХС-142 (см. рис. 4), так и у аналогичного СВВП модели СЛ-84 [1, 2], то, можно осуществить только управление по крену, используя



при этом дифференциальное изменение общего шага винтов с одновременной передачей через валы трансмиссии необходимой мощности. Для управления по тангажу на самолетах такого типа должен применяться специальный хвостовой винт с вертикальной осью вращения, что предопределяет как усложнение конструкции трансмиссии, так и увеличение непроизводительных потерь мощности СУ на привод заднего рулевого винта [2].



Рис. 4. Транспортный СВВП мод. ХС-142А (иллюстрации фирмы «Хиллер») [2]

Управление вертикальным движением представляет особый интерес с двух точек зрения. Во-первых, на режиме висения пилот должен иметь возможность точно поддерживать высоту полета. Следовательно, управление вертикальным движением и связанные с ним характеристики самолета важны в отношении качества пилотирования. Во-вторых, управление вертикальным движением играет важную роль в определении величины суммарной требуемой тяги подъемных двигателей, которые должны создавать силу, направленную вертикально вверх (для уравнивания силы тяжести самолета на режиме установившегося висения), и дополнительные силы, необходимые для набора высоты. При этом в интересах обеспечения минимального уровня требуемой тяги двигателей нужно стремиться свести к минимуму величину дополнительной силы, необходимой для управления самолетом по высоте.

СВВП без систем автоматической стабилизации, за исключением некоторых конфигураций (с несущими или воздушными винтами), не обладают ни заметным демпфированием, ни способностью восстанавливать свое исходное положение по крену, тангажу или рысканию после действия возмущающих моментов вокруг соответствующих осей. Отсюда следует, что при управлении СВВП, не обладающим демпфирующими свойствами и способностью восстанавливать исходное угловое положение, летчик испытывает большое напряжение, при этом он должен путем непрерывной манипуляции органами управления сохранять желаемое балансирующее положение самолета.

На этапе переходного режима от висения к горизонтальному полету часть тяги должна затрачиваться на создание горизонтального ускорения самолета, а вертикальная тяга, действовавшая на режиме висения, с ростом скорости полета может постепенно уменьшаться. Этому переходу соответствует поворот вектора тяги, и его можно реализовать непосредственным поворотом всего двигателя или его сопла (одновекторная система). Если же заменить требуемый поворот вектора тяги соответствующим изменением соотношения тяг двух расположенных под прямым углом друг к другу двигателей или групп двигателей (двухвекторная система), то суммарная тяга этих двигателей будет всегда больше, чем результирующий вектор тяги, т. е. коэффициент использования тяги вдоль траектории будет хуже. При полете на переходном режиме двухвекторная система должна иметь суммарную тягу, которая в среднем на треть выше, чем в од-

новекторной системе. Смешанная система самолета в этом отношении значительно лучше: суммарная тяга в этой системе в среднем приблизительно на 5% выше, чем в одновекторной. Кроме того, следует учитывать, что с увеличением суммарной тяги возрастает вес силовой установки [1].

Важной проблемой, требующей пристального внимания, является также отказ двигателя на режиме висения СВВП, особенно с эксцентрично расположенными двигателями. Рассмотрение случая отказа одного из двигателей на режиме висения представляет большой интерес и прежде всего, возникает вопрос о том, достаточно ли будет запаса по тяге оставшихся двигателей для того, чтобы сохранить режим висения.

Полная мощность  $N$  силовой установки с  $n$  турбовинтовыми двигателями, мощностью  $N_0$  каждый равна:

$$N = n N_0.$$

Симметрия подъемных сил вследствие взаимосвязи воздушных винтов через систему валов может сохраняться также при отказе одного двигателя без необходимости отключать симметричный ему двигатель, как в случае СВВП с турбореактивными двигателями. Остаток мощности  $N_{ост}$ , поделенный на нормальную полную мощность  $N_{\Sigma}$ , при учете аварийного увеличения мощности, характеризуемого коэффициентом  $k$  в случае отказа одного двигателя, как известно, равен:

$$\frac{N_{ост}}{N_y} = \frac{n-1}{n} k.$$

В соответствии с теорией турбовинтовых двигателей при отказе одного двигателя величина тяги, создаваемой винтами, уменьшается в меньшей степени, чем остаток мощности оставшихся в работе двигателей, т.к. воздушный винт отказавшего двигателя благодаря трансмиссии, связывающей винты всех двигателей, вращается и создает тягу. С учетом известной формулы Н.Е. Жуковского для тяги несущего винта:

$$F = (33,25 \eta_0 D N)^{2/3},$$

где  $F$  – тяга воздушного винта;  
 $D$  – диаметр винта;  
 $N$  – мощность на валу двигателя;  
 $\eta_0$  – К.П.Д. воздушного винта.

Для аварийного остатка тяги, нормированного по величине полной тяги  $F_{\Sigma} = n F_0$  до момента отказа, с учетом постоянства  $\eta_0$ :

$$\frac{F_{ост}}{F_y} = \left( \frac{N_{ост}}{N_y} \right)^{2/3} = \left( \frac{n-1}{n} k \right)^{2/3}.$$

Тогда, для СВВП, типа многоцелевой криогенный конвертоплан (МККП) [4] рис. 5, ГКЭП и многоцелевой многовинтовой вертолет-самолет (ММВС) рис. 6 [4], с числом двигателей СУ соответственно 2, 3 и 4 можно определить перераспределение тяги и мощности двигателей СУ, при этом максимальный коэффициент форсирования каждого двигателя  $k$  принимается равным 1,1 с учетом возможности аварийного форсирования тяги на 10% (см. табл. 1).

Учитывая, что

$$F_{\Sigma} = \varepsilon \cdot m_A \cdot g,$$

где  $\varepsilon$  – тяговооруженность;

$m_A g$  – вес СВВП.

Аварийный остаток тяги составит:

$$F_{ост} = \left( \frac{n-1}{n} k \right)^{2/3} \varepsilon \cdot m_A \cdot g.$$

Потребный запас тяговооруженности двигателя, учитываемый при выборе двигателя ( $\varepsilon \rightarrow \varepsilon_{потр}$ ):

$$\varepsilon_{потр} = \left( \frac{n}{k(n-1)} \right)^{2/3} \varepsilon.$$

Таблица 1. Перераспределение тяги и мощности двигателей, согласно типу СВВП с синхронизированной системой привода винтов при отказе одного двигателя

Тип СВВП	МККП	МККП	ГКЭП	ГКЭП	ММВС	ММВС
Число двигателей, $n$	2		3		4	
Коэффициент аварийного форсирования двигателя, $k$	1,0	1,1	1,0	1,1	1,0	1,1
$N_{ост}/N_{\Sigma}$	0,50	0,55	0,67	0,73	0,75	0,83
$F_{ост}/F_{\Sigma}$	0,63	0,67	0,76	0,81	0,83	0,88
Тяговооруженность СВВП $\varepsilon$	1,12	1,23	1,15	1,27	1,24	1,36
Потребная тяговооруженность $\varepsilon_{потр}$	1,78	1,84	1,51	1,56	1,50	1,55

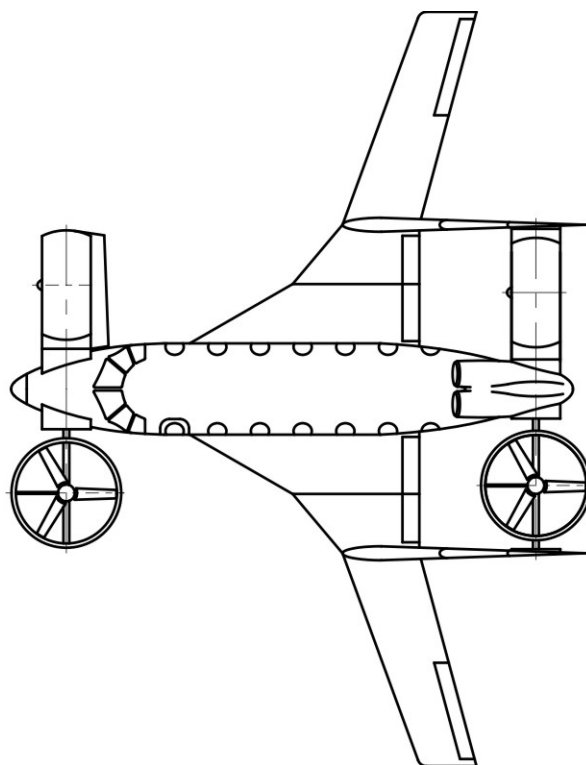


Рис. 5. компоновка МККП с двухдвигательной СУ (иллюстрация патента РФ [4])

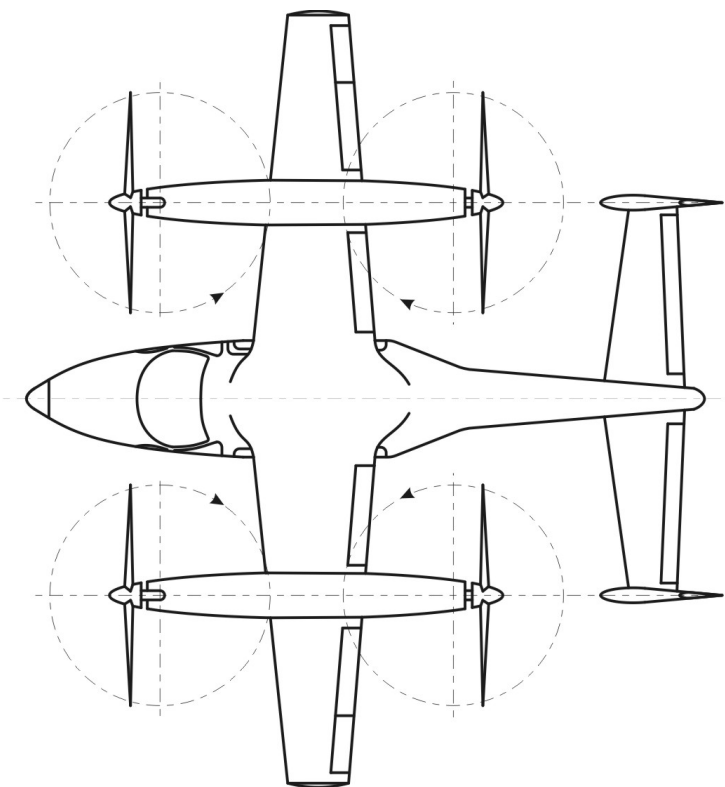


Рис. 6. компоновка ММВС с четырехдвигательной СУ (иллюстрация патента РФ [5])

В настоящее время широкое практическое применение СВВП для нужд гражданской авиации ограничивается противоречивыми требованиями к их СУ: тяга, создаваемая на режимах вертикального взлета, посадки или висения, должна быть больше его веса. Отсюда следует, что большая тяговооруженность от 1,12 до 1,36 в общем весе СВВП неизбежно увеличивает долю веса СУ. Что позволяет, однако, достичь приемлемой удельной нагрузки на мощность и обеспечить значительное повышение ресурса наработки. Поэтому для повышения экономичности крейсерского полета при дозвуковых скоростях следует увеличивать относительную тягу, позволяющей совершать крейсерский полет при более полном использовании тяги СУ и, следовательно, при меньшем удельном расходе топлива.

**Список литературы:** 1. Хафер К., Закс Г. Техника вертикального взлета и посадки: Пер. с нем. – М.: Мир, 1985. – 376 с. 2. Ружицкий Е.И. Американские самолеты вертикального взлета. М.: Астраль АСТ. 2000. – 192 с. 3. Пат. RU 2264951 С1 Российская Федерация, МПК В 64 С 35/00, 29/00, 37/00, В 60 V 1/08. Гидроконвертоэкраноплан / Дуров Д.С. (Россия), заявл. 24.02.2004; опубл. 27.11.2005, Бюл. № 33. – 15 С. 4. Пат. RU 2394723 С1 Российская Федерация, МПК В 64 С 35/00, 29/00, 37/00, В 60 V 1/08. Многоцелевой криогенный конвертоплан / Дуров Д.С. (Россия), заявл. 13.04.2009; опубл. 20.07.2010, Бюл. № 20. – 15 С. 5. Пат. RU 2448869 С1 Российская Федерация, МПК В64С29/00. Многоцелевой многовинтовой вертолет-самолет / Дуров Д.С. (Россия), заявл. 03.12.2010; опубл. 27.04.12, Бюл. № 12. – 14 С.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗУЕМЫХ ВИНТОКРЫЛЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ФУНКЦИИ РАСШИРЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТРАНСПОРНОЙ АВИАЦИИ

Дуров Д.С.

ЮФУ, г. Таганрог, Россия

Тел. +7(8634)371622; E-mail: [mkk@egf.tsure.ru](mailto:mkk@egf.tsure.ru)

**Abstract:** *The article describes the main types of vertical takeoff aircraft with helicopter scheme, equipped with propellers and is proposed the aerodynamic design of the convertible compound helicopter for solving the transport aviation tasks.*

**Key words:** *transport aircraft, VTOL, powered lift aircraft, propeller in the ring channel*

В настоящее время нет никаких сомнений в том, что на пути развития и широкого внедрения преобразуемых винтокрылых летательных аппаратов (ПВЛА) нового поколения предстоит преодолеть еще немало трудностей и проблем. Причем, по прогнозам специалистов [1-3], наибольшее значение в преобразуемой винтокрылой авиации, по-прежнему, будут иметь не только скоростные и комбинированные вертолеты, но и ПВЛА нового поколения – самолетоподобные конвертовинтокрылы и конвертопланы. За последние несколько десятков лет было предложено большое количество различных типов скоростных ПВЛА. Надо отметить, что попытки создания скоростных винтокрылов также предпринимались и ранее, однако прирост летных характеристик при этом сводился на нет усложнением и утяжелением конструкции.

Действительно, при всех своих колоссальных достоинствах современные вертолеты значительно уступают по скорости полета самолетам и винтокрылам сравнимой мощности, размеров и грузоподъемности. Технический предел скорости вертолетов, особенно, одновинтовой схемы вызван целым рядом факторов. Большой комплекс проблем связан с тем, что на лопасть несущего винта, в отличие от крыла, воздушный поток набегает не только за счет поступательного движения вертолета, но и от собственного вращения. Поэтому для вертолета классической конструкции, подъемная сила которого ограничена возможностями отступающих лопастей, наступает технологический предел скорости, приблизительно равный 400 км/ч [3].

Необходимость создавать горизонтальную тягу с помощью несущих винтов по-прежнему заставляет идти на энергетический компромисс. Эту проблему пытались решить, разгрузив винт с помощью небольшого крыла (например, в вертолетах одновинтовой несущей схемы «Ми-6» и «Ми-24»), которое на больших скоростях обеспечивало бы заметную часть подъемной силы, но при этом затеняло несущий винт. Известны компоновочные решения, в которых на режиме висения, когда крыло по сути не создает подъемной силы, и тем, более с целью уменьшения затенения им несущих винтов в вертолете BV-347 [1] компаний «Boeing/Vertol» (США) и в вертолете-самолете [4] было выполнено цельноповоротным, но дальнейшего развития эти решения не получили.

Другое направление в создании тяжелых вертолетов представляют собой винтокрылы – ПВЛА, в которых поступательное движение обеспечивается не только несущим винтом, но и двигателями горизонтальной тяги, а заметную часть подъемной силы создает крыло (винтокрыл поперечной схемы модели «Ка-22») [3].

Винтокрыл «Tilt Duct СН-47», выполненный на базе вертолета СН-47F «Chinook», (см. рис. 1) оснащен турбовальными двигателями (ТВад), установленными с каждой стороны задней части фюзеляжа на пилонах и передающими мощность на передний и задний несущие винты и плюс на толкающие винты в кольцевых каналах.

Приведенные выше винтокрылы имели те или иные недостатки: «Ка-22» – сложную конструкцию крыла и трансмиссию, «Tilt Duct CH-47» – повышенный расход топлива. Кроме того, заднее крыло с винтами в кольцевых каналах «Tilt Duct CH-47» не имеют механизации и поверхностей управления, что предопределяет для управления по крену и тангажу необходимость от привода постоянного вращения несущих винтов с автоматом перекося и использования их для продольно-поперечного управления. Поэтому режим полета при авторотации несущих винтов винтокрыла «Tilt Duct CH-47» в полетной его конфигурации крылатого автожира не возможен, что ограничивает повышение скорости полета и дальности действия [5].



Рис. 1. Тяжелый винтокрыл проекта «Tilt Duct CH-47» (иллюстрация компаний "Boeing/Piasecki") [6]

Следует признать, что если вертолетостроение находится в области нескольких значительных ограничений, это не значит, что идея увеличения скорости полета, грузоподъемности, области применения ПВЛА, может остаться нереализованной. Тем более, что в вертолетостроение освоено ряд прорывных моделей тяжелых вертолетов как одновинтовой несущей схемы типа «Ми-26Т», так и двухвинтовой продольной схемы типа CH-47 «Chinook» – это большой и качественный скачок [3]. Сказанное позволяет предположить о реальности освоения в скором будущем и тяжелых конвертовинтокрылов (ТКВК) нового поколения.

Такие самолетоподобные ТКВК зачастую могут основываться на использовании технологии многорежимной аэродинамической системы управления (МАСУ) балансировкой по тангажу и курсу с компенсацией реактивного крутящего момента и концепции продольно-поперечного расположения винтов (ППРВ) по схеме 2+2. Выбор такой аэродинамической схемы ТКВК исполнения ППРВ-Х2+2 обусловлен простотой и возможностью преобразования его полетной конфигурации с вертолета четырехвинтовой несущей схемы с разновеликими несущими винтами в полетную конфигурацию как винтокрыла, так и крылатого автожира, но и обратно [5].

Тяжелый конвертируемый винтокрыл, представленный на рис. 2, содержит фюзеляж 1 с бортовыми отсеками 2. Высокорасположенное трапециевидное крыло 3 оптимального удлинения, обеспечивающее необходимый и достаточный прирост подъемной силы только на переходных и крейсерских режимах полета. В передней части фюзеляжа 1 размещается кабина экипажа, дверьми с обеих сторон, остеклением и обтекателем. В кормовой части фюзеляжа 1 расположена задняя дверь 10. На консолях 6 и 7 имеются по всему размаху крыла 3 предкрылки 8 и закрылки 9 и флапперы 21, смонтированные за консольными винтами 11 и 12 на выходе каждого поворотного кольцевого канала 4. Последние на консолях 6 и 7 крыла 3 снабжены узлами поворота, горизонтальная ось поворота которых размещена в плоскости крыла 3 и перпендикулярно продольной

оси фюзеляжа 1.

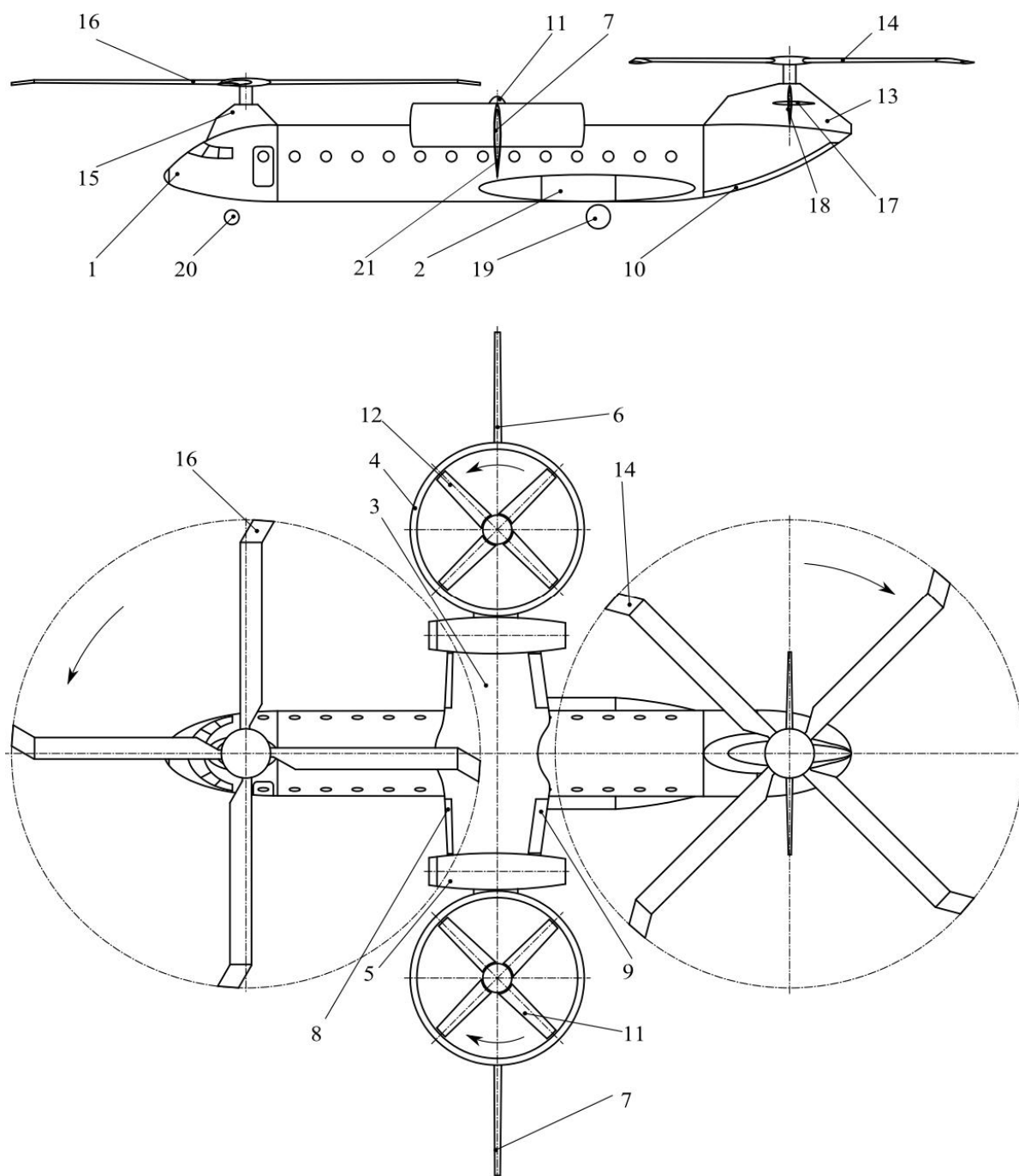


Рис. 2. Высокоскоростной ТКВК исполнения ППРВ-Х2+2 в полетной конфигурации вертолета (иллюстрация патента РФ [5])

Для удобства размещения на палубе (в ангаре) и возможности эксплуатации на кораблях консольные винты 11 и 11 в поворотных кольцевых каналах 4, смонтированные на консолях 6 и 7 крыла 3 при их вертикальном положении могут автоматически отклоняться назад, устанавливаясь параллельно фюзеляжу 1. Поворот кольцевых каналов 4 с консольными винтами 11 и 12 осуществляется с помощью гидромеханических приводов в узлах поворота. На конце кормовой части фюзеляжа 1 размещена хвостовая балка 17. К боковым сторонам последней смонтированы переустанавливаемые консоли



цельноповоротного стабилизатора (ЦПС) 18. Трехопорное убирающееся колесное шасси с носовой опорой. Задние главные боковые опоры с колесами 19 и передняя опора с колесами 20 убираются в соответствующие ниши бортов отсеков 2 и фюзеляжа 1.

При вертикальном взлёте, посадке (ВВП) и висении продольное управление ТКВК осуществляется путём изменения шага несущих винтов переднего 16 и заднего 14 или синфазным отклонением консолей ЦПС 18 при вертикальном его положении, обеспечивающим в МАСУ продольную управляемость, но и при горизонтальном полёте при соответствующем горизонтальном размещении консолей ЦПС и синфазном их отклонении. Поперечное управление при висении обеспечивается изменением шага левого 11 и правого 12 консольных винтов. Путевое управление ТКВК может обеспечиваться изменением крутящих моментов каждой группы винтов, имеющих одинаковое направление вращения переднего несущего винта 16 с правым консольным винтом 12 и заднего несущего винта 14 с левым консольным винтом 11 соответственно или дифференциальным отклонением флапперонов 21, находящихся в потоке винтов 11 и 12 и на выходе поворотных кольцевых каналов 4. Эта активная МАСУ балансировкой не только повышает летно-технические характеристики, но и существенно улучшает условия работы высоконагруженной конструкции планера ТКВК, а также обеспечивает и упрощает управляемость при вертикальном взлёте и посадке, но и режиме висения, как у обычного вертолета. При висении направление полёта самолетоподобного ТКВК может осуществляться как вперед, так и назад, а также как влево, так и вправо, но в любой комбинации.

Полет ТКВК при его максимальном взлетном весе может осуществляться с коротким взлетом и посадкой (КВП), как винтокрыла. В этом случае от горизонтального положения отклоняются приводами консоли 6 и 7 с винтами 11 и 12 в кольцевых каналах 4 вверх на угол  $30^\circ$  и наравне с вертикальной тягой несущих винтов 16 и 14 создают маршевую тягу и подъемную силу. После набора высоты, убираются шасси 19 и 20, горизонтальный полет при его максимальной полезной нагрузке может осуществляться как у винтокрыла, так и как у крылатого автожира. В последнем случае устанавливаются горизонтально консоли 6 и 7 крыла 3 с кольцевыми каналами 4. И консольные винты 11 и 12 в последних создают горизонтальную маршевую тягу, а несущие винты 16 и 14 отключаются от привода двигателей 5, начиная авторотировать, они создают только подъемную силу наравне с подъемной силой крыла 3. При горизонтальном полёте путевое управление обеспечивается дифференциальным изменением тяги левого 11 и правого 12 консольных винтов. Продольное и поперечное управление может осуществляться отклонением соответственно рулевых поверхностей ЦПС 18 и флапперонов 21.

Поэтому все это предопределяет и создает предпосылки в освоении ряда моделей самолетоподобных ТКВК. Наиболее актуальным в современных условиях может являться первоочередное освоение ТКВК-80 (тип 1.1) с двигателями Д-12В ( $N = 5500 \times 2$ ) и консольными винтами в поворотных кольцевых каналах (см. табл.1).

Широкое использование самолетоподобных ТКВК, созданных по технологии МАСУ путевого и продольного управления, позволит в полной мере осуществить создание специальной транспортной системы для воздушных грузопассажирских перевозок и возможность обеспечения транспортной связью регионов Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера. Ближайшее развитие таких ТКВК, освоенных, особенно, на базе турбовинтовых самолетов типа «Ан-12» для транспортной и региональной авиации, позволит и, именно, для труднодоступной местности решать транспортные задачи на расстояния до 2200...2560 км лучше, чем это может быть сделано при помощи современных тяжелых и даже скоростных вертолетов.

Таблица 1. Предварительные тактико-технические характеристики (ТТХ) к многовинтовым ТКВК

№ п/п	Параметры	Величины		
		Тип 1.1	Тип 1.2	Тип 1.3
1.	Размеры от типа исполнения:	ТКВК-80	ТКВК-120	ТКВК-165
1.1	длина с несущими винтами/фюзеляжа, м	36,56/22,3	44,86/27,4	52,0/32,86
1.2	высота общая на шасси при ВВП, м	6,5	7,5	8,1
1.3	размах крыла с кольцевыми каналами, м	18,0	22,0	23,67
1.4	площадь крыла с кольцевыми каналами, м <sup>2</sup>	54,0	80,66	93,34
1.5	размах крыла сложенного, м	9,8	11,8	12,7
1.6	min взлетная площадка при ВВП, м <sup>2</sup>	658	986	1230
1.7	стояночная площадка, м <sup>2</sup>	218	323	417
1.8	удельная взлетная возможность – отношение п. 3.3/п. 1.5 при ВВП, кг/м <sup>2</sup>	12,16	12,19	13,41
2.	Силовая установка с двумя ТВаД ОАО «Мотор-СИЧ», модель	Д-12В	Д-136	Д-27
2.1	суммарная мощность, л.с.	7500×2	11400×2	14000×2
2.2	тяговооруженность по п. 3.1, кгс/кг	1,44	1,44	1,44
3.	Массы и нагрузки (мощность на НВ):	(11250)	(18240)	(21000)
3.1	нормальная при вертикальном взлете, кг	33000	50160	61600
3.2	при взлете с коротким разбегом, кг	38700	59760	72800
3.3	нормальная полезная нагрузка при взлете по п. 3.1/п. 3.2, чел. (т)	3+80(8,0) /3+96(12)	3+120(12) /3+130(19)	3+162(16,5) /3+162(25)
3.5	пустого, кг	19500	29960	36800
3.6	запас топлива по п. 3.1/п. 3.2, т	5,2/6,9	7,9/10,5	8,0/10,7
4.	Диаметр винтов:			
4.1	диаметр больших несущих винтов ( <i>D</i> ), м	17,2×2	21,21×2	23,52×2
4.2	диаметр меньших винтов ( <i>d</i> ) в поворотных кольцевых каналах, м	4,5×2	5,5×2	6,1×2
4.3	Ометаемая площадь винтами, м <sup>2</sup>	496,25	753,77	926,92
4.4	Скорость вращения меньших винтов: при вертикальном взлете, мин <sup>-1</sup> при крейсерском полете, мин <sup>-1</sup>	1225 980	1000 800	900 720
5.0	Критерий п. 3.3×п. 9.3 при ВВП, т·км	13500	21600	29700
6.	Удельная нагрузка на ометаемую площадь винтами по п. 3.1, кг/м <sup>2</sup>	66,5	66,5	66,46
7.	Удельная нагрузка на мощность, кг/л.с.	2,2	2,2	2,2
8.	Удельная нагрузка на крыло при взлетной массе по п. 3.2, кг/м <sup>2</sup>	716,7	740,9	780,0
9.	Летно-технические характеристики:			
9.1	крейсерская скорость при 25-ти % располагаемой мощности СУ, км/ч	620	580	550
9.2	максимальная скорость, км/ч	650	610	580
9.3	время крейсерского полета по п. 3.1/п. 3.2, ч	4,0/6,0	4,0/6,0	4,0/6,0
9.4	протяженность полета по п. 3.1/п. 3.2, км	2560/3720	2320/3480	2200/3300
9.5	практический потолок, м	8300	7900	7600
9.6	продолжительность висения, ч	0,6	0,6	0,6
9.7	взлетная дистанция при посадке с пробегом/при взлете с коротким разбегом, м	135/90	150/100	165/110

Поскольку несущие большие винты, например, ТКВК-80 в его полетной конфигурации вертолета и винтокрыла предназначены для создания подъемной силы, то поступательное движение в горизонтальном полете в большей степени обеспечивается консольными винтами, особенно, в поворотных кольцевых каналах. На вертолетных режимах полета такая четырехвинтовая несущая схема с МАСУ и консольными несущими винтами, обеспечивающими дополнительную подъемную силу, позволяют при выполнении ВВП, уменьшая диаметры несущих винтов в 1,24 раза, увеличить почти на 6% взлетный вес и полезную нагрузку (ПН) на 9%, а также увеличить критерий  $\text{ПН} \times \text{дальность полета при ВВП}$  в 1,83 раза в сравнении с сопоставимым вертолетом типа «Chinook» мод. BV-347. Кроме того, это также позволит уменьшить на 6-7% длину фюзеляжа с несущими винтами и, как следствие, габаритные размеры при выполнении ВВП, что позволит сэкономить место для взлетной площадки (ВП). Поэтому такие ТКВК исполнения ППРВ-Х2+2 с большими несущими винтами и консольными винтами в поворотных кольцевых каналах, расположенных на консолях крыла, имеют также при выполнении ВВП минимальную ВП и максимальное отношение ПН/ВП. Например, для самолетоподобного ТКВК-80 критерий  $\text{ПН/ВП} = 12,16 \text{ кг/м}^2$ , который в 1,33 раза эффективнее, чем у аналогичного вертолета модели BV-347 компаний «Boeing/Vertol» (США).

В конечном итоге, широкие эксплуатационные требования к ПВЛА нового поколения, несомненно, приведут к созданию и ТКВК, способных как конкурировать, именно, со скоростными вертолетами, так и обеспечить три специфичных режима полета: вертолетный, винтокрылый и автожирный. Последние два дают возможность получить крейсерские скорости на этих безопасных режимах полета 550 и 620 км/ч соответственно. Поэтому использование ТКВК в крейсерском полете только в качестве крылатого автожира позволит достичь их реальной рентабельности.

Очевидно, освоение ТКВК с улучшенными ТТХ для авиатранспорта в современных условиях – задача многоплановая и не являющаяся технически неразрешимой. Поэтому в процессе дальнейшего развития винтокрылой авиации, широко использующей сейчас вертолеты одновинтовой схемы с рулевым винтом, самой жизнью будет продиктована задача освоения и ТКВК, которая достаточно просто и технически реализуема при модернизации существующих конструкций как самолетов, так и вертолетов двухвинтовой продольной несущей схемы, особенно, с крылом.

**Список литературы:** 1. Михеев В.Р. Развитие схем винтокрылых аппаратов. М.: Машин. 1993 г. – 240 с. 2. Ружицкий Е.И. Американские самолеты вертикального взлета. М.: Астраль АСТ. 2000. – 192 с. 3. Егер С.М. Основы авиационной техники. М., Машиностроение. 2003. – 720 с. 4. Пат. RU 2310583 С2 Российская Федерация, МПК В64С37/00, В64С35/00. Вертолет-самолет-амфибия / Дуров Д.С. (Россия), заявл. 20.05.2007; опубл. 20.11.2007, Бюл. № 32. – 12 с. 5. Пат. RU 2351506 С2 Российская Федерация, МПК В64С 37/00, В64С 35/00, В64С 29/00. Многоцелевой гидроконвертовинтоплан / Дуров Д.С. (Россия), заявл. 27.10.2008; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 10. – 14 с. 6. Адрес в сети Интернет: <http://www.aviationweek.com/Blogs.aspx?plckBlogId=Blog%3a27ec4a53-dcc8-42d0-bd3a-01329aef79a7&plckPostId=Blog%3a27ec4a53-dcc8-42d0-bd3a-01329aef79a7Post%3a75e2b273-ba06-4608-902b-9bd73993a5a1> / Graham Warwick. Ideas on Show at Helo Forum in Montreal, 02.05.2008.

## ВЫБОР МАТЕРИАЛА И ТЕРМООБРАБОТКИ ДЛЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПО ОСНОВНЫМ КРИТЕРИЯМ

Захарченко А.Д.

ЮФУ, г. Таганрог, Россия

Тел./факс: +7 (8634) 371622; E-mail: mkk@egf.tsure.ru

**Abstract:** In job the results of comparative researches are given at a choice of a material and heat treatment for gear wheels and combination of a material for gear pairs with the purpose of maintenance of serviceability by the basic criteria of transfers - contact durability of working surfaces of teeth and durability of teeth on a bend. It is marked, that the weights - dimensional parameters of transfers basically are determined by criterion of contact durability.

**Key words:** criterion of serviceability, gear transfers, contact durability, weariness of a material, ability to loading, superficial hardness of teeth, thermal processing.

Многочисленными теоретическими и экспериментальными исследованиями нагрузочной способности зубчатых передач установлено, что основными критериями их работоспособности являются контактная прочность рабочих поверхностей зубьев и усталостная прочность зубьев.

В меньшей степени имеют место абразивный износ как открытых, так и закрытых передач и заедание, заключающееся в местном молекулярном сцеплении контактирующих поверхностей в условиях разрушения смазочной пленки. Обычно заедания происходят при сочетании высоких давлений в контакте зубьев и больших окружных скоростей колес.

Поломки зубьев, являющиеся наиболее опасным видом разрушения, вызываются большими перегрузками ударного или статического действия, а также многократно повторяющимися нагрузками, вызывающими контактную или изгибную усталость материала.

Учитывая все эти неблагоприятные факторы при выборе материалов для зубчатых колес, необходимо в первую очередь обеспечить прочность зубьев на изгиб, стойкость поверхностных слоев зубьев и сопротивление заеданиям.

Основными материалами при изготовлении зубчатых колес силовых передач являются термически обрабатываемые стали.

Допускаемые контактные напряжения в зубьях пропорциональны твердости материалов, а несущая способность передач по контактной прочности пропорциональна квадрату твердости. Это указывает на целесообразность широкого применения для зубчатых колес сталей, закаливаемых до значительной твердости.

Для сравнительной оценки нагрузочной способности зубчатой пары обычно используются допускаемое значение коэффициента контактных напряжений [1]

$$[C_H] = \left( \frac{\sigma_H}{Z_M} \right)^2 = 1,36 \cdot 10^{-5} [\sigma_H]^2,$$

где для стальных колес коэффициент материала  $Z_M = 271 \text{ Н}^{1/2} \text{ мм}$ ,

и комплексный коэффициент контактных напряжений  $[K_0]$ , который содержит полную информацию о несущей способности

$$[K_0] = \frac{[C_H]}{K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{Hv} \cdot Z_H^2 \cdot Z_\epsilon^2}.$$

В приближенных расчетах принимают:  $K_{H\beta} = 1,15$ ; при  $\beta = 0$   $K_{H\alpha} = 1$ ,  $K_{Hv} = 1$ ,  $Z_H^2 \cdot Z_\epsilon^2 = 2,5$ .

Тогда

$$[K_0] = 0,31 [C_H].$$

Коэффициенты  $[C_H]$  и  $[K_0]$  связаны с массой зубчатой пары зависимостью близкой к обратно пропорциональной, что позволяет сравнение несущей способности при различных параметрах и благоприятных массогабаритных показателях. В таблице приведены значения  $[\sigma_H]$ ,  $[C_H]$  и  $[K_0]$  для сравниваемых ниже вариантов материала колес и вида термической и химико-термической обработки [4].

Таблица 1.

Вариант материала	Значения параметров при $V = 8\text{м/с}$					
	$[\sigma_H]$ , МПа		$[C_H]$ МПа		$[K_0]$ , МПа	
	$\delta = 0,10$	$\delta = 0,20$	$\delta = 0,10$	$\delta = 0,20$	$\delta = 0,10$	$\delta = 0,20$
1	304	318	1,254	1,378	0,389	0,427
2	339	355	1,560	1,710	0,484	0,530
3	880	922	10,53	11,56	3,264	3,584
4	925	969	11,64	12,77	3,608	3,959
5	1195	1253	19,46	21,35	5,826	6,619
6	917	961	11,44	12,56	3,546	3,894

Здесь  $\delta$  – показатель степени при коэффициенте контактных напряжений, учитывающий толщину масляной пленки в зоне контакта.

Для изготовления зубчатых колес высоконагруженных и высокоскоростных передач используются стали: 40, 45, 40X, 45X, 40XH, 20XH2M, 35XГМ и др.

Для изготовления авиационных зубчатых колес используют хромоникелевые стали марок 12X2H4A, 14ГСН2МА, 18X2H4ВА и др. Для изготовления передач авиационных трансмиссий применяют легированные конструкционные стали 20X, 20XФ, 12XH3A, 16X16H3МА и др.

В зависимости от твердости, стальные колеса делятся на две группы:

1. с твердостью  $<350\text{НВ}$ , достигаемой нормализацией и улучшением и позволяющей выполнять чистовое нарезание зубьев без применения дорогостоящих операций обработки поверхностей. Такие колеса хорошо прирабатываются и не подвергаются хрупкому разрушению при динамических нагрузках; применяются в индивидуальном и мелкосерийном производстве. Для лучшей приработки рекомендуют твердость шестерни принимать на 10...15 единиц выше, чем твердость колеса ;

2. с твердостью  $>350\text{НВ}$ , достигаемой объемной закалкой, закалкой ТВЧ, цементацией, азотированием и т.п. При этом повышается нагрузочная способность, износоустойчивость, устойчивость к заеданиям. Однако, это нуждается в повышенной точности изготовления, жесткости опор и валов, а также применении дополнительных операций по обработке поверхностей.

Для изготовления зубчатых пар передачи, обеспечивающих оптимальное сочетание прочностных свойств, рекомендуются следующие сочетания марок сталей и их термическая и химико-термическая обработка (см. табл.2)

В массовом и крупносерийном производстве применяют исключительно зубчатые колеса высокой твердости, которые подвергают отделочным операциям после термической обработки.

Основным видом термической обработки ранее являлась объемная закалка. Однако объемная закалка не сохраняет вязкую сердцевину при высокой твердости поверхности. Поэтому в настоящее время объемная закалка уступает место поверхностным термическим и химико-термическим методам упрочнения [2]. Такой обработкой можно достигнуть высокой твердости поверхностных слоев материала и создать в них напряжения обратного знака при сохранении вязкой сердцевины.

Поверхностную закалку в основном применяют с нагревом ТВЧ. В связи с тем, что нагреваются поверхностные слои, деформации при закалке невелики и можно обойтись без последующего шлифования зубьев (однако это понижает точность на одну-две степени). Оптимальной последовательной закалкой под водой прочность

можно повысить в 2 раза. Закалкой в обычном кольцевом индукторе с оптимальной глубиной закалки впадин 0,5...1 мм можно повысить прочность в 1,5 раза.

Таблица 2.

№	Материал шестерни/колеса	HВср, МПа	$[\sigma_{H \text{ lim}}]$ , МПа	Функция $f_1$ , МПа при $[S_H]$		
				1,1	1,2	1,3
1	40ХН, улучшение, HВ 269-302; (ш)	285,5	2HВср+70 355,5	323,2	296,3	273,5
	40ХН, улучшение, HВ 235-262 (к)	248,5	318,5	289,5	265,4	245
2	35ХМ, закалка ТВЧ, 48- 53HRC; (ш)	491	17HRC+200 1058,5	962,3	882,1	814,2
	35ХМ, улучшение, HВ 269-302 (к)	285,5	2HВср+70 355,5	323,2	296,3	273,5
3	35ХМ, закалка ТВЧ 48-53 HRC; (ш)	491	17HRC+200 1058,5	962,3	882,1	814,2
	35ХМ, закалка ТВЧ 45-50 HRC (к)	452	1007,5	916	839,6	775
4	20ХН2М, закалка 56-63 HRC; (ш)	591	17HRC+200 1368,5	1244	1140,4	1052,7
	20ХН2М, цементация 48-53 HRC (к)	491	23HRC 1058,5	962,3	882,1	814,2
5	35ХГМ, цементация и закалка	591	23HRC 1368,5	1244	1140,4	1052,7
	56-63 HRC (ш) и (к)	591	1368,5	1244	1140,4	1052,7
6	30ХГТ, азотирование 58-67 HRC (ш) и (к)	638	1050	954,5	875	807,5

Цементация (поверхностное насыщение углеродом) с последующей закалкой обеспечивает большую твердость и несущую способность поверхностных слоев зубьев и весьма высокую прочность зубьев на изгиб.

Рекомендуется применять газовую цементацию, которая осуществляется подачей в зону цементации жидкого карбюризатора и заранее приготовленной газовой среды. Цементация и закалка зубьев после шевингования повышают прочность зубьев на изгиб до 3 раз.

Азотирование (насыщение азотом) обеспечивает особо высокую твердость и износостойкость поверхностных слоев. Для азотируемых колес применяют молибденовую сталь 38Х2МЮА, расширяется применение азотирования безалюминиевых сталей типа 40ХФА, 40ХНА, 40Х до меньшей твердости, но большей вязкости.

Нитроцементация – насыщение поверхностных слоев углеродом и азотом в газовой среде с последующей закалкой – обеспечивает им высокую прочность, износостойкость и сопротивляемость заеданиям. Содержание азота в поверхностном слое позволяет применение менее легированных сталей, чем при цементации, а именно 18ХГТ, 25ХГТ, 40Х и др.

**Список литературы.** 1. Курсовое проектирование деталей машин/ В.Н.Кудрявцев, Ю.А.Державец, И.И.Арефьев и др.; Под общ. ред. В.Н. Кудрявцева. – Л.: Машиностроение, 1984. – 400 с. 2. Кудрявцев В.Н. Детали машин. – Л.: Машиностроение, 1980. – 464 с. 3. Решетов Д.Н. Детали машин. – М.: Машиностроение, 1989. – 496с. 4. Захарченко А.Д. Оценка нагрузочной способности зубчатых передач по контактной прочности активных поверхностей зубьев. Материалы 11-го международного научно-практического семинара Донецк-Таганрог. 2010. т.3. с.153 – 157.

# К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО КОНИЧЕСКО-ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА ТИПА КЦ

Захарченко А.Д.

ЮФУ, г. Таганрог, Россия

Тел./факс: +7 (8634) 371622; E-mail: mkk@egf.tsure.ru

**Abstract:** In job the survey material on research of a two-step conical-cylindrical reducer is submitted with the purpose of optimization of geometrical parameters both transfer number of steps and increase of a technological level of a reducer. In a basis of the decision the optimization of breakdown of the transfer relation on steps of a reducer is fixed.

**Key words:** quality of production, reducer, transfer number, criterion of an optimality

Термин «конкурентоспособность товара» используется редко, чаще применяется понятие «качество продукции» – совокупность характеристик изделия, отвечающих требованиям потребителя [1].

При проектировании редуктора рекомендуется выбрать требуемый технический уровень, в качестве показателя которого принимается показатель  $\gamma$ , равный отношению массы редуктора  $m_{ред}$  к крутящему моменту  $T_2$  на его ведомом валу:

$$\gamma = m_{ред} / T_2.$$

Этот показатель выбирается в зависимости от типа планируемого производства проектируемого редуктора.

Высшему техническому уровню соответствует  $\gamma \leq 0,06$ , такой редуктор конкурентоспособен на рынке и может быть принят к крупносерийному или массовому производству.

Выбрав технический уровень проектируемого редуктора можно оценить его массогабаритные параметры:

$$m_{ред} = \gamma T_2.$$

Массу редуктора можно связать с его размерами

$$m_{ред} = V \cdot \rho \cdot \phi 10^{-9} \text{ кг} = L \cdot B \cdot H \cdot \rho \cdot \phi 10^{-9} \text{ кг},$$

где  $V = L \cdot B \cdot H$  – объем редуктора, выраженный через его длину, ширину и высоту;  $\rho = 7300 \text{ кг/м}^3$  – средняя плотность материала редуктора;

$\phi = 0,47 \quad 0,36$  – коэффициент, учитывающий степень заполнения корпуса редуктора деталями.

Двухступенчатые коническо-цилиндрические редукторы типа КЦ 1 с горизонтальным расположением оси быстроходного вала нашли широкое применение в промышленности в качестве привода для многих подъемно-транспортных машин, скребковых и ленточных конвейеров. В таблице 1 приведена характеристика ряда отечественных редукторов, обеспечивающих передаточные отношения 6,3; 10; 14; 20; 28.

Таблица 1.

Тип редуктора	Крутящий момент, Нм	Масса редуктора, кг	Показатель $\gamma$	$A_w$ , мм
КЦ1-200	700	186	0,27	200
КЦ1-250	1400	391	0,28	250
КЦ1-300	2400	474	0,20	300
КЦ1-400	5300	980	0,18	400
КЦ1-500	9000	1740	0,19	500

Как видно из таблицы, технический уровень этих редукторов далек от лучших показателей  $\gamma$ .

Многочисленными исследованиями многоступенчатых редукторов сформирова-



лось несколько направлений по которым можно решать задачу по снижению массогабаритных параметров:

- обеспечение нормальной смазки с наименьшими потерями на разбрызгивание;
- равнопрочность зубчатых колес ступеней редуктора;
- оптимальное распределение общего передаточного отношения редуктора между ступенями;
- ограничение максимального передаточного отношения быстроходной ступени из условия изгибной прочности;
- удовлетворения конструктивных ограничений и др.

Одним из вариантов снижения массы и, тем самым, снижения коэффициента  $\gamma$ , является правильное распределение общего передаточного числа редуктора по ступеням. Общее передаточное отношение редуктора разбивают между ступенями в соответствии с заданными условиями оптимизации. Основным условием при оптимизации для редукторов общего назначения является минимум массы и соответственно минимум объема, масса зубчатых колес, длина редуктора и площадь его основания.

Исследования [2] показывают, что эти параметры редуктора, принятые в качестве критериев оптимальности, можно минимизировать определенным распределением передаточных чисел между ступенями редуктора (рис.1).

Для редукторов данного типа выгодно обеспечивать равенство диаметров колес быстроходной и тихоходной ступени. От этого зависит объем редуктора и необходимая высота погружения зубчатых колес в масляную ванну [3].

В работе кафедры теоретической и прикладной механики Башкирского государственного аграрного университета предлагается такая методика по распределению передаточного числа.

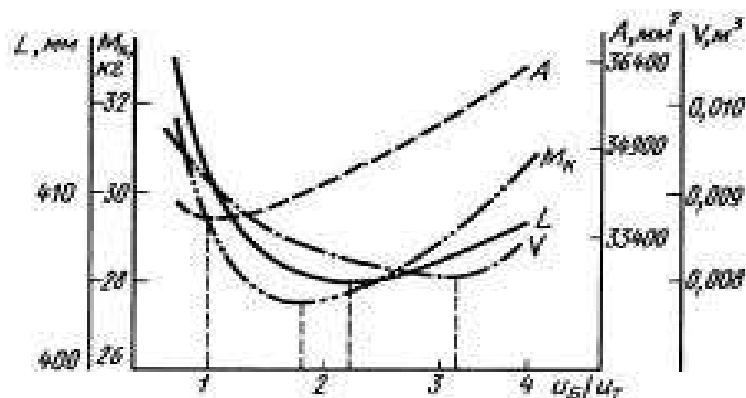


Рис. 1. Зависимость параметров редуктора от соотношения передаточных отношений

принимая равным 0,315. Последнее выражение легко привести к неполному кубическому уравнению относительно  $u_B$  вида

$$u_B^3 + p u_B + q = 0.$$

Значения постоянных коэффициентов  $p$  и  $q$  для вариантов материалов колес приведены в табл.2.

Тогда кубические уравнения для всех групп термообработки соответственно приобретают вид:

$$u_B^3 - 0,083\sqrt{u_p^5} u_B - 0,484\sqrt{u_p^5} = 0.$$

$$u_B^3 - 0,052\sqrt{u_p^5} u_B - 0,448\sqrt{u_p^5} = 0.$$

$$u_B^3 - 0,060\sqrt{u_p^5} u_B - 0,321\sqrt{u_p^5} = 0.$$

Приравнивание диаметров конического и цилиндрического колес дает выражение:

$$2K_{pk} \sqrt[3]{u_B / v_H} = \sqrt[3]{u_T^2 / \psi_{ват}},$$

где  $K_{pk}$  – отношение нагрузки коническо-цилиндрической передачи;  $v_H = a + v u_B$  – коэффициент группы термообработки колес зубчатой пары (см. табл.1);  $\psi_{ват}$  – коэффициент ширины зубчатого колеса,

Таблица 2			
Значения коэффициентов	Группа термообработки материала		
	1. мягкие	2. средние	3-4. твердые
	$H_1 \leq 350HB$ ; $H_2 \leq 350HB$	$H_1 \geq 45HRC$ ; $H_2 \leq 350HB$	$H_1 \geq 45HRC$ ; $H_2 \geq 45HRC$
$a$	1,22	1,13	0,81
$b$	0,21	0,13	0,15
$p$	$-0,083\sqrt[3]{u_p^5}$	$-0,052\sqrt[3]{u_p^5}$	$-0,060\sqrt[3]{u_p^5}$
$q$	$-0,484\sqrt[3]{u_p^5}$	$-0,448\sqrt[3]{u_p^5}$	$-0,321\sqrt[3]{u_p^5}$

Действительный корень уравнения, например, для материала группы 3-4 дает выражение

$$u_B \cong 1,08\sqrt[3]{u_p^5},$$

тогда

$$u_T = 0,926\sqrt[3]{u_p^4}.$$

Распределение общего передаточного отношения по ступеням в этом случае будет (табл.3):

В работе [2] для коническо-цилиндрического редуктора разбивку общего передаточного отношения рекомендуют выполнять по зависимостям

Таблица 3.					
$u_p$	6,3	10	14	20	28
$u_B$ $\cong 1,08\sqrt[3]{u_p^5}$	2,8	3,55	4	5,0	6,3
$u_T$ $= 0,926\sqrt[3]{u_p^4}$	2,24	2,8	3,55	4,0	4,5
$u_p/u_T$	1,25	1,27	1,13	1,25	1,4

$$u_T = 0,63\sqrt[3]{u_{p\text{ред}}^2}; u_B = u_{p\text{ред}}/u_T.$$

Общее передаточное отношение принимаемое из единого ряда и разбивка его по ступеням в соответствии с формулами приведены в таблице 4 (выдержка из ряда чисел)

Таблица 4.												
$u_{ред}$	8	9	10	11,2	12,5	14	16	20	22,4	25	28	31,5
$u_B$	2,52	2,73	2,92	3,15	3,39	3,66	4	4,64	5,01	5,39	5,81	6,28
$u_T$	3,17	3,30	3,42	3,56	3,69	3,83	4	4,31	4,47	4,64	4,82	5,02
$u_B/u_T$	0,79	0,83	0,85	0,88	0,92	0,96	1,0	1,08	1,12	1,16	1,21	1,25

Отношение  $u_B/u_T$  является важным параметром при проектировании многоступенчатого редуктора, с ним связывают изгибную прочность зубьев всех ступеней. По исследованиям немецких ученых Г. Ниманна и В Вольфа этот параметр лежит в пределах 1,1...1,3.

Размеры редуктора в значительной степени зависят от размеров и массы зубчатых пар ступеней, которые определяются из условия обеспечения контактной прочности активных поверхностей зубьев или прочности зубьев на изгиб [5,6].

В заключение следует отметить, что решить вопрос о распределении передаточного отношения между ступенями с учетом нескольких критериев почти невозможно, полученные результаты принять однозначно нельзя.

**Список литературы.** 1. Остяков Ю.А. Курсовое проектирование конкурентоспособных машин. – М.: Высш. шк., 2005. – 223 с. 2. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Детали машин. Курсовое проектирование. – М.: Машиностроение, 2003. – 636 с. 3. Проектирование механических передач./ С.А.Чернавский, Г.А.Снесарев, Б.С.Козинцев и др. – М.: Машиностроение, 1984. – 560 с. 4. Решетов Д.Н. Детали машин. – М.: машиностроение, 1989. – 496 с. 5. Кудрявцев В.Н. Детали машин. – Л.: Машиностроение, 1980. – 464 с. 6. Захарченко А.Д. Оценка массогабаритных параметров зубчатых пар из различных материалов. Материалы 12-го международного научно-практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». Донецк-Таганрог. 2011.т.2. С.248 – 251.

# АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ ФРЕЗЕРУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ УРИВЧАСТОСТІ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ

Івченко Т.Г.

ДВНЗ Донецький національний технічний університет, м. Донецьк, Україна  
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

**Abstract:** The analysis of conformities to law of forming of thermal streams and cutting temperatures in the area of treatment depending on the parameters of milling process is executed. The calculation method of cutting temperature at milling taking into account irregularity of process in the conditions of the unset heat exchange is developed. Character and degree of influence of cutting speed, feed and cutting depth on the cutting temperature at milling is set.

**Key words:** thermal stream, temperature, milling, speed, feed, depth.

Забезпечення високої продуктивності механічної обробки та якості поверхневого шару деталей машин суттєво обмежується високим рівнем температур в зоні різання. У цьому зв'язку вельми актуальні виконані дослідження по визначенню можливостей зниження температур різання під час фрезерування – одного з найбільш поширених методів обробки плоских поверхонь.

В наступний час методи теплофізичного аналізу зони механічної обробки достатньо добре відомі [1]. Проте, вони встановлюють лише загальні підходи до визначення теплового стану зони обробки та охоплюють насамперед безперервну лезову обробку в умовах сталого теплообміну, інформація ж про уривчасте різання досить обмежена.

Дослідження теплового стану ріжучого інструменту в умовах нестаціонарного різання [2] та загальних закономірностей формування температур в інструменті під час фрезерування [3] встановлюють температуру лише вершини леза інструмента без урахування характеру змін теплових потоків для несталого теплообміну. В роботі [4] закономірності формування теплових потоків в умовах несталого теплообміну встановлені для безперервного різання. Дослідження температури різання під час фрезерування [5] потребують подальшого розвитку для визначення можливостей керування температурою різання за рахунок вибору раціональних параметрів механічної обробки.

Мета роботи - встановлення взаємозв'язку температури різання з основними параметрами обробки та визначення можливостей керування температурою різання під час фрезерування з урахуванням уривчастості процесу різання.

Аналіз стаціонарності теплових процесів виконується на підставі безрозмірного критерія часу, або критерія Фур'є:  $Fo = \omega \tau / l^2$  ( $\omega$  - коефіцієнт температуропроводності леза інструменту;  $\tau$  - реальний час різання;  $l$  – довжина джерела теплоти).

Температура різання в умовах несталого теплообміну  $\Theta$  може бути визначена як середня температура на передній  $\Theta_1$  та задній  $\Theta_2$  поверхнях леза з урахуванням функції безрозмірного часу  $m(Fo)$  [5]:

$$\Theta = \frac{(\Theta_1 l + \Theta_2 h) m(Fo)}{l + h} = \frac{[q_1 l (M_1 l + N_1 h) + q_2 h (M_2 h + N_1 l)] m(Fo)}{(l + h) \lambda_u}, \quad (1)$$

де  $l$  - довжина контактної площадки між стружкою і передньою поверхнею леза зуба фрези;  $h$  - знос по задній поверхні леза;  $q_1$  і  $q_2$  - щільність теплових потоків на передній

і задній поверхнях леза;  $M_{1,2}$ ,  $N_{1,2}$  - безрозмірні функції, що визначають нагрів площадок на передній і задній поверхнях леза;  $\lambda_u$  - коефіцієнт теплопровідності інструменту.

Функція безрозмірного часу  $m(F_o)$  може бути визначена наступним чином:

$$m(F_o) = T(F_o)/T(\infty) = \frac{1}{T(\infty)} \int_0^1 d\psi_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{\left(1 - \operatorname{erf}\left[\sqrt{\psi_u^2 + \zeta_u^2}/2\sqrt{F_o}\right]\right)}{\sqrt{\psi_u^2 + \zeta_u^2}} d\zeta_u, \quad (2)$$

де  $T(F_o)$ ,  $T(\infty)$  - безрозмірні температури вершини леза відповідно під час несталою та сталого теплообміну;  $\psi_u = x_u/l$ ,  $\zeta_u = z_u/l$ , - безрозмірні координати;  $\alpha = 0,5b/l$  - безрозмірна ширина зрізу.

Щільності теплових потоків на передній  $q_1$  і задній  $q_2$  поверхнях леза під час безперервного різання в умовах несталою теплообміну також визначаються з урахуванням функції безрозмірного часу  $m(F_o)$  [5]:

$$q_1 = \frac{K_1 K_3 \lambda_u - K_2 N_2 m(F_o) h + K_1 M_2 m(F_o) h}{K_3 K_4 \lambda_u + M_2 K_4 h - N_1 N_2 (m(F_o))^2 l h / \lambda_u}; \quad q_2 = \frac{(K_1 - K_4 q_1) \lambda_u}{N_2 m(F_o) h}, \quad (3)$$

де  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ,  $K_4$  - коефіцієнти, що враховують теплофізичні властивості матеріалів деталі й інструменту та умови механічної обробки.

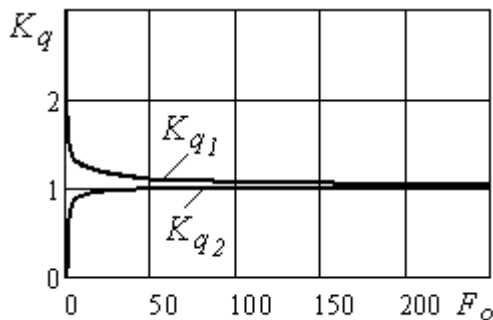


Рис. 1. Графіки зміни відносних щільностей теплових потоків на передній  $Kq_1$  і задній  $Kq_2$  поверхнях леза в умовах несталою теплообміну

Загальний характер зміни щільностей теплових потоків на передній  $q_1$  і задній  $q_2$  поверхнях леза в безрозмірному часі  $F_o$  в умовах несталою теплообміну (для обробки сталей твердосплавними інструментами) може бути визначений на підставі коефіцієнтів відносних щільностей теплових потоків на передній  $Kq_1$  і задній  $Kq_2$  поверхнях (рис. 1):

$$Kq_1 = q_1(F_o)/q_1(500); \quad Kq_2 = q_2(F_o)/q_2(500). \quad (4)$$

В початковий момент  $F_o = 0$  щільності теплових потоків на передній  $q_1$  і задній  $q_2$  поверхнях леза високі і в декілька разів перевищують щільності теплових потоків під час сталого теплообміну ( $F_o \geq 500$ ). Урахування цього характеру зміни теплових потоків суттєво підвищує точність розрахунків температури різання. Потім теплові потоки швидко зменшуються, а далі - стабілізуються.

Уривчастий процес різання під час фрезерування характеризується наявністю робочих ходів тривалістю  $t_p$ , які чергуються з холостими ходами тривалістю  $t_x$  і в сумі визначають тривалість циклу  $t_o = t_p + t_x$ .

Для торцевого фрезерування тривалість циклу  $t_o$ , тривалість робочого ходу  $t_p$ , тривалість холостого ходу  $t_x$  визначаються в такий спосіб:

$$t_o = 60/n, \quad t_p = 60 \arcsin(B/D)/\pi, \quad t_x = 30(2\pi - \arcsin(B/D))/\pi, \quad (5)$$

де  $n$  – частота обертання;  $B$  – ширина фрезерування,  $D$  – діаметр фрези.

Циклічний процес зміни в часі температури різання  $\Theta_o$  під час фрезерування аналітично може бути описаний наступним чином:

$$\Theta_o(\tau) = \begin{cases} \Theta(\tau - i\tau_o + x_i), & \text{якщо } t_o(i-1) \leq \tau \leq (t_p + t_o i), \quad i = 1, 2, \dots, n_o \\ \Theta(\tau_p + x_i) \exp[-0,04(\tau - \tau_p)], & \text{якщо } (t_p + t_o(i-1)) \leq \tau \leq t_o i \end{cases} \quad (6)$$

де  $\Theta(\tau - i\tau_o + x_i)$  – температура різання при нагріванні в період робочого ходу;  $\Theta(\tau_p + x_i) \exp[-0,04(\tau - \tau_p)]$  – середня температура при охолодженні в період холостого ходу;  $n_o$  – число циклів;  $x_i$  – період часу, що коректує початок відліку температури нагріву в кожному наступному циклі з обліком охолодження в попередньому.

Для кожного циклу  $x_i$  розраховується чисельними методами як корінь рівняння:

$$\Theta(x_i) = \Theta(\tau_p + x_{i-1}) \exp[-0,04(\tau_h)]. \quad (7)$$

Графік циклічного процесу зміни в часі температури різання  $\Theta_o$  під час фрезерування в умовах несталого теплообміну для різних швидкостей різання та подач наведено на рис. 2. Графіки побудовані для обробки сталі 45 торцевими насадними фрезами з механічним кріпленням пластин Т15К6 (діаметр торцевої фрези  $D = 125$  мм, ширина фрезерування  $B = 85$ , число зубів фрези  $z = 8$ ).

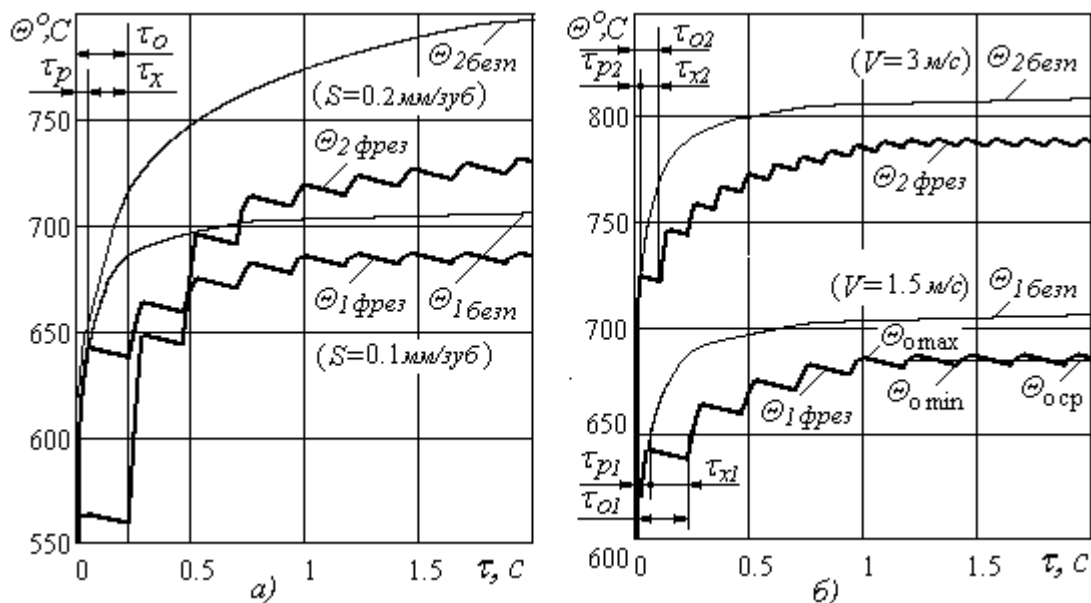


Рис. 2. Графіки зміни в часі температури різання для різних подач – а) та швидкостей різання – б) під час фрезерування та безперервного різання в умовах несталого теплообміну (глибина різання  $t = 1$  мм)

В початковий момент часу температури різання різко зростають. Чим вище подача та швидкість різання, тим інтенсивніше зростання температури та вище її рівень під час сталого теплообміну. Процес багаторазово повторюється, поступово нагрів і

оохолодження врівноважуються, процес стабілізується і може вважатися сталим для такого значення  $x$ , яке забезпечує однакове підвищення температури протягом робочого ходу та її зменшення під час охолодження протягом холостого ходу. Значення  $x$  розраховується чисельним методом як корінь рівняння:

$$\Theta(x) = \Theta(\tau_p + x) \exp[-0,04(\tau_h)]. \quad (8)$$

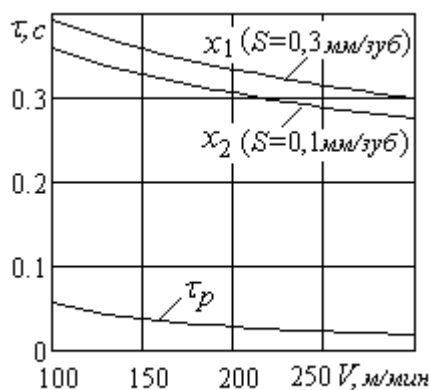


Рис. 3. Графіки залежності тривалості робочого ходу  $\tau_p$  та параметрів  $x$  для різних подач від швидкості різання  $V$

Графіки залежності тривалості робочого ходу  $\tau_p$  та параметрів  $x$  для різних подач від швидкості різання  $V$ , які наведені на рис. 3, свідчать про те що параметр  $x$  зменшується з ростом швидкості та підвищується з ростом подачі на зуб. Тривалість циклу під час фрезерування залежить лише від частоти обертів (при постійному діаметру фрези – від швидкості).

Під час сталого фрезерування максимальна  $\Theta_{\max}$  і мінімальна  $\Theta_{\min}$  температури циклу уривчастого процесу фрезерування визначаються:

$$\Theta_{\max} = \Theta(x + \tau_p); \quad \Theta_{\min} = \Theta(x). \quad (9)$$

Температура різання під час фрезерування є середньою температурою циклу  $\Theta_{\text{ср}}$  і для визначеного параметра  $x$  може бути розрахована наступним чином:

$$\Theta_p = \Theta_{\text{ср}} = \Theta(x + \tau_p / 2). \quad (10)$$

Середня температура при сталому уривчастому різанні нижче, ніж при безперервному, що може бути порівняно за допомогою наступного коефіцієнта:

$$K_T = \Theta(x + \tau_p / 2) / \Theta(500). \quad (11)$$

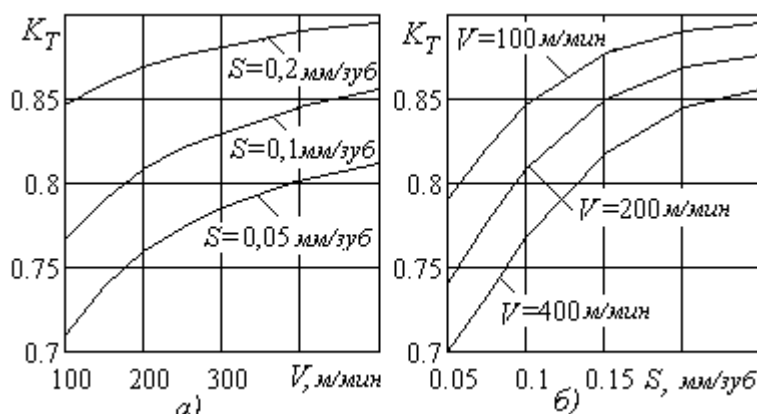


Рис. 4. Графіки залежності коефіцієнтів зниження температури різання  $K_T$  під час уривчастого різання від швидкості різання  $V$  – а) та подачі  $S$  – б) в порівнянні з безперервним різанням

Графіки залежності коефіцієнтів зниження температур різання під час уривчастого різання в порівнянні з безперервним від режимів різання наведені на рис. 4.

Більш інтенсивне зниження температур різання має місце для менших швидкостей різання та подач, внаслідок чого для уривчастого різання зниження режимів різання більш ефективно впливає на температуру, ніж для

безперервного.

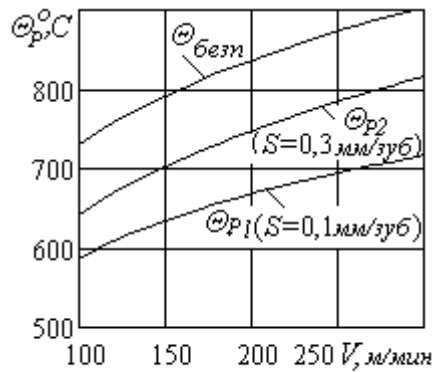


Рис. 5. Графіки залежності температури різання  $\Theta_r$  під час фрезерування від швидкості різання  $V$  для різних подач

Графіки залежності температури різання  $\Theta_r$  під час фрезерування від швидкості різання  $V$  для різних подач з урахуванням уривчастості процесу в порівнянні з температурою безперервного різання  $\Theta_{безп}$  наведені на рис. 5.

На підставі розроблених теоретичних моделей визначення температури різання під час фрезерування конструкційних сталей з використанням множинного регресійного аналізу встановлені аналітичні залежності температури різання  $\Theta_{теор}$  від швидкості різання  $V$ , подачі  $S$  та глибини  $t$  (похибка не перевищує 10%):

$$\Theta_{теор} = 313 V^{0,2} S^{0,1} t^{0,1}. \quad (11)$$

Встановлені взаємозв'язки температури різання з режимами фрезерування дозволяють регламентувати параметри обробки, які забезпечують заданий рівень температур.

## Висновки

Встановлені закономірності формування та розподіл у часі теплових потоків та температур різання під час фрезерування. В результаті дослідження теплового стану зони різання під час фрезерування розроблені теоретичні моделі визначення температур різання в залежності від умов обробки з урахуванням уривчастості процесу в умовах несталого теплообміну. Виконана кількісна оцінка зниження температури уривчастого різання в порівнянні з безперервним за рахунок холостих ходів

Для практичного використання розроблена регресійна модель визначення температури різання в залежності від режимів різання - швидкостей, подач та глибин, що дає можливість обґрунтування раціональних параметрів фрезерування, які забезпечують рівень допустимих температур.

**Перелік літератури.** 1. Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах / А.Н. Резников, Л.А. Резников. - М.: Машиностроение, 1990. - 288с. 2. Івченко Т.Г. Дослідження теплового стану ріжучого інструменту в умовах нестационарного різання / Т.Г. Івченко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 110. - Донецьк, ДонНТУ, 2006.- С.17-23. 3. Івченко Т.Г. Теоретические исследования теплового состояния торцовых фрез / Т.Г. Івченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. Вип.19. - Краматорськ: ДДМА, 2006.- С.33-39. 4. Івченко Т.Г. Исследование тепловых потоков и температур в зоне резания при неустановившемся теплообмене / Т.Г. Івченко, И.А. Петряева, Е.В. Полякова // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць.. - Краматорськ, ДДМА. Вип.28, 2011.- С.280-283. 5. Івченко Т.Г. Дослідження впливу параметрів механічної обробки на температуру різання під час фрезерування / Т.Г. Івченко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип. 9(205). - Донецьк, ДонНТУ, 2012.- С.23-29.



## ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ТОЧІННЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ РІЗАННЯ В РІЗНИХ УМОВАХ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Івченко Т.Г., Король К.О, Вітохіна Д.В.

ДВНЗ Донецький національний технічний університет, м. Донецьк, Україна

Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

**Abstract:** Analysis of influence of the turning regimes on the cutting temperature during treatment of different steels and cast irons executed. As a result of researches the theoretical models of determination cutting temperatures are developed depending on the cutting speed, feed, depth, that enables ground of rational parameters of sharpening, which provide the possible level of temperatures for the different treatment terms.

**Key words:** turning, thermal stream, cutting temperature, speed, feed, depth.

Теплові явища мають важливе значення в обґрунтуванні раціональних параметрів процесу різання матеріалів, в забезпеченні продуктивності механічної обробки та якості поверхневого шару деталей машин. Це доводить актуальність виконаних досліджень по визначенню температур різання в різних умовах токарної обробки.

Сучасні методи аналізу теплових процесів в технологічних системах встановлюють загальні підходи до визначення теплових потоків та температур в зоні різання [1, 2]. Вони складають основу для створення практичних рекомендацій з обґрунтування параметрів механічної обробки, що забезпечують допустимий рівень температур, однак така інформація досить обмежена.

В наступний час на підставі досліджень закономірностей формування теплових потоків в зоні різання під час точіння визначені аналітичні залежності теплових потоків від умов механічної обробки [3], що сприяло удосконаленню методики аналітичного розрахунку температури різання [4] та виявленню загального впливу параметрів процесу різання на температуру леза інструменту [5]. Виконані дослідження температурних залежностей від параметрів процесу різання для окремих умов обробки, наприклад для важкооброблюваних матеріалів [6], встановлюють кількісні взаємозв'язки між параметрами, в тому складі під час використання мастильно – охолоджуючих середовищ.

Однак, для практичного використання потрібний подальший розвиток досліджень в напрямку встановлення аналітичних залежностей температури різання від параметрів механічної обробки в широкому діапазоні їх варіювання.

Мета роботи – аналіз впливу режимів точіння на температуру різання та встановлення взаємозв'язку температури різання з глибиною, подачею та швидкістю для різних умов обробки.

Температура різання в залежності від режимів механічної обробки може бути представлена в наступному вигляді:

$$\Theta = C_{\Theta} V^z S^y t^x, \quad (1)$$

де  $C_{\Theta}$ ,  $z$ ,  $y$ ,  $x$  – коефіцієнт та показники ступеню впливу на температуру різання  $\Theta$  швидкості  $V$ , подачі  $S$  та глибини  $t$  різання, що залежать від умов обробки.

Основні закономірності зміни температури різання в залежності від режимів різання для різних умов токарної обробки різних оброблюваних матеріалів встановлюються на підставі відомих теоретичних залежностей відповідно до методики, викладеної в [3, 4].

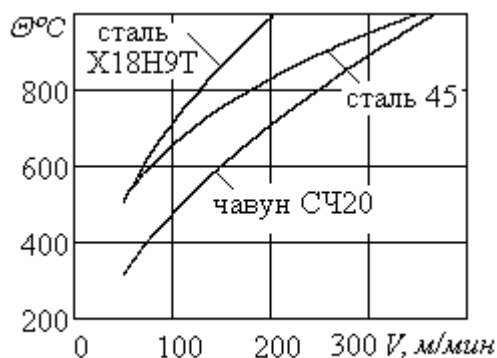


Рис. 1. Графіки залежності температури різання  $\Theta$  від швидкості  $V$  для різних матеріалів: глибина різання  $t=3$  мм; подача  $S=0,3$  мм/об

Результати розрахунків температури різання  $\Theta$  в залежності від швидкості різання  $V$  для обробки чавунів (чавун СЧ20), конструкційних сталей (сталь 45) та важкооброблюваних сталей (сталь X18H9T) представлені на рис. 1. Розрахунки виконувались для обробки сталі 45 різцями Т15К6, для чавуну СЧ20 та сталі X18H9T різцями ВК8 (геометричні параметри: головний кут в плані  $\phi = 45^\circ$ , передній кут  $\gamma = -7^\circ$ , задній кут  $\alpha = 7^\circ$ ).

Порівняльний аналіз температур різання для різних оброблюваних матеріалів (та відповідних інструментальних матеріалів) свідчить про те, що найменші сили різання та високий коефіцієнт теплопровідності однокарбідного твердого сплаву ВК8 ( $\lambda_{\text{ВК8}} =$

$54,4 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ ,  $\lambda_{\text{Т15К6}} = 27,2 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ ) забезпечують найменший рівень температур під час обробки чавунів. Під час обробки важкооброблюваних сталей сили різання суттєво вищі, ніж для конструкційних сталей, а коефіцієнт теплопровідності — значно нижчий, ( $\lambda_{\text{сталь X18H9T}} = 22,6 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ ,  $\lambda_{\text{сталь 45}} = 40,2 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ ,  $\lambda_{\text{чавун СЧ20}} = 39,8 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ ) внаслідок чого температура різання має найбільший рівень з усіх матеріалів, що порівнювались.

Кількісний аналіз впливу оброблюваного матеріалу на температуру різання виконаний на підставі теоретичних розрахунків температур для чорнової та чистової токарної обробки різних сталей та чавунів. Графіки залежності температури різання  $\Theta$  від швидкості різання  $V$  в умовах чорнової та чистової токарної обробки різних конструкційних сталей наведені на рис. 2, рис. 3.

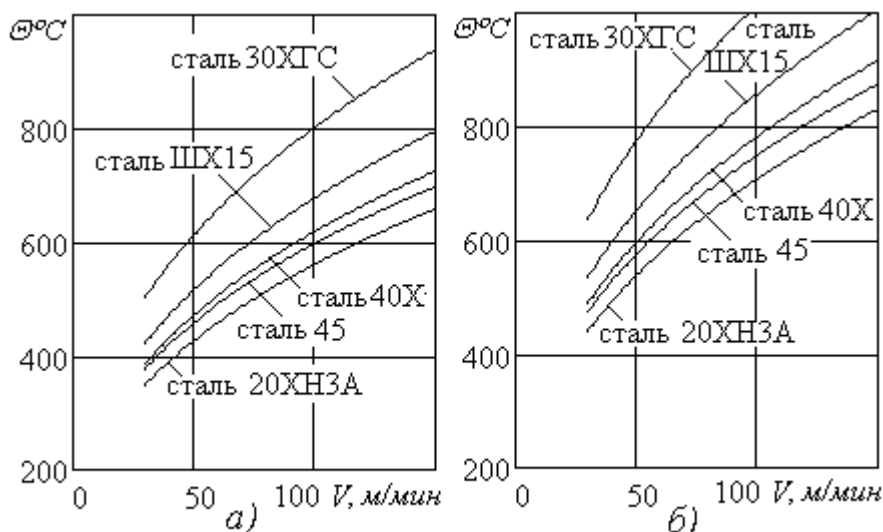


Рис. 2. Графіки залежності температури різання  $\Theta$  від швидкості  $V$  в умовах чорнової обробки різних сталей: глибина різання  $t=3$  мм; подачі  $S=0,4$  мм/об - а) та  $S=0,8$  мм/об - б)

Розрахунки виконувались для чорнової обробки сталей різцями Т5К10; для чистової - Т15К6; величина зносу по задній поверхні  $h = 0,2$  мм, коефіцієнт повздовжньої усадки стружки  $k = 2$ .

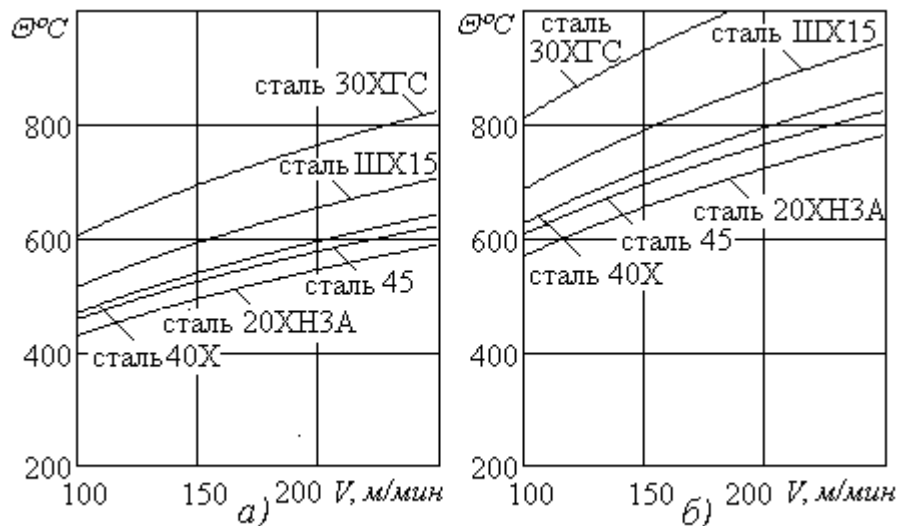


Рис. 3. Графіки залежності температури різання  $\Theta$  від швидкості  $V$  в умовах чистової обробки різних сталей: глибина різання  $t = 1$  мм; подачі  $S = 0,1$  мм/об - а) та  $S = 0,4$  мм/об - б)

Температура різання суттєво зростає, як в умовах чистової, так і чорнової обробки, з підвищенням міцності сталей, швидкостей різання і подачі. Для чистової обробки, незважаючи на менші сили різання, істотно знижуються площини контакту стружки з передньою та задньою поверхнями леза, унаслідок чого зростає щільність теплових потоків, внаслідок чого температури різання  $\Theta$  для чистової обробки вищі, ніж для чорнової.

Перевірка методики аналітичного визначення температури різання виконана на підставі порівняння відомих експериментальних досліджень [1] з результатами розрахунків для однакових умов експлуатації.

Графіки теоретичних  $\Theta_{теор}$  і експериментальних  $\Theta_{експ}$  залежностей температури різання в залежності від режимів різання під час токарної обробки конструкційної сталі твердосплавними інструментами приведені на рис. 4.

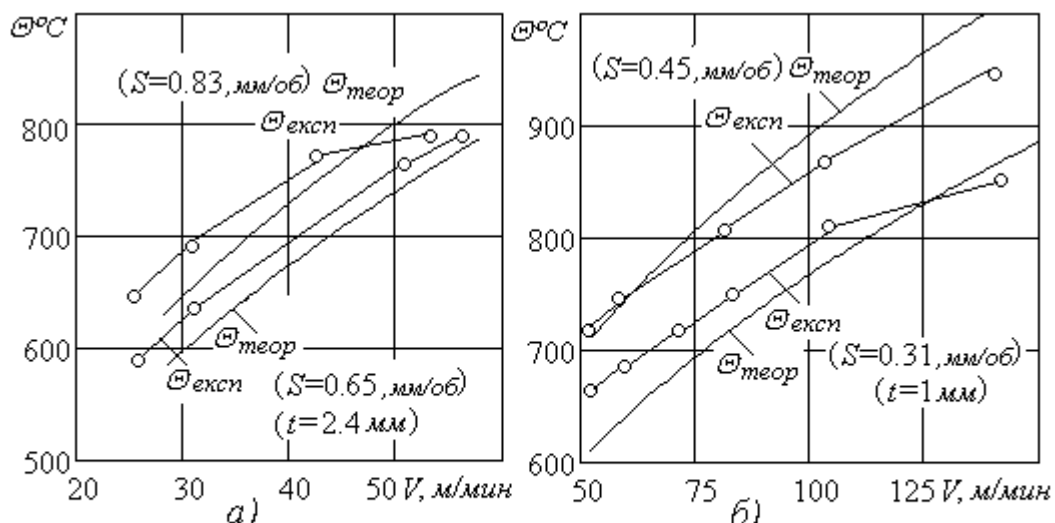


Рис. 4. Порівняння експериментальних -  $\Theta_{експ}$  і теоретичних  $\Theta_{теор}$  температур різання для різних швидкостей різання  $V$  і подачі  $S$  в умовах чорнової - а) та чистової - б) токарної обробки конструкційних сталей

Порівняння проводилося для наступних умов: обробка конструкційної сталі міцністю  $\sigma = 820$  МПа різцями Т5К10 (чорнова обробка) та Т15К6 (чистова обробка); геометричні параметри: головний кут в плані  $\varphi = 45$ , передній кут  $\gamma = 12^\circ$ , задній кут різця  $\alpha = 7^\circ$ ; величина зносу по задній поверхні  $h = 0,2$  мм, коефіцієнт усадки стружки  $k = 2$ .

Графіки показують, що температури різання, одержані за теоретичними та експериментальними залежностями близькі за своїми значеннями. Помилка не перевищує гранично допустиму (10%). Результати перевірок підтверджують адекватність використаних теоретичних моделей та можливість практичного застосування методики теоретичного розрахунку температури різання.

З використанням множинного регресійного аналізу встановлені аналітичні залежності температури різання  $\Theta$  від швидкості різання  $V$ , подачі  $S$  та глибини різання  $t$  для чорнової ( $\Theta_1$ ) та чистової ( $\Theta_2$ ) обробки конструкційних сталей:

$$\Theta_1 = C_{\Theta 1} K_o V^{0,39} S^{0,34} t^{0,2}; \quad \Theta_2 = C_{\Theta 2} K_o V^{0,34} S^{0,32} t^{0,2}, \quad (2)$$

де  $C_{\Theta 1}$ ,  $C_{\Theta 2}$  – коефіцієнти, що залежать від умов обробки: для сталі 45  $C_{\Theta 1} = 138$ ,  $C_{\Theta 2} = 187$ ; для сталі 40Х  $C_{\Theta 1} = 139$ ,  $C_{\Theta 2} = 188$ ; для сталі 30ХГС  $C_{\Theta 1} = 183$ ,  $C_{\Theta 2} = 251$ ; для сталі 20ХН3А  $C_{\Theta 1} = 124$ ,  $C_{\Theta 2} = 166$ ; для сталі ШХ15  $C_{\Theta 1} = 151$ ,  $C_{\Theta 2} = 204$ .

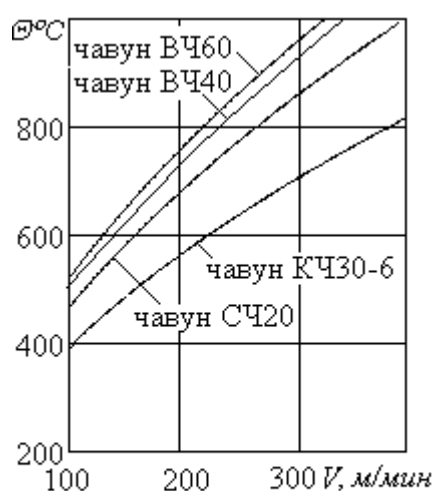


Рис. 5. Графіки залежності температури різання  $\Theta$  від швидкості  $V$  під час токарної обробки чавунів: глибина різання  $t=3$  мм; подача  $S=0,3$  мм/об

На рис. 5 представлені графіки залежності температури різання  $\Theta$  від швидкості різання в умовах токарної обробки різних чавунів: сірих СЧ20, ковких КЧ30-6, високоміцних ВЧ40 та ВЧ60.

Температура різання суттєво зростає з підвищенням швидкості різання, твердості та міцності чавунів.

З використанням множинного регресійного аналізу встановлені аналітичні залежності температури різання від швидкості різання  $V$ , подачі  $S$  та глибини різання  $t$ , які кількісно характеризують взаємозв'язок між цими параметрами для обробки чавунів твердими сплавами:

$$\Theta_3 = C_{\Theta} V^{0,65} S^{0,38} t^{0,2}. \quad (3)$$

де  $C_{\Theta}$  – коефіцієнт, що залежить від умов обробки: для сірого чавуну СЧ20  $C_{\Theta 1} = 28,5$ ; для ковкого чавуну КЧ30-6  $C_{\Theta 2} = 24,6$ ; для високоміцного чавуну ВЧ40  $C_{\Theta 3} = 30,5$ ; ВЧ60  $C_{\Theta 4} = 34,1$ .

Графіки залежності температури різання  $\Theta$  від швидкості різання в умовах токарної обробки різних важкооброблюваних сталей і сплавів: жароміцного сплаву ЭИ867, сплаву на титановій основі ОТ-4, корозійностійкої хромистих сталей 2Х13 та 95Х18, жаростійкої хромонікелевої сталі Х18Н9Т в порівнянні з конструкційною сталлю 45 наведені на рис. 6.

Температура різання для важкооброблюваних сталей та сплавів перевищує рівень температур для конструкційних сталей та суттєво зростає з підвищенням швидкості різання, міцності сталей та в зв'язку зі зменшенням коефіцієнту їх теплопровідності.

З використанням множинного регресійного аналізу встановлені аналітичні залежності температури різання від швидкості різання  $V$ , подачі  $S$  та глибини різання  $t$ :

для сталі Х18Н9Т

$$\Theta = 143V^{0,49}S^{0,31}t^{0,1}. \quad (4)$$

для сплаву ЭИ867

$$\Theta_{P2} = 245V^{0,54}S^{0,39}t^{0,1}. \quad (5)$$

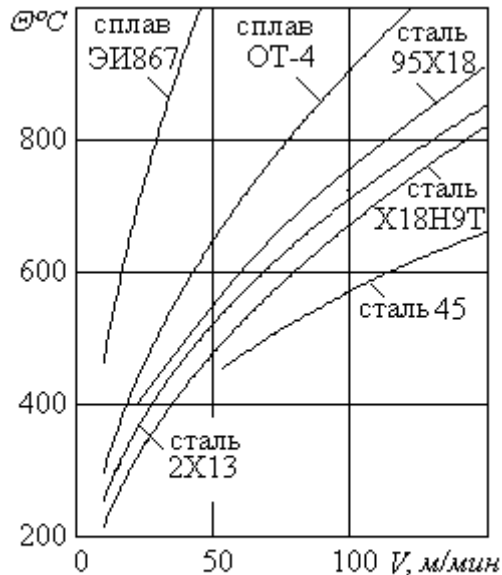


Рис. 6. Графіки залежності температури різання  $\Theta$  від швидкості  $V$  для різних важкооброблюваних сталей та сплавів: глибина різання  $t=1$ мм; подача  $S=0,3$ мм/об

Для умов як чистової, так і чорнової обробок конструкційних та важкооброблюваних сталей та чавунів зі значними подачами та швидкостями температура різання може суттєво перевищувати допустимий рівень  $\Theta_{дон}=800^{\circ}\text{C}$ , що потребує обмеження режимів різання.

### Висновки

Виконаний аналіз впливу режимів точіння на температуру різання під час обробки різних сталей та чавунів. В результаті досліджень розроблені теоретичні моделі визначення температур різання в залежності від умов обробки з урахуванням властивостей оброблюваних та інструментальних матеріалів. Для практичного використання розроблені регресійні моделі визначення температури різання в залежності від режимів різання - швидкостей, подач та глибин, що дає можливість обґрунтування раціональних параметрів точіння, які забезпечують допустимий рівень температур для різних умов обробки.

**Перелік літератури:** 1. Даниэлян А.М. Теплота и износ инструментов в процессе резания металлов / А.М. Даниэлян – М.: Машгиз, 1964. – 276с. 2. Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах / А.Н. Резников, Л.А Резников. - М.: Машиностроение, 1990. –288с. 3. Ивченко Т.Г. Исследование закономерностей формирования тепловых потоков зоне резания при точении / Т.Г. Ивченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Вип.20. – Краматорськ: ДДМА, 2006.- С.78-84. 4. Ивченко Т.Г. Совершенствование методики аналитического определения температуры резания / Т.Г. Ивченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Вып. 33. – Донецк: ДонНТУ, 2007.– С.103-110. 5. Ивченко Т.Г. Исследование общих закономерностей изменения температуры резания в различных условиях обработки / Т.Г. Ивченко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 6. - Донецьк, ДонНТУ, 2009.- С.49-55. 6. Богуславский В.А. Управление тепловыми потоками и температурой при точении труднообрабатываемых материалов / В.А. Богуславский, Т.Г. Ивченко, И.Ю. Зайцева // Известия ТТИ ЮФУ – ДонНТУ. Материалы 13 научно-практического семинара “Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы”: - Таганрог: ТТИ ЮФУ. Кн.3. 2012.№ 12. – С. 22-25.

## АНАЛИЗ ОБРАБОТКИ ШАТУНА ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММЫ «STATISTICA»

Коваленко В.И., Меркулов М.В., Хмиров Н.А.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел: +38 062 301 08 05, факс: +38 062 301 01 04, [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

**Abstract:** the article describes a method of correlation analysis, the results of the correlation analysis about three parameters (minimum, maximum and average deviation from the nominal size of the diameter rod), and to analyze the relationship between the clearance and the mating surfaces in a pair of rod-shaft. A scheme of the mating surfaces, built dispersion diagram of one of the studied parameters. As a result of correlation analysis showed that the accuracy of the size obtained by finishing operations affect accuracy of this size on the roughing operation.

**Key words:** option, factor, correlation, correlation analysis.

В заводских условиях проводилось исследование обработки поверхностей деталей типа вал и шатун. Эти детали входят в сопряжение вал-шатун, которое является одним из наиболее ответственных при сборке поршневого герметичного компрессора. В работе [1] выполнена оценка стабильности технологического процесса отделочной обработки поверхностей сопряжения вал-шатун. В настоящей работе продолжено исследование указанного сопряжения с использованием корреляционного анализа и программы "STATISTICA"

Целью работы является применение метода корреляционного анализа [2-4] для выявления факторов, влияющих на точность обработки внутренней цилиндрической поверхности шатуна, а также поиск взаимосвязей между зазором и размерами сопрягаемых поверхностей шатуна и вала. В работе [5] с помощью этого метода проанализирована обработка внутренних поверхностей втулок. Корреляционный метод анализа позволяет выявить существующую взаимосвязь между параметрами и исследуемыми факторами.

Для выявления взаимосвязи между параметрами и факторами в работе используется один из широко применяемых методов оценки статистических связей - корреляционный анализ. Этот анализ позволяет ответить на вопросы: влияет ли данная величина (фактор) на выходную величину (параметр) и какова степень (теснота) связи между этими величинами?

Корреляционный анализ проводился между следующими параметрами:  $K_1=f(D_{2min}; D_{1min})$ ,  $K_2=f(D_{2max}; D_{1max})$ ,  $K_3=f(D_{2cp}; D_{1cp})$ ,

где  $K_1$  – взаимосвязь между минимальными отклонениями от номинального диаметра отверстия, обработанного на чистовой ( $D_{2min}$ ) и черновой ( $D_{1min}$ ) операциях;  $K_2$  и  $K_3$  – соответственно взаимосвязи между максимальными и средними отклонениями от номинального диаметра отверстия, обработанного на чистовой и черновой операциях.

В данной работе факторами являются значения  $D_{1min}$ ,  $D_{1max}$  и  $D_{1cp}$  (минимальное, максимальное и среднее отклонения от номинального диаметра отверстия шатуна после чернового хонингования), а выходными параметрами - значения  $D_{2min}$ ,  $D_{2max}$  и  $D_{2cp}$  (минимальное, максимальное и среднее отклонения от номинального диаметра отверстия шатуна после чистового хонингования).

В табл.1 представлены исходные значения минимального отклонения от номинального диаметра отверстия после чистовой и черновой обработок (взаимосвязь  $K_1$ ).

Таблица 1. Минимальное отклонение от номинального диаметра отверстия после чистовой  $D_{2min}$  и черновой  $D_{1min}$  обработок

№	Фактор	Параметр	№	Фактор	Параметр	№	Фактор	Параметр
	$D_{2min}$	$D_{1min}$		$D_{2min}$	$D_{1min}$		$D_{2min}$	$D_{1min}$
1	-2	5	18	-3	4	35	0	7
2	-5	6	19	0	10	36	-2	6
3	-4	5	20	-1	5	37	-4	5
4	-4	3	21	-3	5	38	-2	5
5	0	5	22	-2	4	39	-5	2
6	-2	7	23	-3	2	40	0	8
7	-5	2	24	-3	3	41	-4	3
8	-1	7	25	-4	4	42	0	8
9	-5	1	26	-4	2	43	-1	5
10	0	10	27	-2	6	44	0	7
9	-5	1	26	-4	2	43	-1	5
10	0	10	27	-2	6	44	0	7
11	-4	4	28	-3	3	45	-2	5
12	-3	4	29	-3	5	46	-1	8
13	0	10	30	0	7	47	-3	5
14	0	7	31	-2	4	48	-3	3
15	-3	2	32	-2	8	49	0	7
16	-3	4	33	-4	2	50	-2	5
17	-5	4	34	-3	6			

Объективно о тесноте связи между двумя переменными можно судить по величине коэффициента корреляции [2]:

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}) \cdot (y_i - \bar{Y})}{n \cdot S_x \cdot S_y}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество пар значений величин  $x_i$  и  $y_i$ ;  $\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$  – средние арифметические значения соответствующих величин  $x_i$  и  $y_i$ ;  $S_x$ ,  $S_y$  – оценки стандартного отклонения.

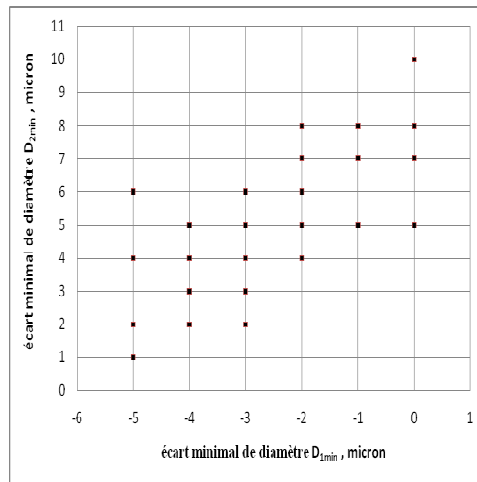
После соответствующих расчетов определено, что  $\bar{X} = 1,16$ ,  $\bar{Y} = 2,68$  и  $S_x = S_y = 3,29$ .

По формуле (1) вычислили:

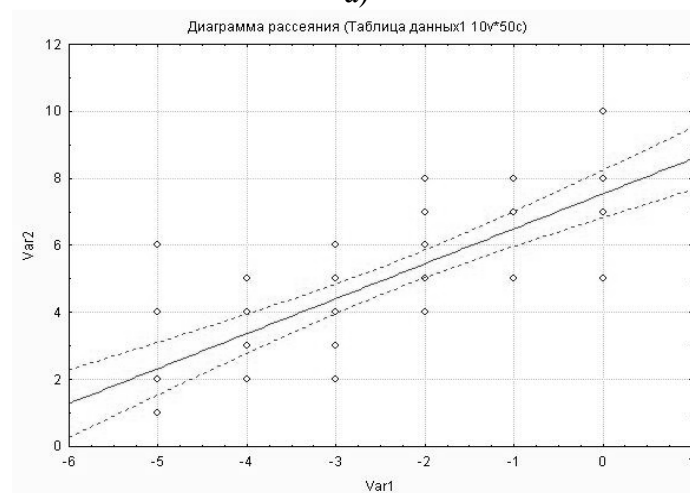
$$r(D_{2min}, D_{1min}) = 0,75; \quad r(D_{2max}, D_{1max}) = 0,77; \quad r(D_{2cp}, D_{1cp}) = 0,778.$$

Для определения статистической значимости полученных результатов проверяется гипотеза о равенстве нулю оценки коэффициента корреляции.

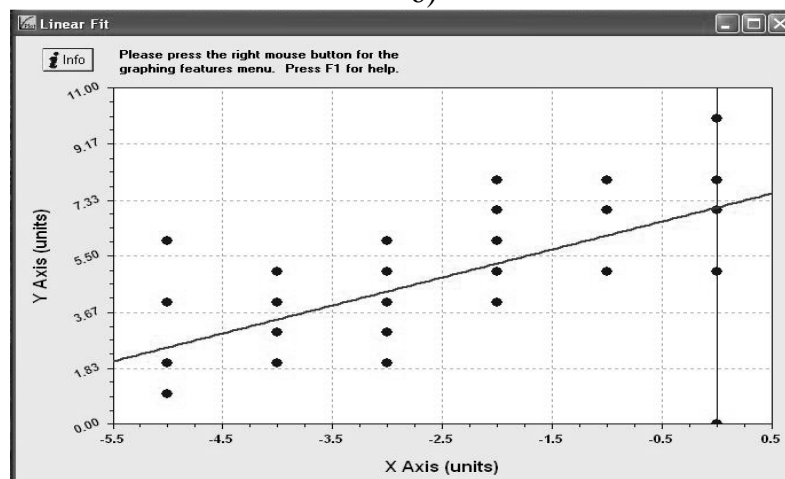




а)



б)



в)

Рис. 1. Схема рассеивания отклонений переменных фактора  $D_{1min}$  и параметра  $D_{2min}$ : а) построение с помощью "EXCEL" б) построение с помощью "STATISTICA" в) построение с помощью «Curve Expert»

В качестве критерия при проверке гипотезы используется случайная величина  $t_{кр}$ , которая подчиняется распределению Стьюдента с  $k=n-2$  степенями свободы. Затем  $t_{кр}$  сравнивают с величиной, определяемой при анализе результатов ( $T_{набл}$ ).

$$T_{набл} = \frac{r_{x,y} \cdot \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{x,y}^2}}, \quad (2)$$

При помощи программы "STATISTICA" построена диаграмма рассеивания. "STATISTICA" это общее название для ряда программных компонентов, разработанных компанией StatSoft, Inc. Пакет включает в себя около шестидесяти различных программных модулей, которые охватывают весь или часть статистического анализа данных, интеллектуального анализа данных и расчет.

В диаграммах, которые строятся с помощью программы "STATISTICA", для описания табличных данных используются различные зависимости: линейная, квадратичная и зависимость в геометрической прогрессии.

Проверочные диаграммы выполнены с помощью программы «Curve Expert». В ней занято большое количество моделей регрессии (линейных и нелинейных) и различные схемы интерполяции для представления экспериментальных данных. Кроме того, пользователь может задать любой шаблон, который можно использовать для регрессионного анализа. Программа показывает линейную зависимость.

На рис. 1 представлены результаты обработки полученных на заводе экспериментальных данных с помощью различных программ: "EXCEL" (а), "STATISTICA" (б) и «Curve Expert» (в).

### Выводы

С использованием метода корреляционного анализа было установлено, что на точность поверхностей сопряжения вал-шатун, выполняемых на чистовой операции, существенно влияет точность обработки этих же поверхностей на черновой операции. Существует высокая корреляционная зависимость ( $r = 0,75$ ) между выполняемыми размерами, полученными на этих операциях.

Также установлено, что точность обработки внутренней цилиндрической поверхности шатуна значительно влияет на величину зазора между сопрягаемыми поверхностями шатуна и вала при сборке. Величина зазора между поверхностями вала и шатуна в большей степени зависит от точности обработки внутренней цилиндрической поверхности шатуна, чем от точности обработки поверхности вала. Это объясняется тем, что разброс диаметральных значений отверстия шатуна больше, чем разброс диаметральных значений поверхности вала.

**Список литературы:** 1. Меркулов М.В. Оценка стабильности технологического процесса на примере сопряжения шатун-палец // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Образование и наука XXI века», - 2011. Том 17. Технологии. Строительство и архитектура. София. «Бял ГРАД-БГ» ООД. – С.32-36. 2. Орлов А. И. Прикладная статистика. Учебник. — М.: Экзамен, 2006. — 671 с. 3. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход : монография / Б.Ю. Лемешко, С.Б. Лемешко, С.Н. Постовалов, Е.В. Чимитова. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. – 888 с. 4. Лекции по эконометрике: учебное пособие /Шанченко Н.И., Ульяновск: УлГТУ, 2008. 5. В.И. Коваленко, М.В. Меркулов. Оценка стабильности технологического процесса отделочной обработки поверхностей сопряжения вал-шатун // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2012. Вип. 43. С. 156 - 162.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СБОРОЧНЫХ СИСТЕМ В РАМКАХ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Кульбида О.О., Ищенко А.Л., Феник Л.Н.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел.: (062)3010805. E-mail: olga\_kulbida@mail.ru

**Abstract:** *This article describes assembly systems in the language of mathematical relationships in terms of the theory of mass obsluzhivaniya.*

**Keywords:** *assembly, queuing system, information structure model.*

Сборочные работы являются заключительным этапом в производственном процессе, на котором из отдельных деталей и узлов собирают готовые изделия. Место и организация сборочных работ определяется характером выпускаемых изделий, технологическим процессом, объемом производства [1]. На сегодняшний день процессы механической обработки автоматизированы достаточно широко, процессы сборки в силу сложности реализации и многономенклатурности соединений слабо охвачены этим процессом. Механизация в сборке составляет 40%, а автоматизация всего 5...6%. Остро встает задача создания автоматических сборочных систем обладающих достаточной гибкостью при переходе на другую номенклатуру собираемых изделий и обладающих высокой производительностью для уменьшения себестоимости изделия. Создание конкретных вариантов сборочных систем и их модулей невозможно без математического описания процесса сборки и формирования их математических моделей.

Исследование любых систем предполагает построение абстрактных математических моделей, представленных на языке математических отношений в терминах определенной математической теории. Изучение процессов, протекающих в автоматических сборочных системах, исходя из сложности их математического описания, возможно проводить в рамках теории массового обслуживания. При этом модели реальных сборочных систем можно строить на основе моделей систем массового обслуживания [3, 4, 5].

Система массового обслуживания (СМО) для сборки изделий – математический объект, содержащий один или несколько приборов П, осуществляющих процессы сборки, которые обслуживают потоки поступающих на сборку присоединяемых и базирующих деталей  $P_n$ ,  $P_b$ , и накопитель, в котором проходит процесс выбора приоритета сборки и формируются очереди  $Ob$  и  $On$  ожидающих сборки деталей (см. рис.1).

Обслуживающий прибор или просто прибор – элемент СМО, функцией которого является обслуживание потоков поступающих на сборку изделий, т.е. сборка. В каждый момент времени в приборе на обслуживании (сборке) могут находиться только по одному элементу потоков собираемых деталей. Обслуживание – задержка деталей на некоторое время в обслуживающем приборе. Длительность обслуживания – время задержки деталей в приборе, равное, в общем случае, времени сборки.

Накопитель (буфер) – совокупность мест для ожидания деталей перед обслуживающим прибором. Количество мест для ожидания определяет ёмкость накопителя. Детали, поступившие на вход СМО, могут находиться в двух состояниях: в состоянии обслуживания (в приборе); в состоянии ожидания (в накопителе) и иметь соответствующую дисциплину. Детали, находящиеся в накопителе и ожидающие сборки, образуют очередь.

Дисциплина буферизации – правило занесения поступающих деталей в накопитель (буфер). Дисциплина обслуживания – правило выбора деталей из очереди для обслуживания в приборе. Обуславливается видом метода сборки.

Приоритет – преимущественное право на занесение (в накопитель) или выбор из очереди (для обслуживания в приборе) деталей одного класса по отношению к остальным деталям.

Информационная структурная модель сборочного автомата, как системы массового обслуживания представлена на рис. 1.

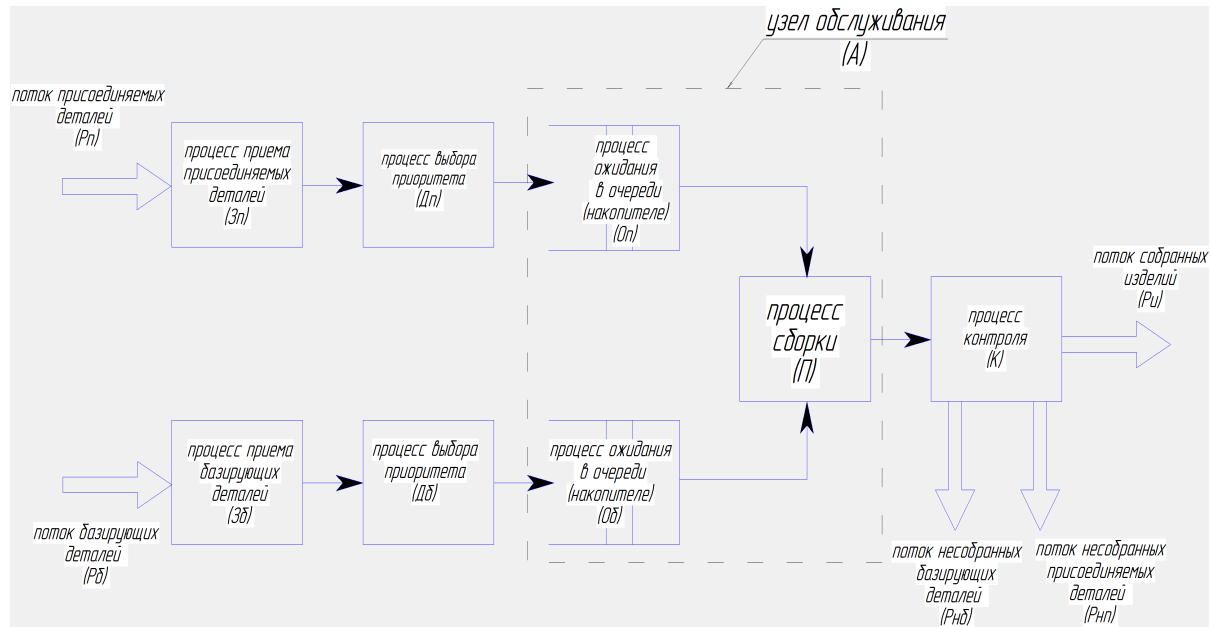


Рис.1. Модель сборочного автомата

На сборку поступают два потока деталей – поток базирующих и поток присоединяемых деталей и осуществляется процесс приема деталей. После этого осуществляется процесс выбора приоритета. Детали с дисциплиной буферизации формируют очередь в накопителе, детали с дисциплиной обслуживания, минуя накопитель, поступают на сборку в обслуживающий прибор. По окончании сборки детали поступают в устройство, осуществляющее процесс контроля. По результатам контроля формируются потоки несобранных базирующих и присоединяемых деталей и поток собранных изделий.

Устройства, в которых осуществляются процессы выбора приоритета, процесс ожидания в очереди и обслуживающий прибор образуют узел обслуживания.

Каждый из процессов может протекать как в обособленных устройствах, так и в конструктивных частях одного автомата. При объединении автоматов в линию устройства, осуществляющие контроль изделий могут не дублироваться в каждом автомате.

Для описания потока деталей, в общем случае, необходимо задать интервалы времени  $\tau_k = t_k - t_{k-1}$  между соседними моментами  $t_k$  и  $t_{k-1}$  поступления деталей с порядковыми номерами  $k$  и  $k-1$  соответственно. ( $k=1,2,3,\dots$ ;  $t_0=0$  – начальный момент времени).

Основной характеристикой потока деталей является его интенсивность  $\lambda$  – среднее число деталей, проходящих через некоторую границу за единицу времени. Величина  $a = 1/\lambda$  определяет средний интервал времени между двумя последовательно поступившими на сборку деталями.

Интервалы времени  $\tau_k$  между заявками в простейшем потоке распределены по экспоненциальному закону [1]:

$$A(\tau) = 1 - e^{-\lambda \cdot \tau}.$$

Закон распределения вероятности поступления элементов потока  $k$  за некоторый заданный промежуток времени  $t$  (закон Пуассона):

$$P(k, t) = \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda \cdot t}.$$

Сборку можно рассматривать как объединение потоков (суммирование  $H$  независимых стационарных ординарных потоков):

$$\Lambda = \sum_{k=1}^H \lambda_k.$$

Коэффициент загрузки сборочного автомата:

$$\rho = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{K \cdot T} \cdot \sum_{i=1}^K T_i,$$

где  $T$  – время процесса сборки;

$K$  – количество узлов обслуживания в автомате;

$T_i$  – время выполнения операции, осуществляемой в узле.

Вероятность возникновения элементов потоков несобранных деталей  $P_{нб}$ ,  $P_{нп}$ :

$$\pi_n = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{N_n(T)}{N(T)}$$

где  $N(T)$  – число элементов потоков  $Pб$ ,  $Pн$ , поступивших в узел за время  $T$ ;

$N_n(T)$  – число элементов потоков  $Pнб$ ,  $Pнп$ , возникших в узел за время  $T$ .

Вероятность сборки:

$$\pi_0 = (1 - \pi_n) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{N_0(T)}{N(T)},$$

где  $N_0(T)$  – число элементов потока собранных изделий  $Pи$ , возникших в узле за время  $T$ .

Производительность (интенсивность) СМО:

$$\lambda' = \pi_0 \cdot \lambda = (1 - \pi_n) \cdot \lambda.$$

Коэффициент загрузки узла:  $\rho = \frac{(1 - \pi_n) \cdot y}{K}$  или  $\rho = \frac{\lambda' \cdot b}{K}.$

$$\pi_0 = 1 - \pi_n = \frac{\rho}{y} \cdot K.$$

Тогда вероятность сборки:

Приведенные зависимости позволяют описать процессы сборки для различных типов производства, для различных соединений и могут служить основой для составления оптимизационных моделей процессов по критерию времени сборки.

**Список литературы:** 1. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов / Новиков М.П. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с. 2. Лебедевский М.С. Научные основы автоматической сборки / Лебедевский М.С., Вейц В.Л., Федотов А.И. – Л.: Машиностроение, 1985. – 316 с. 3. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с. 4. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. Пер. с англ. / Пер. И.И. Грушко. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с. 5. Жерновий Ю. В. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: Практикум. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. – 307 с.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ

Лаппо И.Н.

КИИ ДВНЗ ДонНТУ, г. Красноармейск, Украина

E-mail: imkii@yandex.ua

**Abstract:** *The modern methods of mathematical design of thermophysical processes, arising up at treatment of hole opening an axial instrument are considered and classified. On the basis of analysis of existent methods perspective directions of their further development are educed taking into account the features of development of working processes for this type of tooling.*

**Keywords:** *thermal processes, mathematical design, hole opening, set and unset thermal processes, border terms, cylindrical system of coordinates, combined axial instrument.*

### 1. Состояние вопроса

Изучение тепловых процессов является одним из приоритетных разделов современных инженерных исследований в машиностроении и других отраслях промышленности. Особое значение приобретают вопросы нестационарного теплообмена при механической обработке, так как целый ряд важных практических задач теплообмена не может быть рассмотрен в рамках предположения о неизменности параметров процесса по времени. И в условиях неустановившегося теплообмена основной задачей является борьба за качество и производительность механической обработки резанием.

Эффективные методы повышения качества и производительности, связанные с точностью инструмента и оборудования в настоящий момент исчерпаны. Значительным резервом повышения и качества, и производительности является устранение негативного влияния тепловых явлений, сопровождающих процессы механической обработки резанием. Эти явления изучены недостаточно и, в основном, применительно к точению.

Эффективным средством устранения негативного влияния тепловых процессов в настоящее время считается использование следящей коррекции положения режущего инструмента в современном металлообрабатывающем оборудовании (например, станки - гексаподы). Однако применительно к обработке отверстий использование такого подхода проблематично ввиду замкнутости и ограниченности рабочей зоны.

### 2. Анализ исследований и публикаций

Бурное развитие теории теплообмена приходится на вторую половину XX века, когда были разработаны оригинальные и эффективные способы расчета теплопроводности, методы экспериментального изучения теплоотдачи. Из работ зарубежных ученых, внесших существенный вклад в развитие теории теплопроводности, широко известны труды Г.Карслоу, Д.Егера [1], с именами которых исторически связывают появление метода источников; Ф.Крейта, У.Блэка [2] и др.

С середины XX века сложилось новое ответвление науки о тепловых явлениях, которое получило название теплофизика технологических процессов, изучающая вопросы тепловых явлений в технологических системах механической обработки. Данное направление плодотворно развивали: Резников А.Н. [3], Силин С.С. [4], Остафьев В.Л., Ящерицын П.И. [5], Якимов А.В. [6], Тихонцов А.М. [7] и др.

Несомненно, центральной фигурой в области исследования тепловых процессов резания является Резников А.Н., в работах которого впервые было рассмотрено негативное влияние температуры на точность механической обработки поверхностей; при-

ведены данные по распределению потоков и стоков теплоты в детали, инструменте и стружке при лезвийной обработке и поверхностном пластическом деформировании. Также вопросу влияния тепловых процессов на качество обработанных поверхностей большое внимание уделялось в работах Якимова А.В., Усова А.В..

На сегодняшний день наиболее изучены физические основы стационарных тепловых процессов, протекающих при лезвийной обработке внешних поверхностей инструментом типа плоского клина [5, 6, 7], базирующихся, в основном, на эмпирических зависимостях между параметрами резания, которые, тем не менее, могут быть использованы при решении более сложных задач, таких как обработка отверстий, являющаяся одним из наиболее напряженных в теплофизическом отношении видов обработки резанием.

Среди работ, посвященных исследованию температурного состояния при обработке отверстий, известны работы Баранова А.В. [8], Юдковского П.А. [9], Грановского Г.Ю. [10], Малышко И.А. [11], Татьянченко А.Г. [12].

Анализ специальной литературы показывает, что в последние годы большое внимание зарубежных и отечественных специалистов уделялось возможности прогнозирования процессов резания для различных видов механической обработки (точения, сверления, шлифования и др.). В связи с этим обобщение и создание универсальной модели, которая позволила бы прогнозировать область режимов устойчивого процесса резания, является актуальной задачей.

Мазуром Н.П. [13], Кушнером В.С. [14] и их учениками были разработаны аналитические модели процессов резания пластичных материалов с учетом температурных и скоростных факторов. Наиболее перспективным на современном этапе развития науки о резании является моделирование процессов резания с использованием численных методов, в частности метода конечных элементов, основными преимуществами которого являются универсальность, информативность, наглядность. Так, например, Криворучко Д.В. [15] на основании обобщенного опыта была предложена комплексная термомеханическая модель процессов резания, реализованная методом конечных элементов, воплощенного в программный комплекс LS-DYNA.

### **3. Постановка задачи**

Поэтому целью данной работы является изучение физических основ тепловых процессов и поиск путей управления ими применительно к отверстиям, для которых особенно важно изучение физической структуры тепломеханических процессов.

### **4. Основное содержание**

Теплофизическая задача при обработке отверстий сводится к расчету температурного поля в детали, нагреваемой местным источником, перемещающимся по поверхности отверстия. Анализ специальной литературы показал, что существуют три группы методов решения тепловых задач (табл.1):

1. Аналитические (классические). Базируются на математических методах крайних задач, обычно сложных и трудоемких, часто ограниченных достаточно простыми геометрическими формами тел.

1.1. Метод непосредственного интегрирования дифференциального уравнения теплопроводности, при котором решение выполняют одним из известных способов, например, разделением переменных. Сложность, а иногда и невозможность непосредственного интегрирования дифференциального уравнения теплопроводности при соответствующих условиях однозначности приводит к тому, что этот метод в теплофизике применяется сравнительно редко, главным образом для простых одномерных задач.

1.2. Метод интегральных преобразований (операционный) – частный случай метода Лапласа, согласно которому отыскивается не сама интересующая нас функция, так называемый оригинал, а ее видоизмененное изображение, что облегчает интегрирование дифференциального уравнения. Наибольшая трудность в решении этим методом



состоит в нахождении оригинала по полученному изображению, что не всегда удается сделать. Имеет преимущества только при условии равномерного начального распределения температуры.

1.3. Метод источников. Физическая сущность метода источников состоит в том, что любой процесс распространения теплоты в теле можно представить как совокупность процессов выравнивая температур от множества мгновенных элементарных источников теплоты, распределенных как в пространстве, так и во времени. Решение задач теплопроводности сводится к правильному выбору источников теплоты и их распределению.

Таблица 1. Методы решения дифференциального уравнения теплопроводности

	Преимущества	Недостатки
1	2	3
1. Аналитические методы:		
1.1. Метод Фурье	Возможность получения аналитического решения в неоднородных средах	Неэффективен для задач с внутренними источниками тепла, технически неудобен для двух- и трехмерных задач. Неприменим для неоднородного уравнения теплопроводности и неоднородных граничных условий. Используется для тел простой формы
1.2. Метод интегральных преобразований	Дает стандартную методику, применяемую ко всем задачам одинаковым образом; применим ко всем граничным условиям и не зависит от последних, что устраняет необходимость разработки новой теории для каждого типа граничных условий.	Применим только к крайним задачам для тел полуограниченной протяженности. Трудности при решении многомерных задач и, когда начальные условия заданы в виде функции пространственных координат
1.3. Метод источников	Позволяет описывать тепловые явления в различных системах. Позволяет учитывать геометрию, но не сложную. Можно сравнительно просто написать интеграл, удовлетворяющий дифференциальному уравнению теплопроводности и условиям однозначности	Неустановившиеся процессы сложно моделировать
2. Численные методы:		
2.1. Метод конечных разностей	Повторяемость простых операций	Физические параметры тела принимаются постоянными

1	2	3
2.2. Метод конечных элементов	Возможность разбиения твердого тела на элементы различной конфигурации. Возможность сравнения условий моделирования и естественного рабочего процесса	Сложность получения априорных оценок. Является приближенным методом, в котором численные погрешности прогнозирования существенно влияют на результат прогнозирования
3. Методы математического моделирования:		
3.1. Физическое моделирование (метод подобия)	Дает общий метод непосредственного преобразования выражений, содержащих дифференциальные операторы, к простейшим алгебраическим выражениям	Для нахождения критериев подобия следует проводить специальный анализ
3.2. Математическое моделирование (метод электротепловой аналогии)	Возможность моделирования стационарных процессов; имитации переноса теплоты движущимися источниками	Сложности при рассмотрении нестационарных или трехмерных задач теплопроводности – усложняется конструкция модели

2. Численные методы. Используют, когда применение аналитических методов нецелесообразно. Позволяют решать стационарные и нестационарные задачи в декартовой, полярной системе координат.

2.1. Метод конечных разностей или метод сеток.

2.2. Метод конечных элементов.

3. Методы математического моделирования (экспериментальные). Позволяют изучать теплообмен в реальном твердом теле на основе физического явления, имеющего с процессом распространения теплоты формально аналогичное математическое описание.

Так как аналитическое решение тепловой задачи ставит целью получения общего решения, то оно получается очень сложным и оказывается возможным лишь для твердого тела простой формы (пластина, цилиндр, шар) и при целом ряде упрощающих предположений. Для двух- и трехмерных задач аналитические методы технически менее удобны, так как возникает сложность, а иногда и невозможность непосредственного интегрирования дифференциального уравнения теплопроводности при условиях однозначности, соответствующих тепловым процессам в технологических системах. В случае, когда тепловая задача не поддается аналитическому решению, единственной возможностью ее теоретического анализа является компьютерное моделирование с использованием численных методов, позволивших расширить круг задач, доступных анализу. При компьютерном моделировании отсутствуют трудности, связанные с очень малыми или большими размерами исследуемых объектов, очень высокими или низкими температурами; численное решение можно получить для реальных условий исследуемого процесса, что далеко не всегда возможно при экспериментальных исследованиях.

Численные методы, такие как метод конечных элементов, воплощенные в универсальные программные комплексы, например, ANSYS, LS-DYNA, становятся незаменимым инструментом исследований и одной из составных частей системы ком-

плексного моделирования.

### **5. Выводы и направление дальнейших исследований**

Анализ современного состояния методов исследования тепловых процессов при механической обработке резанием показал:

- существующие эффективные методы аналитических исследований тепловых процессов при механической обработке резанием адаптированы применительно к декартовой системе координат, которая не позволяет учитывать особенности обработки осесимметричных поверхностей;
- существующие аналитические методы направлены на исследование установившихся стационарных процессов и не учитывают особенности тепловыделения при врезании и выходе инструмента, характеризующихся неустановившемся теплообменом;
- достаточно достоверные данные для тепловых процессов в деталях сложной формы со сложными граничными условиями можно получить только при помощи полномасштабного физического моделирования с использованием стандартных численных методов расчета, таких как метод конечных элементов.

Наиболее перспективными, с учетом вышеизложенного, являются следующие направления развития методов исследования тепловых процессов при механической обработке отверстий:

- 1) развитие аналитических методов в цилиндрической системе координат;
- 2) развитие методов исследования неустановившегося теплообмена в цилиндрической системе координат;
- 3) развитие комплексной термомеханической модели при обработке отверстий.

**Список литературы:** 1. Г.Карслоу, Д.Егер. Теплопроводность твердых тел. М.: Издательство «Наука», 1964. 2. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи – М.: Мир, 1983. – 512 с. 3. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с. 4. Силин С.С. Метод подобия при резании металлов. – М.: Машиностроение, 1979. – 152с. 5. Ефремов В.Д., Ящерицын П.И. Технологическое обеспечение качества рабочих кромок инструмента и деталей. – Мн.: БАТУ, 1997. – 251 с. 6. Якимов А.В. и др. Теплофизика механической обработки: Учеб. пособие/А.В.Якимов, П.Т.Слободяник, А.В.Усов. - К.; Одесса: Лыбидь, 1991. – 240 с. 7. А.М.Тихонцов, С.И.Чухно, А.Н. Коробочка. Тепловые процессы при механической обработке материалов резанием: Учебник: - К.: НМК ВО, 1992. – 288 с. 8. Баранов А.В. Обеспечение высокоэффективной обработки отверстий // Вестник машиностроения. – 2008. - №7. – с. 42-45. 9. Юдковский П.А., Крючков Н.К., Шевель А.П. Повышение качества спиральных сверл. – Челябинск: Южно-уральское книжное издательство, 1970. – 112с. 10. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. – М.: Высш.шк., 1985. – 304 с. 11. Малышко И.А. Основы теории проектирования осевых комбинированных инструментов: Автореф. дис... докт. техн. наук. / К., КПИ, 1995. – 36с. 12. Татьянченко А.Г. Теоретические основы прогнозирования термоупругих деформаций осевого инструмента и детали и их влияние на точность обработки отверстий. Автореф. дис. докт. техн. наук./ Д., ДонНТУ, 2006. – 36 с. 13. Мазур М.П., Мілько В.В., Герасимчук О.Ф. Розробка прискореного методу визначення оброблюваності матеріалів різанням на базі методу А.С. Кондратова. // Труды Одесского политехнического университета. – 2004. – вып.2 (22). – с.1-4. 14. Кушнер В.С. Термомеханика резания и обрабатываемость пластичных материалов при тчении: Автореф. дис. докт. техн. наук. /Тбилиси, ГПИ, 1986. – 31 с. 15. Криворучко Д.В. Основи прогноуючого моделювання процесів різання методом скінчених елементів: Автореф. дис. докт. техн. наук./Харків, НТУ «ХП», 2010. – 36 с.

## ВЛИЯНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ НА РАЗВИТИЕ СТРАНЫ

*Масюк Л.Н., Гаркавый Е.Я.*

*Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина*

*Тел. +38 (062)301-08-92 E-mail: [quality@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:quality@mech.dgtu.donetsk.ua)*

**Abstract:** *In industrialized countries, the government and the company to support innovation expend significant resources, which are then repaid many times. Innovations are once helped to overcome the backwardness of Japan, South Korea, to become rich and developed countries.*

**Keywords:** *innovation, intellectual property, development, evaluation, progress*

И после 20-ти лет независимости Украина все еще не вошла в разряд развитых в экономическом отношении стран, а лишь вступает в современную индустриальную эру, в то время как США, страны Западной Европы и Юго-Восточной Азии уже живут в постиндустриальном мире. Лауреат Нобелевской премии, американский экономист Джозеф Стиглиц одной из причин неравномерности экономического развития и увеличения разрыва между бедными и богатыми странами называет неправильную политику для развивающихся стран трех главных институтов: МВФ, МБ и ВТО. Вследствие этого на Западе возникла теория «20-80», что означает, что на 20 процентов богатых приходится 80 процентов бедных. Относительно России это соотношение составляет «10-90», а для Украины оно имеет еще больший разрыв: примерно «7-93». Наиболее дифференцированной в этом отношении является Швейцария, где состояние 3% населения страны равняется накоплением всех остальных 97% жителей. Об этом говорится в исследовании, подготовленном сотрудниками Базельского университета под руководством профессора Ули Мадера. Причиной такого расслоения является то, что из тысячи миллиардеров около сотни прописаны на территории Швейцарии, вследствие этого в Швейцарии, где проживает одна тысячная населения Земли, сосредоточено 1,1 % мирового частного капитала.

В цивилизованных странах сегодня каждый процент роста ВВП происходит за счет внедрения новых прогрессивных технологий, разработок и материалов. На эти цели США выделяют 3% от ВВП, Япония – еще больше. Если выделять менее 2% на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки, научно-технический потенциал страны заметно снижается и страна переходит в разряд экономически отсталых. Украину к этому подталкивает и недостаточное финансирование сферы образования. Из заложенных в бюджет шести процентов от ВВП на образование в начале 90-х годов выделялось два процента. Такая ситуация наблюдается и в настоящее время. Возможно даже, что по этой причине среди лауреатов Нобелевской премии нет ни одного гражданина современной Украины, а за последнее двадцатилетие в нашей стране не сделано ни одного значимого научного открытия. Об уменьшении новых фундаментальных открытий, что может привести к наступлению технологического кризиса, говорит лауреат Нобелевской премии 2010 г. по физике Андрей Гейм – первооткрыватель графена. По его мнению без новых знаний возможно возникновение только производных технологий, которые не способны поддерживать уровень экономического роста, наступившего с индустриальной революцией. Гейм считает, что технологическим прогрессом на протяжении 40 лет мир был обязан холодной войне между СССР и США, которая заставляла инвестировать в фундаментальные исследования. Предстояли колоссальные расчеты по термоядерным программам, и пока в Штатах ждали новые быстродействующие ЭВМ, в Союзе поступили проще: мобилизовали все математические институты и отделы Академии наук. В результате к 1950 году СССР стал мировым лидером по числу математиков. По словам Гейма, развитие таких отвлеченных дисциплин, как математика и квантовая

физика, принесли технологические плоды в виде компьютеров, лазеров, мобильных телефонов и интернета. Сейчас же наблюдается сворачивание исследовательских программ. Поэтому для ускорения развития экономики своей страны и для ее устойчивого роста необходимо решить проблему энергоэффективности. В Украине на это направлен указ Президента № 895/2010 от 8 сентября 2010 г., в котором определены четыре приоритетных направления социально-экономического и культурного развития, поддержанные Комитетом по экономическим реформам. Первое направление, названное «Новая энергия», предусматривает разработку проектов по использованию альтернативных источников энергии или диверсификации поставок энергоносителей в Украину. Ранее это утверждалось и Приказом МОН № 1066/609 от 26.11.2009 г., где определены основные научные направления и важнейшие проблемы фундаментальных исследований в отрасли природных, технических и гуманитарных наук на 2009-2013 гг., к которым отнесены энергоэффективность и энергосбережение. Для уменьшения потребления газа в Донбассе прорабатывается идея использования водоугольного топлива, по характеристикам напоминающего мазут, но в четыре раза дешевле его и в три раза дешевле газа. Использование такого топлива нашло применение в таких развитых странах как США и Финляндия.

А пока в Украине в год сжигается около 1 млн. т условного топлива преимущественно в виде древесного топлива для отопления частных домов и предприятий деревообрабатывающей отрасли. Подсчитано, что 45 млн. т всего урожая зерна дает столько же тонн соломы. 90% соломы можно использовать в качестве альтернативы 10 млрд. кубометров газа. Вот только отработка технологии использования подобных отходов сельскохозяйственного производства – проблема не одного года.

Неиссякаемым источником энергии на многие годы вперед является энергия Солнца, которую в Украине используют около 1%. Если бы в мире использовалось 10% энергии Солнца, то можно было бы отказаться от угля, нефти, газа и атомной энергии. По прогнозам Программы развития ООН доля альтернативных и возобновляемых источников энергии в мировом балансе потребления топливно-энергетических ресурсов до 2050 г. достигнет 27-54%.

Украина имеет значительный ветровой потенциал, сравнимый с потенциалом Германии, Испании и других стран. Технически возможным является использование до 19% годового объема энергии ветра, которая обеспечит выработку электроэнергии объемом до 30 млрд. кВт·ч, что составляет около 16,5% от общей выработки энергии. Производство электроэнергии в промышленных масштабах наиболее эффективно в Одесской, Запорожской, Донецкой, Луганской, Николаевской областях, в районе Карпат и АР Крым. На территории Донбасса действует крупнейшая ветростанция в Украине – Новоазовская ВЭС в районе села Безыменного, которая была введена в эксплуатацию в 1998 году согласно «Комплексной программе строительства ветроэлектростанций в Украине до 2010 г.». И хотя электроэнергия, производимая с использованием возобновляемых источников энергии, реализуется по так называемому «зеленому тарифу», который дороже тарифа теплоэнергетики или атомного тарифа как минимум на 50%, планируется развивать эту отрасль согласно «Программе энергоэффективности Донецкой области до 2015 года» и уменьшить энергоемкость выпускаемой промышленной продукции на 20%. Обещающим выглядит внедрение безопасного ветрогенератора, проект которого представила тунисская фирма Saphon Energy. Данный ветрогенератор имеет низкий уровень шума, так как не имеет лопастей и не представляет опасности для птиц. Разработанное устройство похоже на спутниковую антенну, экран которой при порывах ветра совершает возвратно-поступательное движение, создавая давление в гидравлической системе. Гидравлическую энергию можно накапливать в гидроаккумуляторах или сразу преобразовывать в электрическую энергию. Предварительные расчеты показывают удвоение КПД по сравнению с обычными ветрогенераторами, а стоимость на 45% ниже.

Отдаленной перспективой для развития страны может являться открытие известного

генетика Крэйга Вентера. Он с сотрудниками на глубине мили под землей обнаружил древние бактерии, которые способны перерабатывать каменный уголь в метан. Свои заявления Вентер озвучил на саммите по вопросам научных исследований и инноваций в Калифорнии. По утверждению ученого, он собрал десятки тысяч новых генов, анализируя ДНК уникальных микроорганизмов, которые находились в изоляции около сотни миллионов лет. Если идею Вентера удастся реализовать, то выбросы парниковых газов резко сократятся. К естественному, но экстравагантному источнику энергии можно отнести обнаруженный в джунглях микроскопический грибок, паразитирующий на деревьях и производящий для защиты от конкурентов смесь их углеводов, низкомолекулярных спиртов и эфиров. Это практически готовое биогорючее для двигателей внутреннего сгорания. Если выращивать грибок в биореакторах на целлюлозе (отходах сельского хозяйства, деревообрабатывающей и бумажной промышленности), горючее удастся получать в больших масштабах. Возможно, что, используя методы генной инженерии, биологи смогут еще увеличить выход топлива. Предлагаемый путь решения энергетической проблемы при помощи микробов и грибков больше напоминает фантастику, к которой в свое время относили и использование атомной энергии от открытия радиоактивности до построения атомных станций. И хотя разведанные запасы урановой руды в Украине имеются в количестве 131 тыс. тонн, необходимо еще получить обогащенный уран и иметь тепловыделяющие элементы – ТВЭЛы. За годы независимости из-за недостаточного финансирования система подготовки кадров для атомной энергетики и для других наукоемких производств и технологий оказалась существенно подорванной. Поэтому надеждам на возрождение атомной энергетики в ближайшие годы вряд ли суждено сбыться.

Наиболее часто предлагается уйти от энергозависимости, заменив природный газ углем. Но для этого надо модернизировать или заменить газовые котельные, топки тепловых электростанций и металлургические печи, что требует больших вложений. Кроме этого, украинский уголь имеет высокую себестоимость, а по числу смертей на миллион тонн добытого угля Украина вышла на первое место в мире. Рассматривается путь газификации угля с получением генераторного газа, который после очистки можно сжигать в газовых турбинах и получать электроэнергию или тепло. К сожалению, такая технология в Украине на сегодня не используется, хотя применяется в Японии и в России. Ряд стран, где имеются большие запасы ископаемых углей, помимо их газификации переходят на получение синтетического жидкого топлива (СЖТ). В 70-е годы в США был построен ряд пилотных заводов по производству СЖТ. Сейчас эта проблема вновь обрела актуальность и подобные заводы действуют также в Китае и в ЮАР, а в Индии, Индонезии, Австралии, Монголии и Малайзии планируется их строительство. В Украине получение СЖТ переходит из стадии лабораторных опытов в стадию практической реализации. Сейчас в мире производится более 30 млн тонн СЖТ в год, где основным сырьем является газ. Для производства одной тонны СЖТ из угля последнего требуется от 3 до 5 тонн. На строительство завода мощностью 1 млн тонн топлива в год необходимо 1,5-2 миллиарда долларов. Огромные затраты потребуются на охрану окружающей среды, так как производство СЖТ требует большого количества воды. Проблемы с очисткой отработанной воды и с выбросами в атмосферу являются дорогостоящим мероприятием уже на стадии проектирования.

Альтернативные источники энергии и атомная энергетика являются прогрессивными, но уже не инновационными способами решения энергетической проблемы. На первые роли выходят такие возобновляемые виды энергии, как тепловая труба и тепловой насос. Типичный тепловой насос на 1 кВт затрачиваемой электроэнергии выдает 3-4 кВт тепловой энергии. В Украине они пока очень слабо применяются, а, например, Швеция на 50% обеспечивает потребности в отоплении тепловыми насосами за счет отбора тепла Балтийского моря. Мировой объем продаж тепловых насосов составляет 125 млрд. долларов. США в год выпускает 1 млн. тепловых насосов, Япония – в 3 раза

больше. Специалисты прогнозируют, что к 2020 году общемировые потребности в теплообеспечении на 75% будут покрываться за счет тепловых насосов.

В последнее время мощное развитие получает водородная энергетика. Все ведущие автокомпании начали выпускать автомобили на водородном топливе, полученном из воды. Уникальную по своим характеристикам электростанцию ввела в эксплуатацию крупнейшая итальянская энергетическая компания Enel. Установка мощностью 12 МВт, не имеющая пока аналога в мире, работает на водороде, поставляемом местным нефтехимическим заводом, расположенным в промышленном пригороде Венеции. Указанной мощности достаточно для удовлетворения нужд 20 тыс. семей, а объемы выбросов углекислого газа уменьшились на 17 тыс. тонн в год.

Уменьшить стоимостный бензиновый пресс в отдаленном будущем возможно будет с помощью изобретения американских ученых из Массачусетского Технологического института Джербранда Сидера и Канга Бьенву. Они сумели так изменить обычные литий-железофосфатные аккумуляторы, что скорость перемещения катионов лития в них стала почти в 100 раз выше. Если такой аккумулятор подсоединить к сети, то электроны почти моментально становятся на отведенные им места в кристаллической решетке и резко уменьшается продолжительность полной зарядки такого аккумулятора. Это изобретение ученых имеет все шансы стать началом новой промышленной революции при применении такого аккумулятора на автомобилях и замены их на экологически чистые электромобили. Исследователи из Иллинойского университета создали растягивающуюся литий-ионную батарею, которую можно будет использовать в будущем в гибких портативных электронных устройствах. Батарею можно растягивать в три раза больше без потери ее свойств.

Активно использует альтернативные источники энергии и Финляндия, получая четвертую часть от всей используемой энергии за счет возобновляемых источников. В результате этого Финляндия стала страной высокой экологической культуры, где более десяти электростанций вырабатывают электроэнергию из отходов. Использование возобновляемых источников энергии не облагается налогом. Коммерческим компаниям предлагают 50-процентное финансирование научных исследований и разработок через национальное агентство Финляндии по развитию технологий. По многим решениям в производстве энергии, таким как биоэнергия и комбинированное производство электроэнергии и тепла, Финляндия находится на первом месте в мире.

В настоящее время проблема фундаментальных и прикладных научных исследований оказалась в том, что в странах СНГ государство и общество, в основном, перешли на рыночные отношения, а структура институтов осталась прежней – советской. Институты были обязаны раньше по планам правительства вводить в экономику свои разработки, а сейчас эта вертикаль управления исчезла. Научные институты остались государственными, и передавать свои наработки частным структурам законодательством не предусмотрено. В СССР существовал Госкомитет по науке и технике, который занимал приоритетное положение по сравнению с остальными министерствами. Американцы подобную вертикаль управления создали у себя, а в нашем государстве потеряна система приоритета науки и образования. В основном, этому способствовало сокращение статей бюджета Украины в отношении науки и образования.

Тем не менее, вузам и НИИ Украины выдается немало патентов. Следует понимать, что если не будет внедрений, то разработки будут положены «под сукно». Без государственной поддержки изобретателю трудно внедрять свои патенты и исследования. Сейчас, в основном, идет только регистрация патентов. Ученый должен сам их патентовать на европейском и международном уровне. Фактически разрыв увеличился от изобретения до его внедрения. Положение можно спасти инновациями. Лучше, если бы это делало государство, неплохо, если бы этим занялся бизнес. Пока же у нас такие цепочки очень слабые. В России, например, создана система по внедрению инноваций. Для этого разработана комплексная программа развития инновационных внедрений, а

Комитет по науке и технике отслеживает их внедрение. Российские ученые надеются, что это будет прообраз будущего. В эту систему можно отнести и принятый в России закон об открытии малых предприятий при институтах, вузах. То есть можно законно отчуждать наработки интеллектуальной собственности частному сектору развития экономики. В Украине эти функции могут взять на себя редкие технопарки и технополисы.

В индустриально развитых странах и правительства, и фирмы для поддержки инновационной деятельности расходуют значительные средства, которые затем многократно окупаются. Именно инновации в свое время помогли преодолеть отсталость Японии, Южной Кореи стать богатыми и развитыми государствами. В Японии механизм поощрения и реализации инноваций и рационализаторства был так хорошо продуман, что страну охватил бум творчества. Правительству пришлось даже принять законы, запрещающие специалистам задерживаться на работе, чтобы не рушились семейные отношения в больших масштабах. В США на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки выделяется одна треть средств из бюджета, а две трети покрывает частный капитал. Из-за очень низкого финансирования в Украине инновационную направленность имела лишь восьмая часть всех работ. Обнадеживающим фактом является подписание соглашения об инвестициях в Украину Северной эколого-финансовой корпорацией NEFCO, созданной правительствами Дании, Финляндии, Исландии, Норвегии и Швеции для улучшения состояния окружающей среды и подписанный долгосрочный меморандум о сотрудничестве до 2020 года с российско-британской структурой, по которому последняя готова вложить 1,5 млрд. долларов в добычу природного газа на территории Донбасса до 5 млрд. куб.м, что составит четвертую часть годового объема добычи газа в Украине.

Меткое выражение Д.И.Менделеева: «Наука начинается тогда, когда начинают измерять», - дополнил выдающийся теоретик и практик управленческого консалтинга XX столетия Питер Друкер: « Можно управлять только тем, что можно измерить». Используя эту направленность, в Киеве был представлен рейтинг энергоэффективности регионов Ukraine Energy Index Аналитическим центром «Бюро экономических и социальных технологий». Главной заслугой рейтинга является то, что он позволяет измерять эффективность конечного потребления энергоресурсов в 26 регионах Украины за 2007-2010 гг. За основу была взята методология анализа энергоэффективности, рассчитанная Международным энергетическим агенством, а эталоном послужило среднее энергопотребление по отраслям в Евросоюзе. Первые три места в рейтинге UEI-2012 заняли Винницкая, Херсонская и Закарпатская области, где практически отсутствуют энергоемкие отрасли, и поэтому их энергоэффективность составила от 62% до 65%. Наибольшими потребителями энергоресурсов являются промышленность и сектор ЖКХ: 58% и 29% соответственно. По мнению специалистов, если бы Украина по эффективности потребления энергии приблизилась к европейскому уровню, то можно сэкономить около 34 млрд. кубометров природного газа.

И в заключение можно привести изобретение швейцарских специалистов из Высшей технической школы в Цюрихе, разработавших для уменьшения энергопотребления в секторе ЖКХ материал, который обеспечивает охлаждение зданий без использования энергии. Плиты из такого материала рекомендуются устанавливать на крыше. Во время дождя они будут впитывать влагу, а на солнце испарять ее, тем самым избавляясь от лишнего тепла.

**Список литературы:** 1. Указ Президента Украины № 895/2010. 2. Приказ МОН Украины об основных научных направлениях на 2009-2013 гг. 3. Крэйг Вентер. Саммит по вопросам научных исследований и инноваций. Калифорния, 2009 г. 4. Материалы главного управления статистики в Донецкой области. 5. Держкомстат України [Электронный ресурс] [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua). 6. Рейтинг UEI – 2012: <http://energy-index.com.ua>. 7. Джозеф Стиглиц. Мир на пороге хаоса, 2011 г. 8. [www.kp.ru/daily/26.033.5](http://www.kp.ru/daily/26.033.5) 9. [www.blagoda.com/intellect/311.html](http://www.blagoda.com/intellect/311.html)



## ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ДЕТОНАЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ

Михайлов А.Н., Головятинская В.В., Петров А.М., Петров М.Г.

ДонНТУ, ДГАУ, филиал кафедры ТМ ДонНТУ, г. Донецк,

г. Днепрпетровск, г. Луганск, Украина

Тел./факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

**Abstract:** methodology of constructing of function-oriented detonation coatings is considered, these coatings are an evolutionary development of ways of detonation laying of multilayer and function-gradient coatings. The methodology is based upon usage of composite methods of ordinary and modular components concordance of specific technological process of coatings laying and treatment, also of coatings maintenance factors.

**Key words:** detonation coatings, powder material, properties, structure, synthesis, polymeric amide.

Использование технологических способов нанесения покрытий деталей обусловлено факторами целесообразности и необходимости улучшения эксплуатационных характеристик машин и оборудования [1-6]. Одним из способов нанесения покрытий, имеющим широкий спектр материаловедческий возможностей, является детонационное нанесение покрытий (ДНП), основанное на импульсном нагреве и разгоне частиц напыляемого порошкового материала высокоскоростным и высокотемпературным потоком продуктов детонации.

Общий вид камерного оборудования ДНП, спроектированного и изготовленного на кафедре "Технология машиностроения" ДонНТУ, показан на рис. 1.



Рис. 1. Камерное оборудование ДНП

Технологические возможности ДНП позволяют напылять металлические, керамические и полимерные порошковые материалы и их композиционные составы с толщиной покрытий от 100 мкм до нескольких сантиметров для получения износостойких, фрикционных, теплопроводных, химстойких, термостойких и других покрытий специального назначения [7-11].

Площадь нанесения покрытий ограничивается техническими возможностями манипулятора для крепления деталей и конструктивными особенностями поверхности самой детали. Покрытия из напыляемого порошкового материала наносятся на широкий спектр конструкционных материалов, включая, металлы, керамику, стекло, гранит, ткани, бумагу и полимеры (рис. 2).

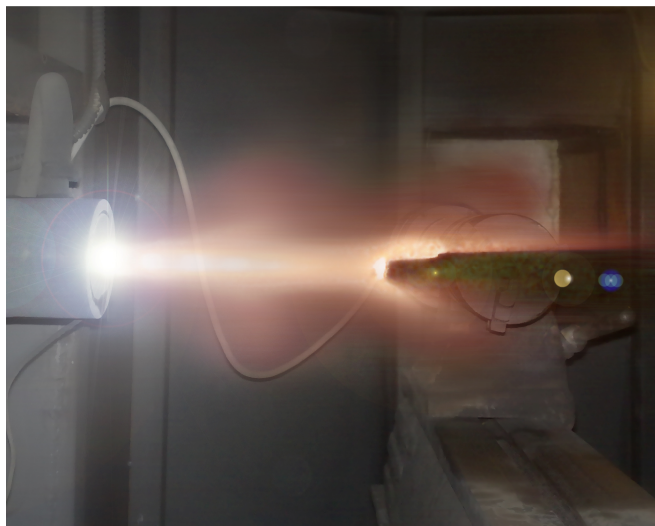


Рис. 2. Процесс напыления порошкового материала на установке ДНП

покрытий путем сочетания физико-механических свойств исходных порошковых материалов, формирующих каждый из структурных элементов покрытия, возможно обеспечение повышения качества покрытия за счет повышения прочности сцепления покрытия с подложкой детали (адгезии) и структурной прочности самого покрытия (когезии).

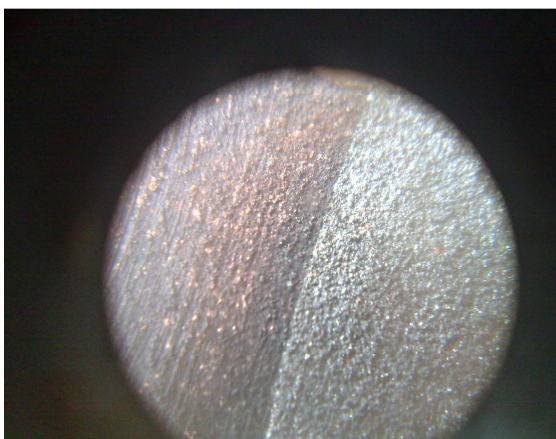


Рис. 3. Поперечный срез образца с послойным формированием структуры покрытия ( $\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ )

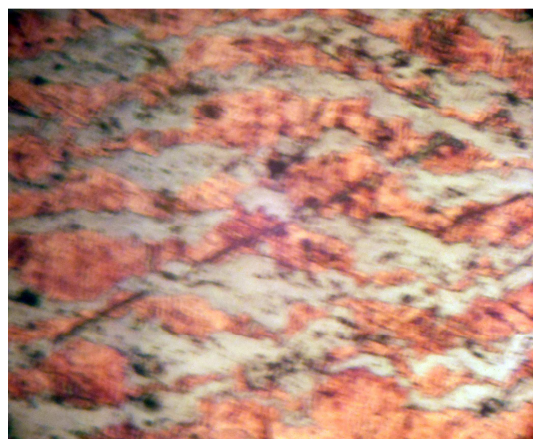


Рис. 4. Поперечный срез образца с послойным формированием структуры покрытия ( $\text{Cu} + \text{Ni}$ )

При детонационном нанесении покрытий используется технологический способ нанесения функционально-градиентных покрытий, формирующий структуру покрытия на основе последовательного изменения состава напыляемого порошкового материала в заданной серии единичных выстрелов [11]. Технологическая задача нанесения функционально-градиентных покрытий – обеспечение управляемого изменения физико-механических свойств покрытия от подложки детали к поверхности покрытия. Например, нижний слой покрытия обеспечивает прочность сцепления покрытия с подложкой детали, а верхний слой покрытия – химстойкость или износостойкость.

Программное управление единичными циклами процесса ДНП дает возможность разработки и использования совокупности разнообразных технологических способов и приемов напыления порошкового материала. Например, широко используется технологический способ послойного нанесения покрытий, обеспечивающий формирование структуры покрытия на основе переменного изменения состава напыляемого порошкового материала в каждом единичном цикле или их серии (рис. 3-4).

При послойном нанесении

Моделирование свойств детонационных покрытий (рис. 5), апробирование композиционных составов напыляемых материалов и изучение физико-механических свойств покрытий, изучение и оптимизация соотношений структура – свойства на основе количественной идентификации структуры покрытий (рис. 6-8), обеспечили возможность прогнозирования и конструирования функционально-ориентированных детонационных покрытий, являющихся эволюционным развитием способов детонационного нанесения многослойных и функционально-градиентных покрытий [12-17].

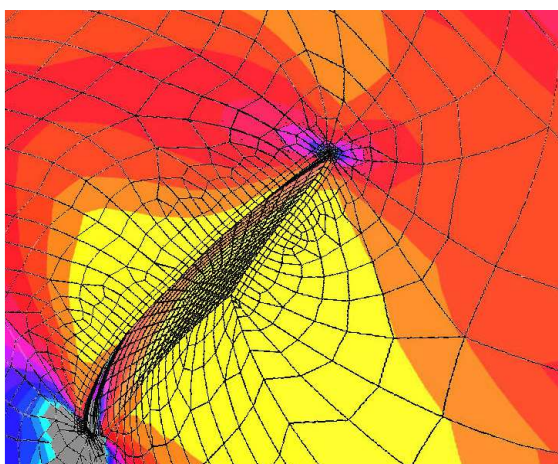


Рис. 5. Моделирование микротрещины в покрытии при деформации в программном комплексе QFORM.

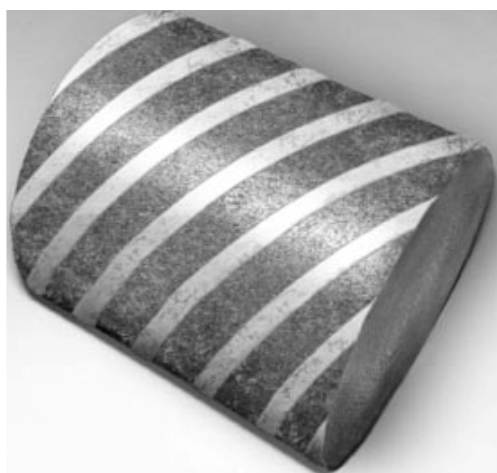


Рис. 6. Внешний вид образца шейки коленчатого вала с функционально-ориентированным покрытием

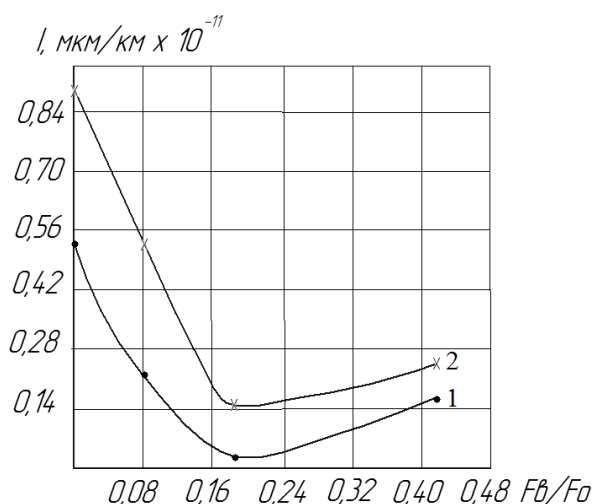


Рис. 7. Износ в зависимости от соотношения площадей мягкого и твердого слоев при угле  $60^\circ$ : 1 – покрытия; 2 – вкладыша

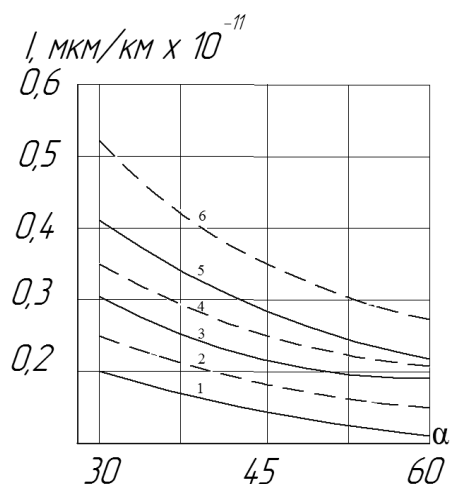


Рис. 8. Влияние угла наклона слоев на износостойкость при  $F_b/F_a$ : 1, 2 – 0,08; 3, 4 – 0,43; 5, 6 – 0,18; сплошной линией – покрытия, пунктиром – вкладыша

Система принципов и методов построения структуры функционально-ориентированных покрытий основана на использовании композиционных приемов



согласования единичных и модульных составляющих конкретного технологического процесса нанесения и обработки покрытия, а также условий его эксплуатации.

Алгоритмы проектирования оборудования и исследовательские принципы при разработке функционально-ориентированных покрытий базируются на генерировании теоретических и использовании практических инструментов функционально-ориентированного синтеза элементов комплексной реализации конструкторско-технологического процесса, основанной на итерационных методах и рекуррентных последовательностях.

При нанесении функционально-ориентированных детонационных покрытий в качестве базовых составляющих технологического процесса могут использоваться способы нанесения многослойных и функционально-градиентных детонационных покрытий. Основным отличием функционально-ориентированных покрытий является нанесение пространственно согласованных локальных участков из однородных или различных по химическому составу порошковых материалов, отличающихся по своим физико-механическим свойствам, на поверхность напыляемой детали. Путем детонационного нанесения локальных участков на поверхность детали из порошковых материалов различных по химическому составу (рис. 6). можно оптимизировать и обеспечивать повышение эксплуатационных свойств этой детали (рис. 7-8). Возможно и нанесение локальных участков из однородных по химическому составу порошковых материалов, но различающихся по фракционному размеру частицами, для формирования локальных участков покрытия с различными коэффициентами пористости. Например, последующее технологическое насыщения пористых локальных участков покрытия полимерными материалами снижает коэффициент трения поверхности детали при условии сохранения прочностных характеристик покрытия в целом.

Для обеспечения конкретной формы локальных участков покрытия в процессе нанесения функционально-ориентированных детонационных покрытий возможно использование фигурных экранов, исполнение которых согласовывается с формой напыляемой поверхности детали – плоской, цилиндрической, сферической и т.п. (рис. 9) [9].

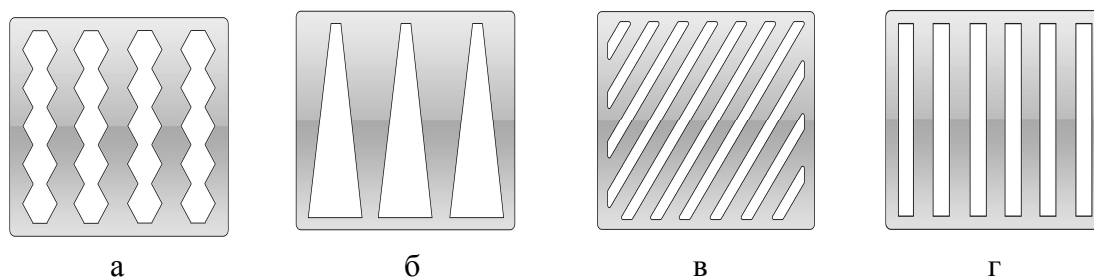


Рис. 9. Экраны для формирования ориентированно расположенных участков покрытия

## Выводы

1. Конструирование и использование функционально-ориентированных детонационных покрытий имеет серьезные технологические и материаловедческие перспективы, которые должны основываться на изучении их свойств, развитии методов и способов теоретических, экспериментальных и аналитических исследований составляющих процесса их нанесения.

2. Совокупность технологических приемов нанесения функционально-ориентированных детонационных покрытий целесообразно технологически совмещать с последующими методами обработки покрытий, например, формирование пористых локальных участков покрытия можно использовать для последующего насыщения (пропитки) этих участков полимерами в целях повышения триботехнических свойств покрытия.

**Список литературы:** 1. Елизаветин М.А., Сатель Э.А. Технологические способы повышения долговечности машин. – М.: Машиностроение, 1969. – 400 с. 2. Никитин М.Д. Теплозащитные и износостойкие покрытия деталей дизеля./ М.Д. Никитин, А.Я. Кулик, Н.И. Захаров. – Л.: Машиностроение, 1977. – 166 с. 3. Металлопокрытия в автомобилестроении: Справочное пособие / Н.А. Макарова, М.А. Лебедева, В.Н. Набокова – М.: Машиностроение, 1977. – 296 с. 4. Защита техники от коррозии, старения и биоповреждений: Справочник / Р.А. Игнатьев, А.А. Михайлова – М.: Россельхозиздат, 1987. – 346 с. 5. Гибкие автоматизированные гальванические линии: Справочник / В.Л. Зубченко, В.И. Захаров, В.М. Рогов и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с. 6. Качество машин: Справочник. В 2-х т. Т.1 / А.Г. Суслов, Э.Д. Браун, Н.А. Виткевич и др. – М.: Машиностроение, 1995. – 256 с.; Т.2 / А.Г. Суслов, Ю.В. Гуляев, А.М. Дальский и др. – М.: Машиностроение, 1995. – 430 с. 7. Бартенев С.С. Детонационные покрытия в машиностроении / С.С. Бартенев, Ю.П. Федько, А.И. Григоров. – Л.: Машиностроение, 1982. – 216 с. 8. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с. 9. Буря А.И. Некоторые аспекты разработки установки и технологии для детонационно-газового нанесения покрытий из композиционных порошков, содержащих полимеры / А.И. Буря., А.М. Петров, А.А. Назаренко, М.Г. Петров // Композитные материалы: Международный научно-технический сборник – Днепропетровск: ДГАУ, 2010. Т.4, № 1. – С. 24–33. 10. Зверев А.И. Детонационное напыление покрытий / А.И. Зверев, Е.А. Шаривкер, Е.А. Астахов. – Л.: Судостроение, 1979. – 232 с. 11. Пат. США № 4751099. Способ получения функционально-градиентных покрытий, – 24 декабря 1986. 12. А.с. СССР № 1415539, МПК В 05 В 7/20. Устройство для напыления покрытий / М.Г. Петров, Н.В. Богушева, А.А. Мазеин, А.И. Антонов – Зарегистр. в Гос. реестре изобретений СССР 08.04.88. 13. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с. 14. Буря А.И. Использование технологических приемов детонационно-газового напыления порошка для улучшения триботехнических и физико-механических свойств наносимых покрытий / А.И. Буря, А.М. Петров, М.Г. Петров // Труды 8-го международного симпозиума по фрикционным изделиям и материалам, Ярославль, Россия, Яроффри 28-30 сентября 2010. – С. 138–141. 15. Михайлов А.Н. Повышение износостойкости пары трения за счет функционально-ориентированных покрытий / А.Н. Михайлов, М.Г. Петров, В.В. Головатинская, А.М. Петров // Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров. Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции на острове Джерба с 11 по 18 октября 2012 г. – Донецк: ДонНТУ, 2012. – С. 196–199. 16. Михайлов А.Н. Автоматизированное проектирование и моделирование составляющих процессов детонационно-газового нанесения покрытий / А.Н. Михайлов, В.В. Головатинская, А.М. Петров, П.С. Суслов, М.Г. Петров // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2012. – № 746 – С. 196–201. 17. Михайлов А.Н. Исследование особенностей функционально-ориентированных детонационно-газовых покрытий / А.Н. Михайлов, А.М. Петров, В.В. Головатинская, М.Г. Петров // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний збірник наукових праць. - Донецьк: ДонНТУ, 2013. Вип. 45. – С. 181-186.

## ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТОЙКОСТИ ФРЕЗ С ПЕРЕМЕННЫМИ СКОРОСТЯМИ РЕЗАНИЯ ПО ДЛИНЕ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ЗУБА

Михайлов А.Н., Михайлов Д.А., Аль-Судани Т.Т.

ДонНТУ, Донецк, Украина

Тел.: +38 (050) 6202396; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

**Abstract:** В работе показано, что одним из недостатков работы большинства фрез является неравномерные скорости резания по длине режущей кромки зуба, возникающие из-за особенностей их конструкции и эксплуатации. Вследствие неравномерных скоростей резания режущие кромки зубьев фрез изнашиваются неравномерно, что в целом снижает эксплуатационные параметры фрез. В данной статье приведены данные по повышению стойкости и/или производительности эксплуатации фрез с переменными скоростями резания по длине режущей кромки зубьев, которые основываются на обеспечении изменяющихся параметров свойств режущей кромки в зависимости от действующих эксплуатационных функций. Для предлагаемых фрез с переменными свойствами по длине режущих кромок зубьев разработаны принципы повышения стойкости и/или производительности на основе функционально-ориентированного подхода. Выполнен анализ особенностей повышения стойкости и производительности работы фрез на базе этих принципов и даны общие рекомендации по эксплуатации предлагаемых фрез.

**Key words:** неравномерная скорость резания, режущая кромка, фреза, функционально-ориентированный подход, стойкость, производительность.

### 1. Введение

Одним из недостатков эксплуатации большинства фрез [1, 2, 3] является наличие неравномерных скоростей резания по длине режущей кромки зуба [4], возникающие из-за особенностей их конструкции. В связи с возникающими неравномерными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев они изнашиваются неравномерно, обычно предельный износ режущих кромок происходит в зонах с максимальной скоростью резания, а именно, расположенных в самых дальних точках режущих кромок от оси вращения фрезы [4]. Неравномерность изнашивания режущих кромок зубьев фрезы приводит к следующему:

- снижается стойкость и производительность работы фрез, имеющих неравномерные скорости резания по длине режущих кромок зубьев;
- используется не полный, а только частичный потенциал работы режущих кромок зубьев и соответственно всей фрезы в целом.

На основании выполненного анализа особенностей работы фрез с переменными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев [4], для обеспечения равномерного износа режущих кромок зубьев фрезы, повышения стойкости и производительности работы фрезы, а также использования полного потенциала работы режущих кромок зубьев необходимо обеспечивать изменяющиеся свойства режущей кромки по ее длине в зависимости от особенностей действия эксплуатационных функций. Эти особенности, а именно изменяющиеся свойства режущей кромки зубьев фрезы могут быть реализованы на базе применения функционально-ориентированного подхода в обработке фрез или применения принципа функциональной ориентации свойств режущей кромки в зависимости от действия эксплуатационных функций и реализации заданных изменяющихся местных технологических воздействий по режущей кромке [5].

Применение функционально-ориентированного подхода в обработке фрез имеющих переменную скорость резания по длине режущей кромки зуба обеспечивает равномерный износ режущей кромки, повышение стойкости и производительности фрез и использование полного потенциала работы режущей кромки зуба и фрезы в целом.

Целью данной работы является повышение стойкости и/или производительности работы фрезы за счет обеспечения равномерного износа режущей кромки по ее длине и использования полного потенциала ее работы путем обеспечения свойств режущей кромки зуба по ее длине в зависимости от особенностей эксплуатации и действующих функций.

В соответствии с поставленной целью в работе определены следующие задачи: предложить функциональную ориентацию свойств режущей кромки зуба в зависимости от особенностей ее эксплуатации и действующих функций; разработать принципы повышения стойкости и/или производительности работы фрезы в условиях изменяющейся скорости резания по длине режущей кромки зуба; предложить варианты обеспечения изменяющихся свойств по длине режущей кромки зуба; выполнить анализ особенностей работы предлагаемых фрез.

## **2. Методы обеспечения изменяющихся свойств режущих кромок зубьев**

Процесс обеспечения изменяющихся свойств по длине режущих кромок зубьев фрезы в данной работе планируется выполнить на базе функционально-ориентированного подхода [5]. Для решения этого вопроса целесообразно использование двух принципов функционально-ориентированных технологий, а именно [5]:

1. Функционального соответствия особенностей действия элементарной функции в каждом функциональном элементе изделия, характеристик реализации технологических воздействий и параметров обеспечения необходимых свойств этом функциональном элементе изделия на каждом уровне глубины технологии.

2. Топологического соответствия геометрических параметров функционального элемента изделия, в котором действует элементарная функция при эксплуатации, геометрическим параметрам зонального элемента реализации технологических воздействий потоков материи, энергии и информации на изделие и геометрических параметров зонного элемента обеспечения необходимых свойств на каждом уровне глубины технологии.

Первый принцип ориентации технологических воздействий и свойств изделия в соответствии с действующей функцией можно математически представить следующими тремя отображениями (преобразованиями) [5]:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{11} &: F \rightarrow TB ; \\ \varphi_{12} &: TB \rightarrow C ; \\ \varphi_{13} &: C \rightarrow F , \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\varphi_{11}$  - отображение (преобразование) эксплуатационной функции  $F$  изделия в технологические воздействия  $TB$  ;

$\varphi_{12}$  - отображение (преобразование) технологических воздействий  $TB$  в свойства  $C$  изделия;

$\varphi_{13}$  - отображение (преобразование) свойств  $C$  в технологические воздействия  $TB$  .

Следует иметь в виду, что представленная система отображений (1) имеет замкнутую форму, поэтому решение этих уравнений может быть выполнено на основании

итерационных методов последовательного приближения с использованием множества рекуррентных циклов.

При этом второй принцип ориентации можно описать следующими тремя отображениями (преобразованиями):

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{21} : G(F) &\rightarrow G(TB) ; \\ \varphi_{22} : G(TB) &\rightarrow G(C) ; \\ \varphi_{23} : G(C) &\rightarrow G(F) , \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $\varphi_{21}$  - отображение (преобразование) геометрических параметров зоны действия эксплуатационной функции  $G(F)$  изделия в геометрические параметры зоны реализации технологических воздействий  $G(TB)$ ;

$\varphi_{22}$  - отображение (преобразование) геометрических параметров зоны реализации технологических воздействий  $G(TB)$  в геометрические параметры зоны обеспечения свойств  $G(C)$  изделия;

$\varphi_{23}$  - отображение (преобразование) геометрических параметров зоны обеспечения свойств  $G(C)$  в геометрические параметры зоны действия эксплуатационной функции  $G(F)$  изделия.

Можно отметить, что обеспечение изменяющихся свойств режущих кромок фрезы можно выполнять различными методами. Рассмотрим некоторые варианты создания изменяющихся свойств режущих кромок фрезы.

На рис. 1. представлены схемы обеспечения переменных свойств режущей кромке зуба фрезы в зависимости от следующих параметров: рис. 1,а – изменяющихся свойств материала заготовки от центра к периферии; рис. 1,б – изменяющихся свойств материала заготовки по ее высоте; рис. 1,в - изменяющихся свойств материала заготовки от центра к периферии и по ее высоте; рис. 1,г – обеспечения местных переменных технологических воздействий по длине режущей кромки зуба. Здесь показано: 1 - заготовка (показано условно), 2 – фреза, 3 – зуб фрезы.

Здесь можно отметить, что за счет первых трех схем выполняется реализация изменяющихся свойств режущей кромки за счет обеспечения переменных свойств материала заготовки (рис. 1, а, б, в). За счет наличия переменных свойств по объёму материала заготовки, в процессе изготовления фрезы, автоматически образуются переменные свойства режущих кромок зубьев фрезы по их длине. В этих схемах изменяющиеся свойства материала заготовки выполняются трех вариантов, а именно рис. 1,а - свойства заготовки изменяются от продольной оси к ее периферии. Такие свойства заготовки могут быть получены с применением специальных технологий. Свойства заготовки в соответствии с рис. 1,б изменяются по высоте заготовки. Они могут быть получены, например, при изготовлении заготовки методом электрошлакового переплава с добавлением, по мере осевого перемещения кристаллизатора, изменяющегося количества легирующих элементов. Третья схема (рис. 1,в) это комбинация способов первых двух схем.

В четвертой схеме (рис. 1,г) обеспечение изменяющихся свойств режущей кромки зубьев фрезы выполняется за счет технологических методов, а именно комбинации абразивной обработки и поверхностно-пластической деформации поверхностного слоя режущей кромки зубьев фрезы.

Посредством неравномерных технологических воздействий по длине режущей кромки фрезы при пневмоструйной абразивной обработке режущей кромки обеспечи-



ваются переменные геометрические параметры режущего клина по длине кромки зуба фрезы.

В большей мере здесь изменяется радиус режущего клина по длине режущей кромки зуба фрезы. А

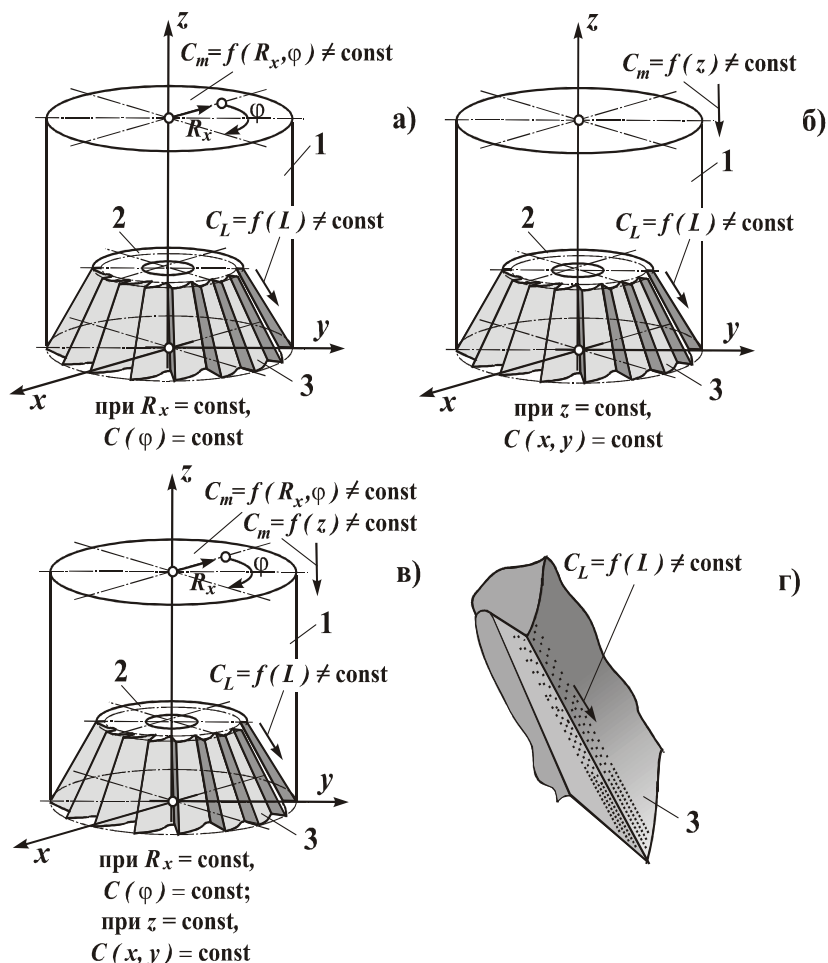


Рис. 1. Схемы обеспечения переменных свойств режущей кромке зуба фрезы в зависимости от следующих параметров: **а** – изменяющихся свойств материала заготовки от центра к периферии; **б** – изменяющихся свойств материала заготовки по ее высоте; **в** - изменяющихся свойств материала заготовки от центра к периферии и по ее высоте; **г** – обеспечения местных переменных технологических воздействий по длине режущей кромки зуба

также за счет этих неравномерных технологических воздействий обеспечиваются неравномерные свойства материала посредством изменяющейся степени поверхностно-пластической деформации материала режущей кромки зубьев фрезы.

Таким образом, приведенные схемы позволяют обеспечивать переменные свойства режущей кромки зуба фрезы в зависимости от эксплуатационных особенностей действия функций по длине режущей кромки. А это создает возможность решать вопросы повышения стойкости и/или производительности фрез, имеющих переменные скорости резания по длине режущей кромки зубьев.

Можно отметить, что реализация переменных свойств по длине режущей кромки зуба фрезы создает нетрадиционные особенности эксплуатации таких фрез, а также условия назначения параметров

их стойкости и производительности. Рассмотрим более детально эти особенности.

### 3. Особенности эксплуатации фрез с переменными свойствами режущих кромок

Можно отметить, что фрезы с переменными свойствами режущих кромок зубьев имеют определенные особенности эксплуатации. К основным особенностям можно отнести следующее.

Прежде всего, главным в эксплуатации фрез имеющих переменные скорости резания по длине режущих кромок зубьев с изменяющимися свойствами режущих кромок в зависимости от действующих эксплуатационных функций является то, что появляется возможность повышения производительности и стойкости фрез за счет следующих особенностей:

- за счет выравнивания износа режущих кромок по их длине при переменных скоростях резания по длине режущей кромки зубьев фрезы;
- за счет полного использования режущего потенциала режущих кромок зубьев по их длине;
- за счет снижения в целом износа режущих кромок и повышения их стойкости.

Здесь следует отметить, что для стандартных фрез из-за неравномерных скоростей резания по длине режущей кромки обычно происходит частичный износ режущей кромки в зоне с максимальной скоростью резания. Это происходит вследствие того, что здесь преобладает абразивный и окислительный износ материала режущей кромки зубьев фрезы. При этом адгезионный износ поверхностного слоя прилегающего к режущей кромке в зонах с меньшей скоростью резания для предлагаемых фрез снижается посредством специальных технологических решений, а именно комбинированной обработки с обеспечением специальных микроволнистых полированных поверхностей.

Можно заметить, что для фрез имеющих изменяющиеся свойства по длине режущих кромок зубьев повышение производительности и стойкости фрезы можно вести на базе следующих принципов (рис.2):

- первый принцип – принцип смещения от периферии к центру фрезы (продольной оси вращения) определяющих значений допустимой скорости резания;
- второй принцип – принцип смещения от периферии к центру фрезы (продольной оси вращения) лимитирующих параметров стойкости фрезы;
- третий принцип – принцип смещения от периферии к центру фрезы (продольной оси вращения) лимитирующих параметров свойств фрезы.

Заметим, что реализация этих принципов возможна только с применением фрез имеющих изменяющиеся свойства режущих кромок от периферии к центру в зависимости от действующей на режущей кромке переменной скорости резания.

На базе первого принципа обеспечивается возможность увеличения допустимой частоты вращения фрезы. Это обусловлено тем, что для стандартных фрез лимитирующая частота вращения определяется по максимальной скорости резания фрезы, возникающей на периферии фрезы. Для предлагаемых фрез, имеющих изменяющиеся свойства режущей кромки в зависимости от скорости резания, появляется возможность в обеспечении такой же скорости резания как у стандартных фрез, но с ориентиром не на периферию лимитирующих параметров скорости резания, а уже ближе к центру, что дает возможность увеличить частоту вращения фрезы. Поэтому здесь происходит как бы «смещение» определяющих значений допустимой скорости резания.

За счет второго принципа реализуется возможность повышения производительности обработки фрезами с изменяющимися свойствами режущих кромок зубьев. В этом случае свойства режущей кромки должны быть обеспечены в зависимости от изменяющейся скорости резания по ее длине. Поэтому здесь повышение производительности работы таких фрез выполняются за счет увеличения допустимой частоты вращения фрезы, а именно за счет смещения от периферии к центру фрезы лимитирующих параметров стойкости фрезы.

На основе третьего принципа обеспечивается возможность повышения стойкости фрезы при частоте их вращения, аналогичной величине частоты вращения стандартных фрез. В этом случае повышение стойкости фрез выполняется за счет смягче-

ния режимов резания фрез с новыми свойствами режущих кромок зубьев. Это выполняется за счет смещения от периферии к центру фрезы лимитирующих параметров свойств режущей кромки зуба фрезы.

В табл. 1 представлены эксплуатационные особенности фрез с изменяющимися свойствами режущих кромок зубьев. Здесь изменяющиеся свойства рассматриваются со следующими параметрами:

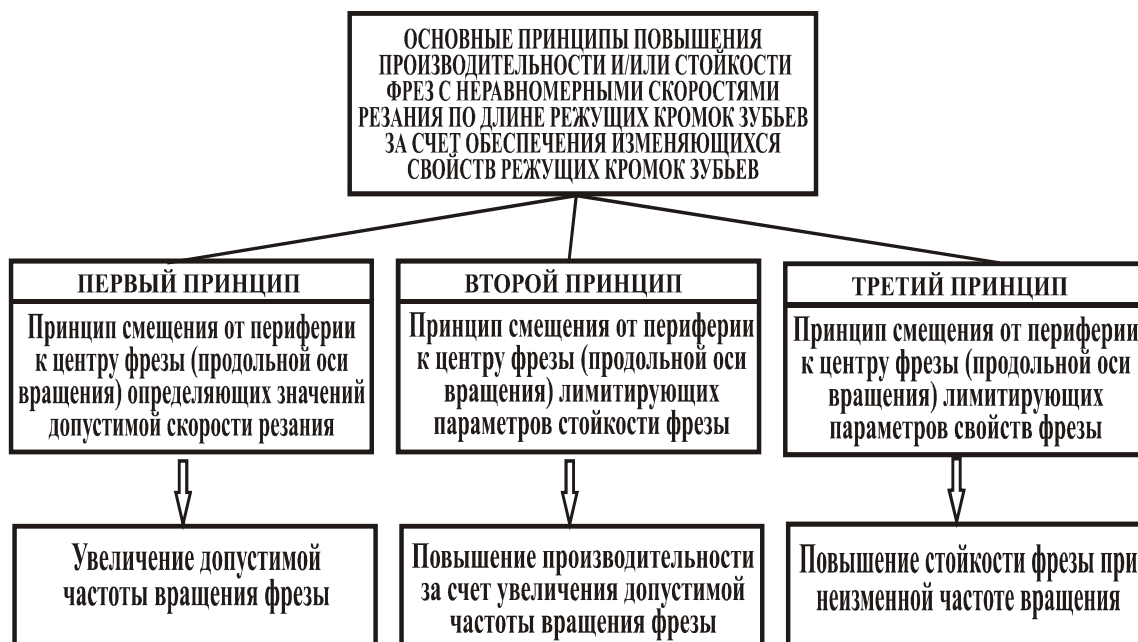


Рис. 2. Основные принципы повышения производительности и/или стойкости фрез с неравномерными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев

- изменяющаяся геометрия режущей кромки по ее длине в зависимости от особенностей изменения скорости резания по длине режущей кромки;

- изменяющиеся свойства материала режущей кромки по ее длине в зависимости от особенностей изменения скорости резания по длине режущей кромки.

Процесс обеспечения изменяющихся свойств режущих кромок зубьев предусмотрено выполнять технологическими методами посредством следующих операций:

- за счет пневмо-струйного абразивного резания с изменением длительности обработки по длине режущей кромки;

- за счет пневмо-струйного наклепа поверхностного слоя с изменением длительности обработки по длине режущей кромки.

Также можно заметить, что для повышения качества работы фрез дополнительно необходимо выполнять целый комплекс различных технологических операций [4]. В том числе особенно важным моментом является сохранение изменяющейся геометрии режущей кромки по ее длине. Это обусловлено тем, что в процессе резания предлагаемая геометрия режущей кромки изменяется, что ведет к снижению стойкости фрез. Решение этих вопросов в данной работе выполнялось за счет вакуумных ионно-плазменных покрытий, например TiN, TiAlN, (Ti, Cr) N и других сверхпрочных покрытий.

Таблица 1. Эксплуатационные особенности фрез с изменяющимися свойствами режущих кромок зубьев

№ п/п	Обеспечение	Процесс	Принципы	Возможности	Результаты
1	Изменяющаяся геометрия режущей кромки по ее длине в зависимости от особенностей изменения скорости резания по длине режущей кромки	За счет пневмоструйного абразивного резания с изменением длительности обработки по длине режущей кромки	Первый принцип	Увеличение допустимой частоты вращения фрезы	1. Обеспечение равномерного износа режущей кромки по длине зуба фрезы.
			Второй принцип	Повышение производительности обработки	2. Достижение полного потенциала использования режущих кромок по их длине.
2	Изменяющиеся свойства материала режущей кромки по ее длине в зависимости от особенностей изменения скорости резания по длине режущей кромки	За счет пневмоструйного наклепа поверхностного слоя с изменением длительности обработки по длине режущей кромки	Третий принцип	Повышение стойкости фрезы при неизменной частоте вращения	3. Снижение износа режущих кромок зубьев фрезы

#### 4. Заключение

Таким образом, в данной работе предложено повышение стойкости и/или производительности фрез имеющих переменные скорости резания по длине режущих кромок зубьев выполнять за счет функциональной ориентации свойств режущих кромок зубьев в зависимости от особенностей их эксплуатации и действующих функций.

Для предлагаемых фрез разработаны принципы повышения стойкости и/или производительности их работы в условиях изменяющейся скорости резания по длине режущей кромки зубьев. А также здесь приведены технологические методы обеспечения изменяющихся свойств режущих кромок зубьев фрезы. В работе рассмотрены некоторые варианты обеспечения изменяющихся свойств зубьев по длине режущей кромки и выполнен анализ особенностей работы предлагаемых фрез.

В целом выполненные исследования позволяют создавать фрезы с нетрадиционными свойствами, обеспечивающими повышение производительности и/или стойкости инструмента с переменными скоростями резания по длине режущей кромки.

**Список литературы:** 1. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с. 2. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с. 3. Боровский Г.В., Григорьев С.Н., Маслов А.Р. Справочник инструментальщика / Под общ. ред. А.Р. Маслова. – М.: Машиностроение, 2005. – 464 с. 4. Аль-Судани Т.Т., Михайлов Д.А., Михайлова Е.А., Михайлов А.Н., Грубка Р.М. Технологическое обеспечение повышения стойкости фрез с переменными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев / Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2012. Вип. 1, 2 (43). С. 24 – 36. 5. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Михайлов А.Н., Михайлов Д.А., Долгих А.С.

ДонНТУ, Донецк, Украина

Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

**Abstract:** *To the article data are driven on creation of the composition technologies synthesized on the great number of different on meaningfulness technologies. Composition technologies allow to provide qualitatively new totality of properties of wares of engineer with changing in space and / or to time by properties. In hired the prospects of development and application of composition technologies are shown for the different details of engineer.*

**Key words:** *quality of wares, principles of creation, functionally-oriented approach, composition technology.*

Научно-технический прогресс постоянно требует от технологов решения вопросов кардинального повышения качества изделий машиностроения. Это особенно необходимо для изделий, работающих в сложных условиях эксплуатации, к которым предъявляются высокие требования к свойствам. В эксплуатационных условиях на изделия действует целое множество различных функций. Причем эти функции имеют различные эксплуатационные особенности, а именно переменные параметры действия в пространстве изделия и во времени, которые могут изменяться по различным законам. При проектировании изделий, работающих в таких условиях, эти особенности не учитываются, а обычно они проектируется по предельно действующей нагрузке. Например, по максимальному удельному давлению в эпюре контактных напряжений, или по максимальному изгибающему моменту в эпюре изгибающих напряжений, и так далее. То есть проектируется изделие (деталь) не из условия зонального действия предельных нагрузок, а из условия действия предельных нагрузок для всей детали. Это в ряде случаев экономически не целесообразно и даже в некоторых случаях не допустимо.

При этом в процессе реализации технологических воздействий (технологий) и обеспечении свойств изделию также не учитываются действия переменных в пространстве и во времени эксплуатационных функций. Здесь закладываются общие свойства изделия из условия действия предельных нагрузок, максимальных удельных давлений и износа элементов изделия. Кроме того в технологии машиностроения принято изделие разбивать на исполнительные поверхности и проектировать технологический процесс применительно к этим поверхностям. При этом развитие науки и техники уже требует от технологов более тонкого обеспечения свойств, в ряде случаев с изменяющимися параметрами, на уровне зон, макро- и микро участков. Причем существующие подходы в технологии машиностроения не дают ответов в организационно-технологическом плане как это рационально выполнять и обеспечивать заданные, требуемые или предельные свойства изделиям.

Также можно заметить, что существующие технологии различного назначения обычно позволяют обеспечивать свойства изделий только в одном конкретном направлении. Например, комбинированные технологии [1] обеспечивают свойства изделий в зависимости от вида методов, нанотехнологии – в зависимости от класса технологических воздействий на наноуровне [2], технологии серийного производства – в зависимости от типа производства [3], модульные технологии – в зависимости от организационно-технологической формы технологий [4], функционально-ориентированные техноло-

гии – в зависимости от класса организационно-технологических форм технологий [5] и так далее. Это связано с тем, что в настоящее время нет основополагающих данных для совместного применения этих технологий, условно объединяемых как множество различных по своей значимости технологий (рис. 1). Вместе с тем, только комплексное использование этих технологий дает возможность вести дальнейшее повышение каче-

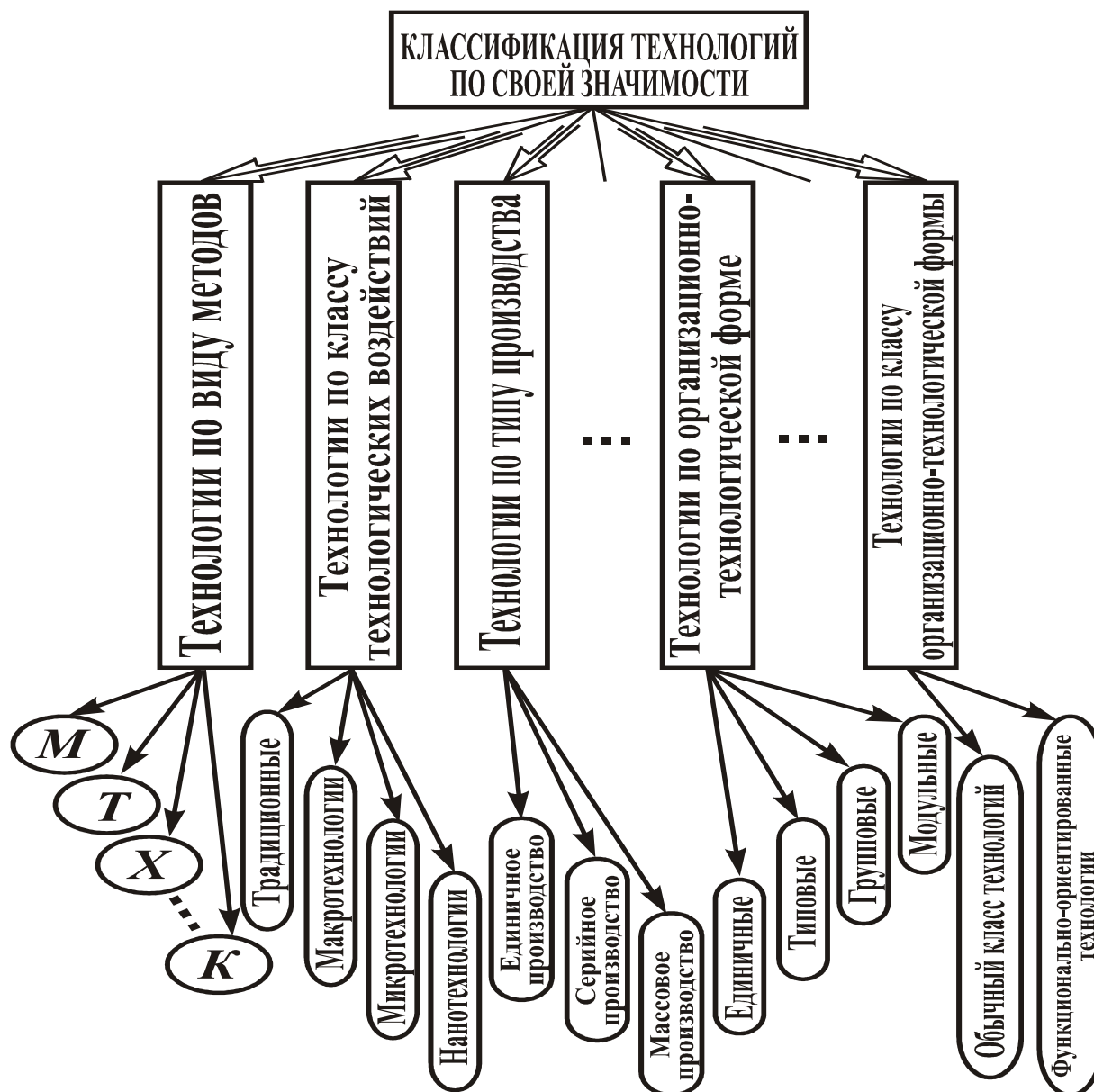


Рис. 1. Классификация множества различных по своей значимости (по различным особенностям) технологий машиностроения

ства изделий. Именно комплексное их использование позволяет обеспечивать и качественно новую совокупность свойств, и качественно новую меру полезности изделий. При этом применение функционально-ориентированных технологий [5] позволяет вести управление параметрами свойств изделия по структуре различных по значимости технологий [6] в композиционных технологиях.

Поэтому для решения этих вопросов потребны нетрадиционные подходы в создании принципиально новых технологий, позволяющих решать сложные задачи создания машин нового поколения с композицией свойств, получаемых за счет применения различных по значимости технологий [6].

Целью данной работы является повышение качества изделий машиностроения на основе специальных композиционных технологий, проектирование которых базируется на сочетании различных по значимости технологий на базе принципов композиции, количество которых в композиции определяется числом направления обеспечения свойств изделию.

Можно отметить, что композиционная технология это не сумма нескольких технологий или их прямое соединение в единую технологию. Это нечто новое, более значимое в технологии машиностроении, позволяющее обеспечивать изделиям качественно новую совокупность свойств и меру полезности. Композиционная технология это новый класс организационно-технологической формы технологии. Процесс создания этих технологий базируются на следующих принципах композиции:

1. Совместимости структуры технологий.
2. Единства и общности структуры соединяемых технологий.
3. Способности соединяемых технологий к гибридизации.
4. Управляемости технологическими воздействиями и свойствами изделий.
5. Действия между технологиями итерационно-рекуррентных связей.
6. Способности композиционной технологии к реализации качественно новых методов технологических воздействий и принципов преобразования свойств изделий.
7. Обеспечения качественно новой совокупности свойств и меры полезности.

Композиционная технология – это специальная технология, структура которой образовывается сочетанием не менее двух различных по значимости технологий на основе принципов композиции, количество которых определяется числом направлений обеспечения свойств изделий.

Процесс сочетания и соединения технологий в композиционную технологию базируется на следующем множестве различных по значимости технологий (рис. 1):

1. На технологиях  $T_1$ , структурирующихся по виду методов обработки (механической обработки, термической обработки, химической обработки, ..., комбинированной обработки).

2. На технологиях  $T_2$ , образованных по классу технологических воздействий (традиционные технологии, макро-, микро- и нанотехнологии).

3. На технологиях  $T_3$ , формирующихся по типу производства (единичное, серийное и массовое производство).

.....  
 x. На технологиях  $T_x$ , подразделяющихся по организационно-технологической форме (единичные, типовые, групповые и модульные технологии).  
 .....

X. На технологиях  $T_X$ , определяющихся по классу организационно-технологической формы технологий (обычные технологии, функционально-ориентированные технологии).

Таким образом, композиционная технология структурируется на множестве следующих технологий:

$$KOT = \{ T_1, T_2, T_3, ..., T_x, ..., T_X \}; \quad (1)$$

$KOT$  – композиционная технология, состоящая из  $X$  технологий;



$T_x$  -  $x$ -я технология;

$X$  – общее количество различных технологий (признаков).

Генерирование полного множества различных вариантов композиционных технологий можно выполнять на базе следующей морфологической матрицы:

$$KOT = \begin{pmatrix} T_{11} & \textcircled{T_{12}} & T_{13} & \dots & T_{1k} & \dots & T_{1K} \\ T_{21} & T_{22} & \textcircled{T_{23}} & \dots & T_{2l} & \dots & T_{2L} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & \dots & \textcircled{T_{3m}} & \dots & T_{3M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ T_{x1} & T_{x2} & \textcircled{T_{x3}} & \dots & T_{xp} & \dots & T_{xP} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ T_{X1} & T_{X2} & T_{X3} & \dots & T_{Xr} & \dots & \textcircled{T_{XR}} \end{pmatrix}; \quad (2)$$

где  $T_x = \{T_{x1}, T_{x2}, T_{x3}, \dots, T_{xp}, \dots, T_{xP}\}$  - варианты  $x$ -й технологии (варианты  $x$ -го признака);

$K, L, M, \dots, P, \dots, R$  – мощности (количество) вариантов технологий 1, 2, 3, ...,  $x$ , ...,  $X$  соответственно.

Можно отметить, что каждый элемент матрицы (2) может состоять из следующих элементов или операций:

$$T_{ij} = \{t_{ij1}, t_{ij2}, t_{ij3}, \dots, t_{ijg}, \dots, t_{ijG}\}; \quad (3)$$

где  $T_{ij}$  - любой элемент матрицы (2.2), располагающийся в  $i$ -й строке и  $j$ -м столбце;

$t_{ijg}$  -  $g$ -й элемент (операция) множества  $T_{ij}$ ;

$G$  – мощность множества  $T_{ij}$ .

В морфологической матрице (2) окружностями и связями показан один из возможных укрупненных вариантов структуры композиционной технологии. Перебирая структурные варианты композиционных технологий матрицы (2) на базе морфологического подхода генерируется полное множество возможных вариантов композиционных технологий. На базе генерированного множества выполняется выбор оптимального, доминирующего или рационального варианта композиционной технологии обработки конкретного изделия машиностроения.

В целом композиционная технология базируется на композиции структур нескольких различных по значимости технологий:

$$Str_k\{T, A\} = \bigotimes_{x=1}^X Str_x\{T_x, A_x\}, \quad (4)$$

где  $Str_k\{T, A\}$  - структура композиционной технологии, состоящая из множества  $T$  элементов (операций) и множества  $A$  отношений (связей) на множестве  $T$ ;

$Str_x\{T_x, A_x\}$  - структура  $x$ -ой технологии, состоящая из множества  $T_x$  элементов (операций) и множества  $A_x$  отношений (связей) на множестве  $T_x$ ;

$X$  - общее количество (мощность множества) соединяемых технологий в композиционную технологию.

Следует заметить, что выполняемое объединение технологий в композиционную технологию образует общую новую структуру технологии. В композиционной технологии выполняется предварительный синтез структуры технологии, затем рекуррентный итерационный синтез и корректирование созданной первоначально структуры



технологии на базе принципов и особенностей синтеза следующей технологии, потом последующей технологии и так далее. Здесь используются прямые и обратные связи между этапами проектирования композиционной технологии. При этом создается качественно новая структура технологии, и это не сумма соединяемых технологий – это композиция технологий. Композиционная технология позволяет обеспечивать изделиям качественно новые свойства по нескольким направлениям, число которых зависит от количества вариантов соединяемых технологий.

Проектирование композиционной технологии выполняется поэтапно на множестве параметров каждой технологии, которое можно представить в виде оболочек множеств особенностей проектирования технологий. Общий подход в создании композиционных технологий базируется на многоуровневом проектировании структуры технологии в оболочках  $X$  уровней. Здесь оболочки технологий структурируются следующим образом:

1. Оболочка синтеза технологий по виду методов.

2. Оболочка синтеза технологий по классу воздействий.

3. Оболочка синтеза технологий по типу производства.

.....

х. Оболочка синтеза технологий по организационно-технологической форме.

.....

Х. Оболочка синтеза технологий по классу организационно-технологической формы.

Следует отметить, что между оболочками действуют итерационно-рекуррентные связи, что позволяет синтезировать и корректировать структуру композиционного технологического процесса. Итерационно-рекуррентные связи между отдельными этапами проектирования технологий позволяют, во первых - последовательно выполнять синтез структуры технологического процесса на базе всех этапов композиционных технологий, во вторых - производить возврат процесса проектирования на предыдущие этапы и корректировать разработанную ранее структуру технологического процесса, и в третьих - при синтезе технологии обходить отдельные этапы проектирования как в прямом, так и в обратном направлениях. Этот подход дает возможность вести композицию, синтезировать и корректировать композиционную технологию.

Заметим, что в оболочке первого уровня выполняется синтез структуры технологического процесса на базе принципов синтеза технологий по виду методов. К этим методам можно отнести следующие: механической обработки, термической обработки, химической обработки, ..., комбинированной обработки. Для реализации технологических воздействий могут использоваться различные методы обработки изделий. Однако наиболее перспективно применение комбинированных (гибридных) методов или технологий. Применение этих технологий позволяет обеспечивать заданные, требуемые или предельные свойства изделий машиностроения. При этом комбинированные технологии дают возможность решать вопросы повышения качества изделий за счет структуры технологического процесса. Условно этот процесс можно представить как повышение качества изделия «вширь» - по структуре технологического процесса.

В оболочке второго уровня выполняется синтез и корректирование структуры разработанной ранее технологии на базе принципов синтеза технологий по классу воздействий. К этим технологиям можно отнести традиционные, макро-, микро- и нанотехнологии. Здесь необходимо корректировать и дополнять разработанную ранее структуру технологии новыми операциями. Это обусловлено тем, что макро-, микро- и нанотехнологии содержат ряд дополнительных операций. Например, нанотехнологии включают следующие дополнительные операции: обеспечение особых состояний ве-

щества, синтез нового материала, размельчение материала, компактирование материала, сохранение дисперсности материала, управление свойствами материала изделия.

С помощью макро-, микро- и нанотехнологий решаются вопросы обеспечения заданных свойств изделий на каждой операции, например, комбинированного метода или с помощью комбинированных методов технологических воздействий, то есть условно можно представить как повышение качества изделия «вглубь». В этом случае дальнейшее повышение качества изделий машиностроения реализуется более тонко и прецизионно уже на макро-, микро- и наноуровнях. На основании этого, преобразование свойств изделий должны выполняться с помощью макро-, микро- и нанотехнологий.

В оболочке третьего уровня снова выполняется синтез и корректирование структуры синтезированной технологии на базе принципов, определяющихся типом производства. В этом случае разрабатываемая технология строится на основе принципов технологий единичного, серийного и массового производства. И так далее выполняется построение композиционной технологии в оболочках других уровней.

Затем, в оболочке  $x$ -го уровня производится синтез и корректирование структуры технологии на базе принципов организационно-технологических форм технологий, а именно: единичных, типовых, групповых или модульных технологий. И так далее строится композиционная технология на следующих уровнях проектирования.

Далее, в последней оболочке  $X$ -го уровня выполняется синтез и корректирование структуры композиционной технологии на базе принципов определяющихся по классу организационно-технологической формы технологий. Здесь могут быть обычные или функционально-ориентированные технологии.

Можно отметить некоторые характеристики оболочек проектирования композиционной технологии:

1-й уровень – фундамент, основа или ядро формирования структуры технологии;

$x$ -й уровень - дополнение, уточнение, корректировка структуры на базе принципов рассматриваемой технологии;

$X$ -й уровень – управляющая технология на базе функционально-ориентированного подхода.

Функционально-ориентированные технологии [5] дают возможность вести управление свойствами изделий на различных уровнях функциональных элементов, а также позволяют полностью адаптировать изделия при изготовлении к особенностям их эксплуатации в машине или технологической системе и обеспечить заданный, требуемый или предельный их эксплуатационный потенциал. Это реализуется на базе оболочки функционально-ориентированной технологии.

Использование принципов функционально-ориентированного подхода позволяет вести управление свойствами изделия в зависимости от особенностей его эксплуатации в машине, что дает возможность адаптировать изделие при изготовлении к особенностям эксплуатации.

Заметим, что для создания различных композиционных технологий возможно применение оболочек и других уровней. Увеличивая количество оболочек при синтезе композиционной технологии можно увеличить мощность многообразия направлений повышения качества изделий машиностроения. А также возможно исключение некоторых оболочек технологий в процессе синтеза композиционной технологии.

В процессе реализации композиционной технологии повышение свойств и качества изделий обусловлено, прежде всего, тем, что в этих технологиях свойства изделий достигаются сразу по нескольким направлениям на базе принципов композиции.

При этом за счет того, что композиционная технология создается на множестве различных по значимости технологий и обеспечиваются итерационно-рекуррентные связи между оболочками процесса проектирования реализуется возможность генерирования множества композиционных технологий, отличающихся друг от друга следующим (рис.2):

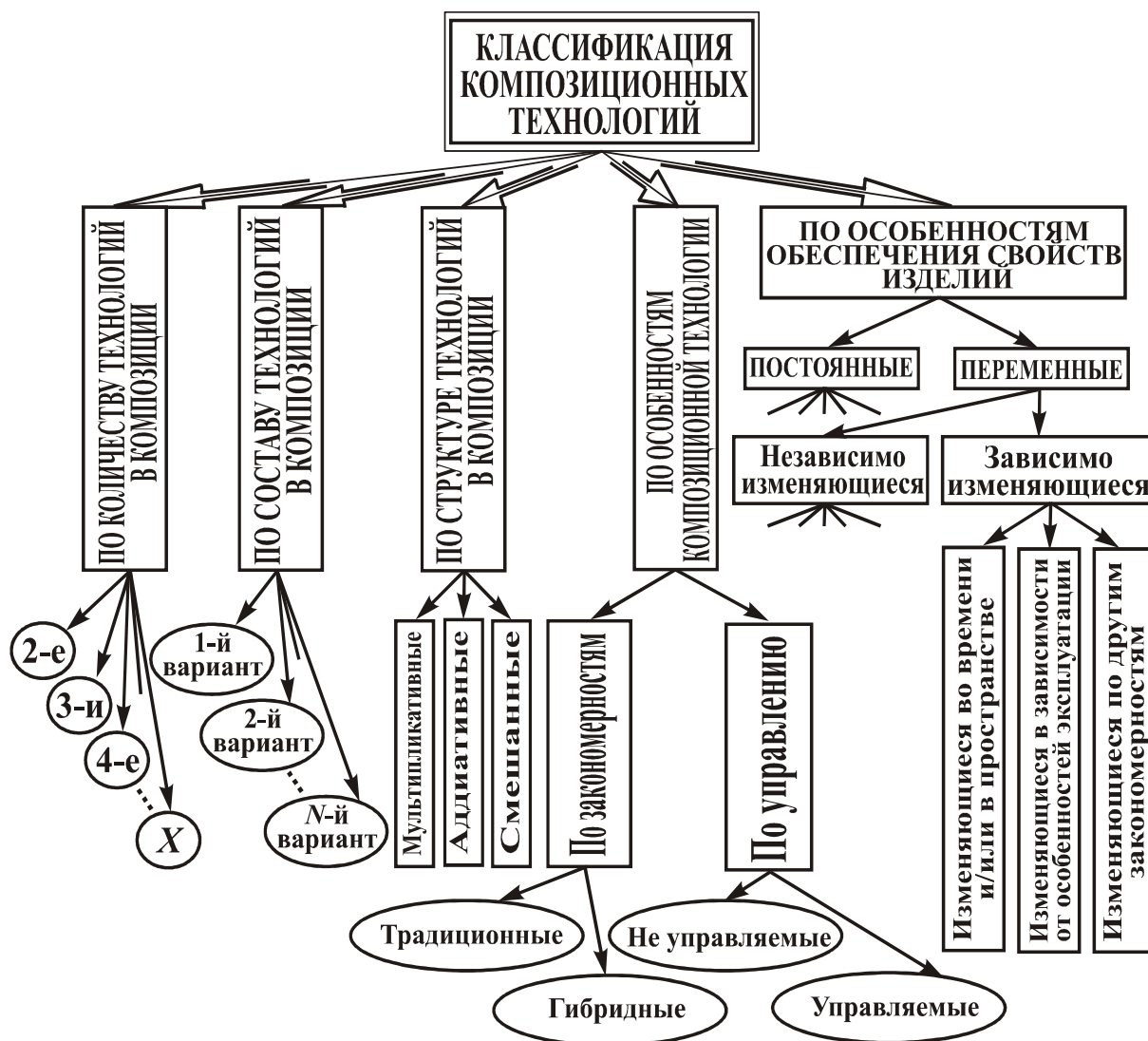


Рис. 2. Общая классификация композиционных технологий

- количеством соединяемых в композицию различных по значимости технологий;
- составом соединяемых в композицию различных по значимости технологий;
- структурой технологий в композиции;
- особенностями обеспечения свойств изделий.

В качестве примера на рис. 3 приведены варианты трех компонентной технологии (функционально-ориентированная комбинированная технология) со следующими классами технологических воздействий: а – макротехнология, б – микротехнология, в – нанотехнология.

Композиционные технологии обеспечивают возможность изготовления изделий с нетрадиционными свойствами, а именно:

- изменяющиеся свойства изделия в пространстве и / или времени;
- изменяющиеся свойства изделий по необходимым законам;
- появляется возможность обеспечивать свойства на макро-, микро- и наноуровнях;
- появляется возможность управления свойствами изделия на базе принципов функционально-ориентированных технологий;
- формировать структуру и состав композиционных технологий в зависимости от заданных, требуемых или предельных свойств изделий.

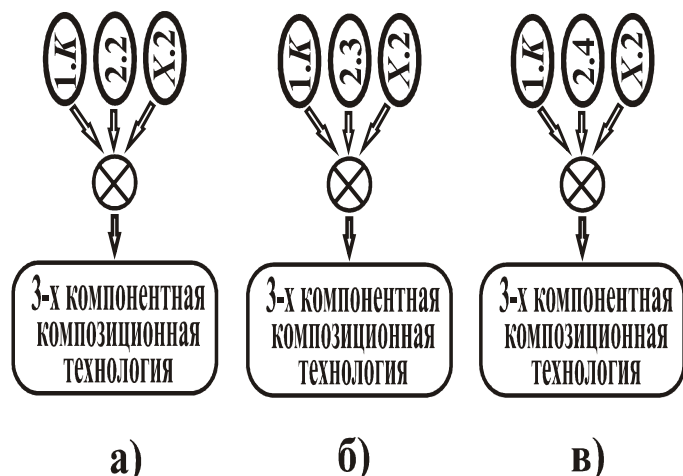


Рис. 3. Трех компонентная технология (функционально-ориентированная комбинированная) со следующими классами технологических воздействий:  
а – макротехнология, б – микротехнология, в – нанотехнология

Таким образом, композиционные технологии предназначены для изготовления изделий с нетрадиционными свойствами, а следовательно могут быть применены для проектирования машин и технологических систем нового поколения.

Дальнейшее повышение качества изделий машиностроения, в том числе и обеспечение не традиционных свойств, возможно на базе композиционных технологий. Их проектирование базируется на сочетании различных по значимости технологий на базе принципов композиции, количество которых в композиции определяется числом направлений обеспечения свойств изделию.

В данной работе приведено описание особенностей синтеза композиционных технологий на базе принципов композиции.

Представлена классификация композиционных технологий, которая позволяет производить выбор технологии на генерированном множестве композиционных технологий. Здесь также показаны особенности синтеза и перспективы развития композиционных технологий.

**Список литературы:** 1. Физико-технологические основы методов обработки / Под ред. А.П. Бабичева. – Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 409 с. ISBN 5-222-09330-1. 2. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 416 с. ISBN 978-59221-0582-8. 3. Суслов А.Г. Технология машиностроения: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 2004. – 400 с. ISBN 5-217-03223-5. 4. Базров Б.М. Модульные технологии. – М.: Машиностроение, 2001. – 368 с. ISBN 5-217-03061-5. 5. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с. ISBN 966-7907-24-4. 6. Михайлов А.Н., Михайлова Е.А., Михайлов Д.А. Основы синтеза композиционных технологий машиностроения // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні / Вісник Національного університету «Львівська політехніка». № 713 – Львів: НУ «Львівська Політехніка», 2011. С. 23 - 31. ISSN 0321-0499.

## ПРОБЛЕМЫ И ОШИБКИ ПРИ ВНЕДРЕНИИ СМК НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Момот А.И., Мартынюк Е.С.

ДонНТУ, г.Донецк, Украина

e-mail:elenam-09@mail.ru

**Abstract:** the analysis of problems and errors of the functionings systems of management of quality is conducted on industrial enterprises. The results of audits of the systems of management of domestic enterprises which inculcated international standards are considered ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001.

**Key words:** systems of management of quality, industrial enterprises, audits, international standard, level of quality.

**Постановка проблемы.** К высшему руководству организации рано или поздно приходит понимание того, что для повышения возможностей предприятия, обеспечения конкуренции, расширения границ рынка сбыта продукции необходимо упорядочивание направлений деятельности компании.

Уровень качества производимой продукции различен для каждой компании. В разных компаниях существуют различные факторы, которые влияют на качество производимой продукции. Для более быстрого роста компании в рыночной среде необходимо постоянно совершенствовать процессы улучшения качества [1, с.17].

**Анализ последних исследований.** Вопросы внедрения системы менеджмента качества и направления ее улучшения рассмотрены в статье Бакуменко Е.М. [1]. Хармс К.Ю. в своей работе анализирует проблемы улучшения и обеспечения качества на промышленных предприятиях [2]. Статья Чухиль В.Н. посвящена реальным проблемам, с которыми сталкиваются машиностроительные предприятия при создании Систем менеджмента качества (СМК), соответствующих ISO 9001 [3].

**Выделение нерешенных ранее частей проблемы.** В настоящее время достаточно много публикаций посвящено проблемам СМК на предприятиях, однако вопросы внутренних процессов СМК, проблемы и ошибки, с которыми сталкиваются предприятия при их внедрении мало описаны в литературе.

**Цель статьи.** Проведение анализа проблем и ошибок при внедрении СМК на промышленном предприятии.

**Основной материал.** Можно предположить, что предприятия, предлагающие продукцию или услуги, имеют цель работать по возможности без дефектов. Однако практика показывает, что на большинстве предприятий не всегда последовательно занимаются систематическим улучшением качества, несмотря на то, что обеспечение качества оказывает значительное влияние на рентабельность предприятия [2, с.85].

По мнению специалиста по качеству, аудитора Хармса К.Ю. проблемы, связанные с необходимостью улучшать качество существуют на многих предприятиях. Если руководитель организации сам постоянно не интересуется о качестве собственной продукции и качестве изделий своих конкурентов, то качество никогда не станет частью философии организации. Высокое требование к качеству должно демонстрироваться на личном примере руководителя, как лидера предприятия, иначе сотрудники сами не захотят себя оценивать.

Улучшения и новые результаты должны быстро проявляться и становиться очевидными как для сотрудников, так и для клиентов. Сотрудники мотивируются и могут себя идентифицировать относительно улучшенных достижений. Сегодня, в эпоху рынков сбыта решающее значение имеет не только обеспечение качества выполняемых работ, но и качество контактов или информационного обмена. Если клиенты оценивают качество работы как хорошее, а поведение сотрудников как негативное, то предприятие не может рассчитывать на повторный заказ.

В промышленности системы качества и процедуры сертификации применяются уже достаточно долго. Тем не менее, широко распространенной ошибкой является подход, когда в основу стандартов по менеджменту качества кладут требования к качеству производимого конечного продукта. Разработка соответствующих систем менеджмента качества по требованиям стандартов означает только, что было соблюдено измеренное по этим стандартам качество организационных рамок для изготовления продукции или предоставления услуги [2, с.85-86].

Как отмечает Хармс К.Ю., сегодня нет надёжных, получивших научную оценку выводов о том, дает ли применение процедуры ISO 9000, действительно, улучшение качества. Скорее можно предположить, что фирмы, разработавшие и внедрившие СМК, должны брать во внимание ослабление своей позиции на рынке. Многочисленные бюрократические затраты часто приводят к утрате мотивации сотрудников, а также к оттоку денежных средств и ресурсов от других важных сфер.

Среди проблем при внедрении системы менеджмента качества на промышленном предприятии следует выделить такие, которые являются по мнению Чухилия В.Н. главными [3, с.68]:

- после принятия решения на высшем уровне о создании СМК служба качества готовит приказ «О создании Координационного Совета по качеству», в состав которого включаются заместители директоров, главные специалисты, руководители структурных подразделений, отделов (кроме цехов). Необходим совсем другой приказ – «О создании координационно-рабочей группы по разработке СМК предприятия», включающий в эту группу специалистов из всех структурных подразделений;
- создавать работоспособный стандарт предприятия (СТП) могут только опытные специалисты, знающие описываемый процесс – начальники отделов, подразделений, ведущие специалисты, инженеры высших категорий;
- специалисты производственных отделов почему-то оказываются далеки от проблем качества. Они затрудняются описать свою деятельность и свои процессы;
- необходимость контроля выполнения приказа о создании СМК по ISO 9001 со стороны 1-го руководителя или уполномоченного им лица. Если приказ никем не контролируется, то поставленные в нем задачи обычно не выполняются, дорогое время уходит и все думают, что это уже не нужно.

По мнению специалиста по системам менеджмента Кучкина В.И. о результатах проведенного анализа аудитов систем менеджмента отечественных предприятий, возникли такие проблемы действующих СМК:

- сотрудники не знают о создании системы менеджмента либо не ознакомлены с её требованиями;
- сотрудники не чувствуют заинтересованности руководителей в системе;

- руководство не проявляет требовательности к соблюдению процедур системы;
- не установлены в полном объеме критерии и методы, гарантирующие, что управление и контроль процессов осуществляются результативно;
- в основном, измеряются и анализируются технологические процессы;
- тип и величина контроля процессов, переданных по аутсорсингу, не определены в рамках системы менеджмента качества;
- в документации по качеству не в полной мере определены последовательность и взаимодействие процессов, не установлены критерии для обеспечения результативности, как при осуществлении, так и при управлении этими процессами;
- входные данные моделей процессов не содержат ссылок на процессы, выходные данные которых являются входом для данного процесса;
- нет однозначной и полной оценки удовлетворенности потребителя;
- не весь персонал ознакомлен с политикой, целями, экологическими аспектами, процедурами и требованиями системы менеджмента;
- сотрудники, связанные с опасными работами, не обучены, не осведомлены о последствиях;
- имеются повторяющиеся замечания со стороны надзорных органов по вопросам соблюдения законодательных и нормативных требований;
- результаты экологического мониторинга не попадают в подразделения для анализа и принятия решений;

**Выводы.** Таким образом, если предприятие ориентируется только на удовлетворенность клиентов, то в разных сферах поневоле рассматриваются и обрабатываются вопросы качества, однако при этом не имеет места максимальное использование ресурсов, заложенных в менеджменте качества. Только систематическое применение разных инструментов в области менеджмента качества обеспечивает применение всех выявляемых данных и факторов для оптимизации процесса. Только таким образом обеспечивается полное использование всех ресурсов [2, с.87].

**Список литературы:** 1. Бакуменко Е.М. Направления улучшения системы менеджмента качества/ Качество объектов микро-, мезо-, макро- экономики, бухгалтерского учета и аудита, экономического анализа и финансово-кредитной деятельности.- г. Тамбов. :Из-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ».-2011.-140с. 2. Клаус Ю.Х. Некоторые аспекты менеджмента качества / Das Management.-2010.-№4.-С.85-87. 3. Чухиль В.Н. Реальные проблемы при создании СМК по ИСО 9001 на предприятиях. Взгляд изнутри / Das Management.-2010.-№4.-С.68-70. 4. Кучкин В.И. Анализ результатов аудитов систем менеджмента отечественных предприятий [Электронный ресурс].- Электрон. данные.- 1 CD-ROM.



# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТРУЖКИ ИНСТРУМЕНТОМ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ПРОФИЛЬНЫХ ПАЗОВ

Нечепасев В.Г., Мышов М.С.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел.: +3 (062) 3010820; E-mail: opm@mech.dgtu.donetsk.ua

**Abstract:** It was shown, that profile slots milling is attended by repeated interaction of chip component with cutter. This interaction causes of working error occurrence which determines of profile slots working accuracy. Modelling of process chip deformation was made with cutter when milling profile slots. The relationship was determined between chip component geometry and geometry and cutting parameters of profile slots milling for standardized scheme of chip component deformation when it repeatedly interacted with cutter. The expression for determination of repeated interaction force of chip component with cutter was given as a function of cutter diameter and tooth loading. The graphical interpretation of received results was performed.

**Key words:** milling, chip, force factors, working error, working accuracy, profile slot.

В изделиях станкостроения и общего машиностроения широкое применение находят профильные пазы с различной конфигурацией поперечного сечения, которые, кроме закрепления деталей и приспособлений, одновременно выполняют также функцию их ориентации относительно базовых элементов станка. Поэтому одним из основных условий, обуславливающих высокие эксплуатационные свойства таких изделий, является обеспечение достаточной точности обработки пазов, то есть минимизации погрешности обработки пазов. При этом профильные пазы являются весьма нетехнологичными элементами конструкций, поскольку их конфигурация и принятая схема обработки обуславливают затрудненный отвод стружки.

В [1, 2] показано, что погрешность обработки профильных пазов в существенной степени определяется процессом повторного взаимодействия отделённой стружки с режущим инструментом. Анализ полученных экспериментальных данных позволил сделать вывод о том, что около 63% отделенной стружки повторно взаимодействует с режущим инструментом.

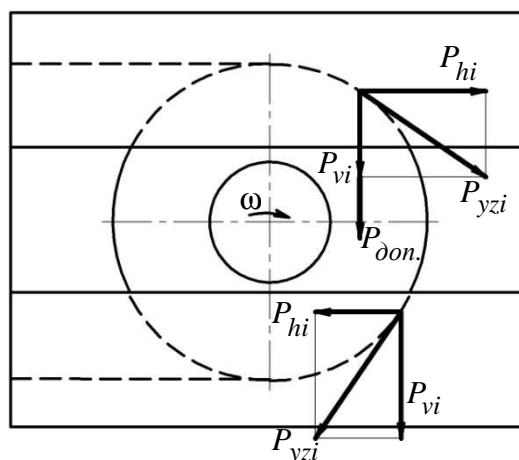


Рис. 1. Схема действия составляющих сил резания при фрезеровании профильного Т-образного паза

В [3] установлена структура и механизм формирования погрешности обработки профильных пазов. Показано, что погрешность обработки профильных пазов  $\omega_{\Sigma}$  в основном обусловлена погрешностями, вызванными упругими деформациями режущего инструмента вследствие отделения стружки  $\omega_{рез.}$  и повторным взаимодействием отделённой стружки с режущим инструментом  $\omega_{рез.стр.}$ .

$$\omega_{\Sigma} = \omega_{рез.} + \omega_{рез.стр.} \quad (1)$$

Погрешность  $\omega_{рез.}$  применительно к рассматриваемому вопросу обусловлена соответствующей ориентацией составляющих

силы резания при фрезеровании профильных пазов (рис. 1). На рис. 1 видно, что вертикальные составляющие силы резания  $P_{vi}$ , формирующиеся в зоне резания зубьями фрезы противоположных боковых поверхностей паза, направлены в одну сторону и определяют соответствующую деформацию режущего инструмента. Деформация оси фрезы, в свою очередь, вызывает погрешность обработки паза, которая не может быть устранена или минимизирована без снижения режимов обработки.

Погрешность  $\omega_{рез.стр.}$  обусловлена повторным взаимодействием режущего инструмента с отделенной стружкой. Вследствие этого взаимодействия возникает дополнительное усилие на режущий инструмент  $P_{дон.}$  (рис. 1), которое обуславливает соответствующую деформацию инструмента. Указанное отклонение оси определяет дополнительную погрешность обработки. Как следует из рис. 1, направление вектора  $P_{дон.}$  совпадает с вертикальной составляющей  $P_{vi}$  силы резания  $P_{yzi}$ .

Таким образом, погрешность обработки, вызванная действием силы  $P_{дон.}$ , суммируется с погрешностью, вызванной деформацией инструмента под действием силы резания  $P_{yzi}$ , существенно усугубляя ее.

В [3] показано, что устранение, либо снижение погрешности обработки, обусловленной повторным взаимодействием профильных фрез с отделенной стружкой, является существенным резервом повышения точности обработки профильных пазов.

В [4] выполнен системный анализ объекта исследования - системы обеспечения качества при обработке профильных пазов, в результате чего выделены 2 подсистемы и 4 модуля, а также установлены их взаимосвязи. Для описания функционирования выделенных подсистем и модулей, а также системы обеспечения качества в целом, установлен комплекс необходимых математических моделей и их структура.

Ключевой моделью такого комплекса математическая модель деформирования стружки инструментом в процессе фрезерования профильных пазов для определения силовых факторов, сопровождающих этот процесс. Указанные силовые факторы обуславливают деформацию режущего инструмента и соответствующую погрешность обработки профильных пазов.

При разработке модели приняты следующие основные допущения:

- элемент стружки может быть представлен в виде единичной замкнутой тонкостенной цилиндрической круговой оболочки.
- опасным напряжением, при котором происходит разрушение стружки в процессе её повторного взаимодействия с режущим инструментом, является предел текучести материала обрабатываемого профильного паза.

Ограничением модели приняты:

- геометрические параметры фрез для фрезерования профильных пазов, предусмотренные стандартом [5] ( $D_{фрезы} = 12.5...95$  мм);
- режимные параметры процесса фрезерования профильных пазов, предусмотренные стандартом [5] (диапазон подачи на зуб фрезы  $S_z = 0.03...0.12$  мм/зуб);

- физико-механические свойства обрабатываемых материалов (марки стали, которые по действующей классификации могут быть отнесены к пластичным материалам).

В качестве исходного уравнения для разработки модели принято дифференциальное уравнение общей теории расчёта замкнутых тонкостенных цилиндрических круговых оболочек в развёрнутом виде [6, 7]

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^8 \Phi}{\partial \xi^8} + 2 \frac{\partial^6}{\partial \xi^6} (2 \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + \nu) \Phi + \frac{\partial^4}{\partial \xi^4} (6 \frac{\partial^6}{\partial \theta^6} + 6 \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + 1) \Phi + 2 \frac{\partial^2}{\partial \xi^2} \left[ 2 \frac{\partial^6}{\partial \theta^6} + \right. \\ & \left. + (4 - \nu) \frac{\partial^4}{\partial \theta^4} + \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right] \Phi + \frac{\partial^4}{\partial \theta^4} \left( \frac{\partial^4}{\partial \theta^4} + 2 \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + 1 \right) \Phi + 4\beta \frac{\partial^4 \Phi}{\partial \xi^4} = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

В уравнении (2)  $\Phi(\xi, \theta)$  - разрешающая функция, через которую определяются силовые факторы;  $\xi$  и  $\theta$  - безразмерные координаты;  $\beta$  - геометрическая характеристика замкнутой тонкостенной цилиндрической круговой оболочки

$$\beta = 4 \sqrt{3(1 - \nu^2)} \frac{R^2}{\delta^2}, \quad (3)$$

где  $\nu$  - коэффициент Пуассона;  $\delta$  - толщина оболочки;  $R$  - внешний радиус оболочки.

Уравнение (2) описывает краевой эффект изгиба оболочки в продольном направлении и полубезмоментное напряжённое состояние изгиба оболочки в кольцевом направлении.

Из общего дифференциального уравнения (2) выделим производные разрешающей функции только по координате  $\xi = x/R$  (где  $x$  - текущая координата вдоль образующей оболочки), а полубезмоментное напряжённое состояние изгиба оболочки в кольцевом направлении рассматривать не будем.

Тогда решение уравнения (2) может быть представлено в виде [8]

$$\begin{aligned} w(\xi, \theta) = & [w_0 \Phi_1 + \frac{R}{\beta} \vartheta_0 \Phi_2 + \frac{4\beta^2}{E\delta} M_1^0 \Phi_3 + \frac{4R\beta}{E\delta} Q_1^0 \Phi_4 + \sum \frac{4R\beta}{E\delta} P \Phi_4^* + \\ & + \sum \frac{4\beta^2}{E\delta} M \Phi_3^* + \sum \int \frac{4R\beta}{E\delta} q \Phi_4^* dx_0] \cos n\theta, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$ , - функции Крылова;  $M_1^0$  - изгибающий момент в начале координат;  $Q_1^0$  - поперечная сила в начале координат;  $w_0$  - прогиб в начале координат;  $\vartheta_0$  - угол поворота в начале координат;  $E$  - модуль Юнга;  $P$  - поперечная сила;  $M$  - изгибающий момент;  $q$  - распределённая нагрузка;  $x_0$  - координата, определяющая положение распределённой нагрузки;  $n$  - количество членов разложения нагрузки в ряд Фурье.

После двойного дифференцирования уравнения (4) получим уравнение изгибающих моментов в виде:

$$M_1(\xi, \theta) = (M_1^0 \Phi_1 + \frac{R}{\beta} Q_1^0 \Phi_2 - \frac{E\delta}{\beta^2} w_0 \Phi_3 - \frac{ER\delta}{\beta^3} \vartheta_0 \Phi_4 +) \cos n\theta. \quad (5)$$

Уравнение (5) после определения значений изгибающего момента и прогиба в начале координат (посередине пролёта оболочки или в месте приложения сосредоточенной силы  $P$ ) и подстановки в него выражения для сосредоточенной силы, разложенной в ряд Фурье, запишется в виде

$$M_1(\xi, \theta) = \sum \frac{P(\theta)R}{4\beta} U(\beta\xi), \quad (6)$$

где  $U(\beta\xi)$  - быстро затухающая функция.

Нормальные напряжения в сечении стружки

$$\sigma(\xi, \theta) = \frac{M_1(\xi, \theta)}{W} = \frac{1}{W} \sum \frac{P(\theta)R}{4\beta} U(\beta\xi) = \frac{1}{\pi R^2 \delta} \sum \frac{P(\theta)R}{4\beta} U(\beta\xi), \quad (7)$$

где  $W = \pi R^2 \delta$  - момент сопротивления элемента стружки.

Из анализа формулы (7) видно, что наибольший изгибающий момент  $M_{\max}$  имеет место в начале координат. Следовательно, и наибольшие нормальные напряжения  $\sigma_{\max}$  имеют место в этой же зоне, то есть

$$M_{\max} = M_1(0,0) = \frac{3PR}{2\pi R 4\beta} = \frac{3P}{8\pi\beta}, \quad (8)$$

и соответственно

$$\sigma_{\max} = \frac{M_1(0,0)}{W} = \frac{3P}{8\pi^2 \beta R^2 \delta}. \quad (9)$$

Таким образом, принимая в качестве разрушающего напряжения предел текучести материала обрабатываемого паза, можно определить значение силы, обуславливающей деформацию фрезы и соответствующую погрешность обработки профильного паза вследствие повторного взаимодействия отделённой стружки с инструментом

$$P = \frac{8\pi^2 \beta R^2 \delta \sigma_{\max}}{3} = \frac{8}{3} \pi^2 4 \sqrt{3(1-\nu^2)} \frac{R^2}{\delta^2} R^2 \delta \sigma_m = \frac{8}{3} \pi^2 R^2 \sigma_m \sqrt[4]{3(1-\nu^2) R^2 \delta^2}. \quad (10)$$

Выражение (10) устанавливает функциональную связь между формирующимися силами и геометрическими параметрами элемента стружки  $R$  и  $\delta$ .

Для определения влияния технологических факторов на формирующиеся силы установлена связь между геометрическими параметрами стружки (радиус элемента стружки  $R$  и толщина элемента стружки  $\delta$ ) и геометрическими (диаметр фрезы  $D_\phi$ ) и режимными (подача на зуб фрезы  $S_z$ ) параметрами процесса фрезерования профильного паза.

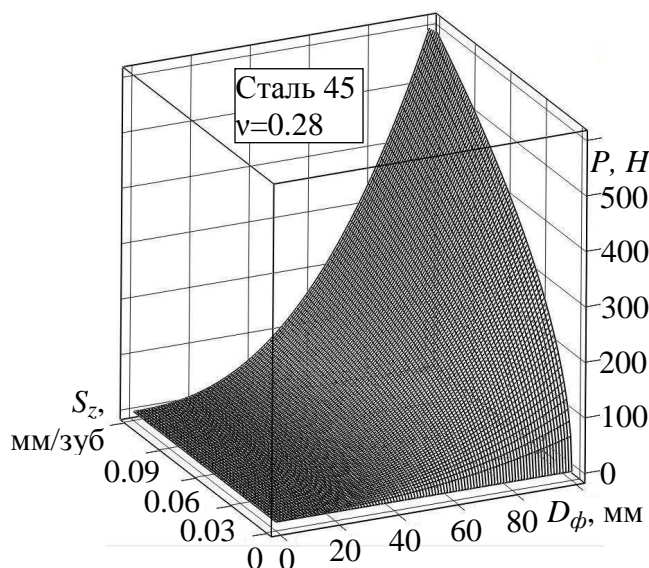


Рис. 2. График поверхности изменения силы повторного взаимодействия элемента стружки с режущим инструментом  $P$  как функции подачи на зуб фрезы  $S_z$  и диаметра фрезы  $D_\phi$

Зависимость, связывающая внешний радиус элемента стружки  $R$  и диаметр Т-образной фрезы  $D_\phi$  имеет вид

$$R = \frac{1}{720} D_\phi \arccos(a / D_\phi). \quad (11)$$

Зависимость, связывающая максимальную толщину элемента стружки (максимальную ширину срезаемого слоя) и подачу на зуб фрезы  $S_z$  имеет вид

$$\delta_{\max} = S_z. \quad (12)$$

Подставляя в уравнение (10) выражения (11) и (12), получено выражение для определения силы повторного взаимодействия элемента стружки с фрезой  $P$  как функцию диаметра фрезы  $D_\phi$  и подачи на зуб  $S_z$

$$P = \frac{8}{3} \pi^2 \sigma_m \left( \frac{1}{720} D_\phi \arccos\left(\frac{a}{D_\phi}\right) \right)^2 \sqrt{3(1-\nu^2) \left( \frac{1}{720} D_\phi \arccos\left(\frac{a}{D_\phi}\right) \right)^2 S_z^2}. \quad (13)$$

Анализ графической интерпретации зависимости (13) (рис. 2) позволяет сделать следующие выводы:

- зависимость силы повторного взаимодействия элемента стружки с режущим инструментом  $P$  от подачи на зуб  $S_z$  имеет нелинейный характер во всём возможном диапазоне значений режимных параметров при фрезеровании профильных пазов, установленных действующим стандартом [5];
- зависимость силы повторного взаимодействия элемента стружки с режущим инструментом  $P$  от диаметра фрезы  $D_\phi$  имеет нелинейный характер во всём возможном диапазоне значений геометрических параметров при фрезеровании профильных пазов, установленных действующим стандартом [5];
- изменение диаметра фрезы  $D_\phi$  определяет более существенное изменение силы повторного взаимодействия элемента стружки с фрезой  $P$  по сравнению с подачей на зуб  $S_z$ . Так, например, увеличение  $S_z$  в 4 раза (от  $S_z = 0.03$  мм/зуб до  $S_z = 0.12$  мм/зуб) обуславливает увеличение  $P$  в 2 раза для всего диапазона диаметров фрез, установленных стандартом [5]. Увеличение же диаметра фрезы в 4.5 раза (от  $D_\phi = 21$  мм до  $D_\phi = 95$  мм) приводит к увеличению  $P$  в 30 раз ( $S_z = 0.03$  мм/зуб), в 40 раз ( $S_z = 0.05$  мм/зуб), в 50 раз ( $S_z = 0.08$  мм/зуб), в 68 раз ( $S_z = 0.12$  мм/зуб);
- одновременное увеличение подачи на зуб  $S_z$  и диаметра Т-образной фрезы  $D_\phi$  обуславливает более интенсивное увеличение силы повторного взаимодействия элемента стружки с режущим инструментом  $P$  по сравнению с увеличением каждого отдельно взятого из этих параметров.

## Выводы

1. Показано, что процесс фрезерования профильных пазов сопровождается повторным взаимодействием стружки с режущим инструментом, обуславливающим возникновение соответствующих погрешностей обработки в существенной мере определяющей точность обработки профильных пазов.

2. Выполнен системный анализ формирования погрешностей обработки профильных пазов, в результате чего установлены взаимосвязи между элементами рассматриваемой системы. Для описания функционирования отдельных подсистем и модулей, а также системы в целом, установлено необходимое количество математических моделей.

3. На основе теоретических положений основных разделов механики упругих деформированных систем (теории балки на сплошном упругом основании и теории замкнутых тонкостенных цилиндрических круговых оболочек) выполнено моделирование процесса повторного взаимодействия элемента стружки с режущим инструментом при фрезеровании профильных пазов.

4. Установлена функциональная связь между геометрическими параметрами стружки и геометрическими и режимными параметрами процесса фрезерования профильного паза.

5. Выполнен анализ функциональной зависимости, устанавливающей связь между геометрическими и режимными параметрами процесса фрезерования и внутренними силовыми факторами, в существенной мере влияющими на погрешность обработки профильных пазов.

**Список литературы:** 1. Нечепаяев В.Г. Анализ повторного взаимодействия стальной стружки с инструментом при фрезеровании профильных пазов/ Нечепаяев В.Г., Гнисько А.Н., Мышов М.С.// Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сборник научных трудов. – Краматорск, вып. №28, 2011. – С. 32-38. 2. Нечепаяев В.Г. Постановка задачи повышения точности обработки профильных пазов/ Нечепаяев В.Г., Гнисько А.Н., Мышов М.С.// Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – Вып. 79. – С.184-191. 3. Нечепаяев В.Г. Структура формирования погрешностей при фрезеровании профильных пазов/ Нечепаяев В.Г., Мышов М.С.// Известия ТТИ ЮФУ–ДонНТУ. Материалы Тринадцатого Международного научно - практического семинара «Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы». В 3-х кн. – Таганрог. Изд-во ТТИ ЮФУ. Кн. 3. 2012, № 12. – С. 229- 238. 4. Нечепаяев В.Г. Системный подход к обеспечению качества обработки профильных пазов/ Нечепаяев В.Г., Гнисько А.Н., Мышов М.С.// Наукові праці Донецького національного університету. Серія «Машинобудування і машинознавство». – 2012. – Вип. 9 (205). – С. 163-169. 5. ГОСТ 7063-72 (СТ СЭВ 115-79). Фрезы для обработки Т-образных пазов. Технические условия. – Взамен ГОСТ 7063-63; введ. 01.01.74.– М.: Изд. стандартов, 1972.–12 с. 6. Гольденвейзер А.Л. Теория упругих тонких оболочек. - М.: Наука, 1976.-512 с. 7. Власов В.З. Общая теория оболочек и ее приложения в технике. - М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1949. -784 с. 8. Шевченко Ф.Л. Механіка пружних деформівних систем Частина 2. Складний напружений стан: Навчальний посібник. – Донецьк: ДонНТУ, 2007. –306 с.

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА И СУЩНОСТЬ КОРПОРАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ

Норенко Ю.И., Момот А.И.  
ДонНТУ, г.Донецк, Украина  
Тел./факс: +38 062 263 78 3; E-mail:

**Abstract:** *There have been proposed author's definition of "Corporate management technology", addresses the patterns of their formation. Conclusions about their role in improving the efficiency of enterprises.*

**Keywords:** *corporate governance, corporate management, management of technology, standards, efficiency.*

Создание теории корпоративного управления уходит в глубину веков, и начинается вместе с историей появления первых промышленных предприятий, хотя отдельные черты корпоративного управления существуют уже достаточно долго. Исследуя особенности прошедших столетий и сопоставляя их с современным историческим периодом, ученые делают вывод о том, что основным двигателем экономического развития общества в XIX в. было предпринимательство, в XX в. - менеджмент, а в XXI в. — становится корпоративное управление.

Вопросам корпоративного управления в последнее время посвящено достаточно большое количество публикаций. Однако все они в основном рассматривают корпоративное управление как систему взаимоотношений между руководством компании (советом директоров) и всеми другими заинтересованными лицами (акционерами, инвесторами и т.д.), с помощью которой обеспечиваются права акционеров и комплекс механизмов по контролю за деятельностью высшего руководства компании. Например, в отдельных работах [1; 2; 3; 7] исследуются вопросы формирования моделей корпоративного управления (англо-американской, немецкой, японской, семейной, российской), каждая из которых имеет свои отличия, зависящие от особенностей региональной и экономической специфики. В статьях [4; 5] корпоративное управление рассматривается в контексте теории стейкхолдеров или теории заинтересованных сторон (stakeholder concept, stakeholder theory).

Цель данной статьи заключается в исследовании экономической природы и сущности корпоративных технологий управления.

Для успешного функционирования компаниям необходимы корпоративные технологии управления, основанные на достижениях научно-технического прогресса.

Рассмотрим сущность корпоративных управленческих технологий. В настоящее время этим вопросам уделялось в работах, в основном зарубежных ученых. Но сначала следует разобраться в определении самой дефиниции «технология». Ее определяют как науку о способах переработки сырья и материалов для получения готовых изделий. С другой стороны технологией называют также процессы обработки, при которых происходит изменение обрабатываемого продукта.

В основе всех существующих определений находится понятие, происходящее от древне-греческого: τέχνη — искусство, мастерство, умение; λόγος — мысль, причина; методика, способ производства [6]. В большинстве литературных источников термин «Технология» определяется как совокупность средств, процессов, операций, методов, с помощью которых осуществляется производственный процесс.

Одни из первых авторов, который ввел термин «технологии управления» и исследовал их свойства и структуру был М.Марков в работе «Технология и эффективность социального управления» [8]. В дальнейшем этой темой занимались В. Комаров в работе

«Управленческие имитационные игры» [9], а также Э.Смирнов в статье «Управленческие технологии как объект функционального аудита» [10], Авраменко Е. В статье «Международный трансферт управленческих технологий и глобализация мировой экономики» [11].

Поэтому сущность корпоративных управленческих технологий, по мнению ряда авторов [12; 1; 2], сводится к следующему: технологизация управления позволяет осуществить дробление управленческого процесса на отдельные процедуры и операции, с последующей их регламентацией.

Мы согласны с данным определением, однако оно нуждается в дополнении и уточнении. На наш взгляд, существенным дополнением может быть указание на необходимость описания управленческой технологии в виде процедур, разработанных в соответствии с требованиями международных стандартов ISO 9000.

Повсеместное использование технологий затронуло не только производственные отрасли, но и сферу управления. Особенно широкое распространение в этой сфере получили такие технологии управления как: бизнес-технологии, технологии менеджмента, корпоративные технологии, технологии планирования и др, которые все чаще стали называться *новыми* управленческими технологиями.

К ним следует отнести системы менеджмента качества и экологического менеджмента, системы управления безопасностью пищевых продуктов, системы стандартов профессиональной безопасности, системы социальной ответственности, системы «бережливого производства», системы CALS-технологий, автоматизированные ERP-системы управления предприятием и др. Данные корпоративные системы управления создаются в соответствии и с помощью корпоративных стандартов, в т.ч., таких как, ISO 9000, ISO 14000, ISO 22000, ISO 18000, ISO 26000, SAEJ4000 и др.

Анализ литературных источников позволил выявить большое количество дефиниций понятия «технология», однако все они, в конечном итоге, сводятся к принципу разложить любой процесс управленческой деятельности компании на составные элементы, в целях повышения эффективности осуществления отдельных операций. Проведенные исследования позволили дать определение корпоративным технологиям управления как совокупности методов, процессов, средств и материалов, используемых для осуществления корпоративной управленческой деятельности, описанных в виде документированных процедур, разработанных в соответствии с требованиями международных стандартов ISO 9000.

Изученная практика работы зарубежных и отечественных компаний позволяет сделать вывод о том, что наличие эффективных корпоративных систем управления в большинстве случаев становится основой для улучшения финансовых показателей, повышения качества управленческих решений, получения целого ряда других преимуществ, за счет снижения условно-постоянных затрат, сокращения численности персонала, снижения расходов на административно-управленческих работников.

**Список литературы:** 1. Круглов М.Г. Концепция формирования на российских предприятиях корпоративных систем все более высокого уровня / М.Г.Круглов // Стандарты и качество. – 2000. – № 3. – С. 54-60. 2. Пирогов В. И. Сущность управленческих технологий / В. И. Пирогов, С. К.Завьялов, Г. Р. Мукушев // Всероссийский экономический журнал «ЭКО». – 2007. – № 5. – [‘Электронный ресурс’]. – Режим доступа: [http://econom.nsc.ru/eco/arhiv/ReadStatiy/2007\\_05/Pirogov.htm/](http://econom.nsc.ru/eco/arhiv/ReadStatiy/2007_05/Pirogov.htm/). 3. Модели корпоративного управления: опыт зарубежных стран и России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ppa.gov.ua/about\\_agency/24539/24542/](http://ppa.gov.ua/about_agency/24539/24542/). 4. Зуб А.Т. Стратегический менеджмент. Теория и практика / А.Т. Зуб. – М: АСПЕКТ ПРЕСС, 2002. – 415 с. 5. Freeman R. Edward, Moutchnik Alexander. Stakeholder management and CSR: questions and answers/ R. Edward Freeman, Alexander Moutchnik. // In: UmweltWirtschaftsForum, Springer Verlag, Vol. 21, Nr. 1. – [‘Электронный ресурс’]. – Режим доступа: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00550-013-0266-3>. 6. Бизнес словарь – [‘Электронный ресурс’]. – Режим доступа:



<http://www.doclist.ru/slovar/tehnologija.html>. 7. Модели корпоративного управления [‘Электронный ресурс’]. – Режим доступа: <http://www.grandars.ru/college/ekonomika-firmy/korporativnoe-upravlenie.html/>. 8. Марков М. Технология и эффективность социального управления. Пер. с болгарского. М.: Прогресс, 1982. – 226 с. 9. Комаров В.Ф. Управленческие имитационные игры. Новосибирск: Наука, 1989. – 272. 10. Смирнов Э.А. Управленческие технологии как объект функционального аудита // Менеджмент в России и за рубежом. 2000. № 3. С. 38. 11. Авраменко Е. С. Международный трансферт управленческих технологий и глобализация мировой экономики // Известия Уральского государственного университета. 2004. № 29. С. 22–30. 12. Газин Г. Корпоративное управление в России: реальное конкурентное преимущество. / Г.Газин // Вестник McKinsey. – 2003. – № 1(3). – [‘Электронный ресурс’]. – Режим доступа: <http://www.vestnikmckinsey.ru/>.

УДК 338.32

## КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Самойлов П.И., Дреко Ю.О.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина  
Тел. +38 (062)301-08-92 E-mail: [quality@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:quality@mech.dgtu.donetsk.ua)

**Abstract:** Offered the opportunity to use this equipment management systems in the domestic enterprise. The dependence of the efficiency of its equipment from service. The research of using equipment efficiency estimation was conducted.

**Keywords:** efficiency, optimization, equipment use, use indicators, criterion function.

**Постановка проблемы.** В данный момент недостаточное внимание уделяется комплексному исследованию решения задач повышения эффективности деятельности предприятия через совершенствование методик управления состоянием оборудования. Особое внимание эти вопросы затрагивают предприятия машиностроительного и металлургического комплексов. Так как деятельность предприятий этих отраслей определяет темпы научно-технического прогресса как в них самих, так и в других отраслях народного хозяйства.

А ведь для обеспечения стабильности производственного процесса, необходимо эффективно эксплуатировать оборудование и не допускать ситуаций возникновения потерь. Потери – прямые или косвенные действия, возникающие в процессе производства, которые влекут за собой временные или другие виды затрат, без добавления ценности изделию. Для минимизации потерь производственные и вспомогательные процессы должны быть организованы оптимальным образом, т.е. необходимо производить изделие высокого качества при минимальных затратах и в срок требуемый потребителем.

Эффективность использования оборудования – основной показатель системы направленной на улучшение производства через усовершенствование подхода к управлению состоянием оборудования. Именно с определения величины показателя эффективности использования оборудования рекомендуется начинать деятельность по проведению улучшений. Этот простой показатель не отражает источники потерь, но показывает, насколько эффективно или неэффективно используется оборудование. При подсчете данного показателя его значение не превышает 40-60% для дискретного производства, и 50-75% для автоматического производства. Когда при оценке эффективности использования оборудования на предприятиях мировых лидерах эти показатели соответственно свыше 85% и более 95%.

**Использование данной проблемы в публикациях.** Данную проблему в своих работах рассматривали много учёных- экономистов таких как: Акбердин Р.З., Акбердина Р.А., Баженов Г.Е., Владзиевский А.П., Власов В., Ивуть Р.Б., Колегаев Р.М., Кенеди Р., Мацца Л., Федина С.Ю., Бурашников А.Ю., Пшенников В.В. Орлов А.П., Петухов Р.М., Якобас В.А., Якобсон М.О., Яковлев А.И. и др.

**Цель статьи** – проанализировать возможные причины сокращения эффективности использования оборудования.

**Изложение основного материала.** Обычно эффективность использования оборудования отождествляют с производительностью, а именно количество изделий, которое может быть произведено единицей оборудования за определенный промежуток времени. Но производительность не показывает количество качественных деталей в общем количестве произведенных, и тем более, не показывает насколько эффективно эксплуатируется оборудование.

Измеряя эффективность использования оборудования необходимо учитывать показатели: производительности и готовность оборудования, качества выпускаемой продукции и себестоимости формируемой эксплуатацией оборудования. Следовательно, в общем случае эффективность использования оборудования представить в следующем виде:

$$\mathcal{E} = f(G, P, K, C) \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}$  – эффективность использования оборудования;

$G$  – показатель готовности оборудования к выпуску продукции;

$P$  – показатель производительности выпуска продукции;

$K$  – показатель качества выпущенной продукции;

$C$  – показатель себестоимости продукции, сформированной под влиянием эксплуатации оборудования.

Рассмотрим составляющие эффективности использования оборудования. Показатель производительности оборудования - сравнительная характеристика показывающая соотношение фактической производительности оборудования к плановой производительности оборудования. Производительность оборудования – показатель, который находится как отношение количества выпущенной продукции к промежутку времени требуемой для её выпуска.

В общем виде производительность может быть представлена в виде:

$$P = \frac{K}{t_k} \quad (2)$$

где  $K$  – количество выпущенной продукции;

$t_k$  – время требуемое для выпуска  $K$  шт. продукции.

Теоретический уровень производительность выпуска продукции:

$$P = \frac{1}{t_o + t_{np} + t_{\epsilon}} \quad (3)$$

$t_o$  – операционное время, требуемое для производства единицы продукции;

$t_{np}$  – время простоя оборудования, необходимое для обслуживания оборудования;

$t_{\epsilon}$  – вспомогательное время, требуемое для производства единицы продукции.

Показатель готовности оборудования – показатель сравнивающий время, в течение которого изготавливается продукт, и номинального времени выпуска продукции.

$$R = \frac{t_{np} - t_{об}}{t_{об}} \quad (4)$$

где  $t_{об}$  – общее время простоев;

$t_{np}$  – необходимое производственное время

$$t_{об} = t_{з.ост} + t_{н.ост} + t_{н.р} \quad (5)$$

$t_{з.ост}$  – время запланированных остановок;  
 $t_{н.ост}$  – время незапланированных остановок;  
 $t_{н.р}$  – время пусконаладочных работ;

Графическое представление показателей эффективности использования оборудования представлено на рисунке 1.

Показатель качества выпущенной продукции – сравнительная характеристика показывающая соотношение количество качественных изделий к общему количеству произведенной продукции.

$$K = \frac{N_{\kappa}}{N_{об}} \quad (6)$$

где  $N_{\kappa}$  - количество качественных изделий;  
 $N_{об}$  – общее количество произведенных деталей.

Показатель себестоимости продукции, сформированной под влиянием эксплуатации оборудования - сравнительная характеристика показывающая соотношение фактической себестоимости к планируемой себестоимости.

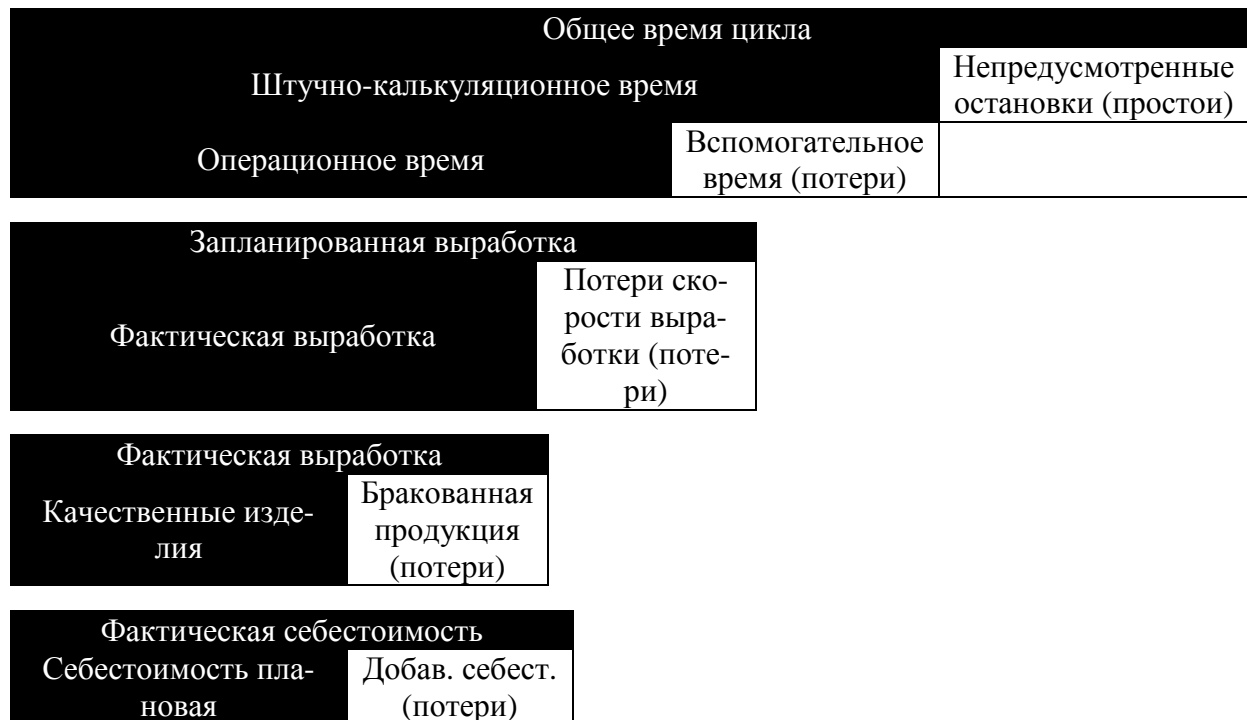


Рис. 1. Графическое представление показателей эффективности использования оборудования

$$C = \frac{C_{\phi}}{C_{\bar{o}}} \quad (7)$$

где  $C_{\phi}$  – фактическая себестоимость выпущенных изделий, сформированная работой оборудования;

$C_{\bar{o}}$  – плановая себестоимость изделий, сформированная работой оборудования.

## ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ВНЕЗАПНОГО ВЫБРОСА УГЛЯ ОТ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА В МАССИВЕ

Сергиенко А.И.

КИИ ДонНТУ, г. Красноармейск, Украина

Тел./факс. +80508640422; E-mail.: kirova142@yandex.ru

**Abstract:** Are presented numerical modelling of process of course of sudden emission of coal and gas. Dependence of the maximum speed of a stream of emission depending on initial pressure of free gas in an emission cavity is received.

**Key words:** sudden emission of coal and gas, fluid stream, pressure of free gas in a file, Speed of distribution of a stream

Выбросы твердых ископаемых и пород в шахтах и рудниках были и остаются одним из самых опасных явлений для жизни подземных рабочих.

Для объяснения сложного явления внезапных выбросов было предложено несколько гипотез, различавшихся в отношении роли, отводимой газу, давлению горных пород или напряжениям тектонического происхождения в возбуждении и развитии внезапных выбросов [1].

Так, например, Арнольд, Одибер, Руфф считали, что газ, заключенный в угле под большим давлением, при благоприятных условиях (понижении прочности угля в результате генетических особенностей, при тектонических процессах, вследствие сорбции газа или при сотрясении во время взрывных работ) может вызвать внезапное разрушение угля и увлечь его с собой при истечении в выработку Рибер, Ицинский, Морен, Жарлие, Корне считали, что причиной внезапных выбросов угля и газа является концентрация напряжений вокруг горных выработок. Стассар, Лемер, Лалиган и Бубнов рассматривали внезапные выбросы и геологических позиций остаточных напряжений тектонического происхождения или препарации угольных пластов в местах геологических нарушений.

Согласно источнику [2] выброс песчаника, происшедший 8-го марта 1962 г. во 2-м южном квершлаг шахты «Щегловка-Глубокая» (сейчас она носит название им. Поченкова) П.О. «Донецкуголь», имел интенсивность свыше 2 тыс. т. При осмотре выработки после выброса было установлено, что квершлаг на протяжении 10 м был засыпан измельченной выбросом породой на полное сечение, а дальше порода расположилась откосом на протяжении 27 м.

Выброшенная из массива порода представляет собою мелкие кусочки в виде пластинок, а иногда в виде гранулированного шлака и песка вперемешку с пластинками размером 3 - 5 см и толщиной до 3 мм.

Разрушенные при выбросах уголь и породы перемещаются по выработкам выделяющимся из них газом. Такой поток газоугольной или газопородной смеси может рассматриваться как флюидный поток [3].

При движении газоугольного или газопородного потока по выработке может разрушаться крепь и оборудование расположенное в выработке. Газовый поток может опрокидывать свежую струю воздуха и распространяться на большие расстояния. Флюидный поток характеризуется неравномерным распределением твердой фазы по поперечному сечению. В верхней части сечения частицы движутся в режиме газозвеси, в нижней - в режиме жидкости (флюида), в переходной - в режиме сольтации [4].

Флюидный поток способен переносить на значительные расстояния крупные

куски угля и породы. Мелкие частицы уносятся еще дальше, образуя при осаждении слой мелко диспергированного материала. Интенсивное осаждение частиц наступает при скорости газа 10–15 м/с. Разрушенные уголь и породы при выбросах средней и большой интенсивности располагается у забоя подготовительной выработки почти на полное сечение, а затем в виде откоса под углом значительно меньшим, чем угол естественного откоса. В верхней части выработки остается свободное пространство около 0,5 м от поверхности разрушенных угля и породы до кровли выработки.

Математическая модель процесса протекания внезапного выброса угля будет соответствовать математической модели течения жидкости [5, 6]:

$$\frac{\partial(\rho V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y)}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho V_x) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x V_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V_x V_y) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_e \frac{\partial V_x}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_e \frac{\partial V_x}{\partial y}\right), \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho V_y) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x V_y) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V_y V_y) = \rho g - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_e \frac{\partial V_y}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_e \frac{\partial V_y}{\partial y}\right),$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x k) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V_y k) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_t \frac{\partial k}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_t \frac{\partial k}{\partial y}\right) + \mu_t \Phi - \rho \varepsilon,$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho V_x \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho V_y \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y}\right) + C_{1\varepsilon} \mu_t \frac{\varepsilon}{k} \Phi - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}, \quad (3)$$

$$\mu_e = \mu + \mu_t, \quad \mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad C_{1\varepsilon} = 1,42 - \frac{\eta(1-\eta/4,38)}{1+0,12\eta^3},$$

$$\eta = \frac{k}{\varepsilon} \sqrt{2\left(\frac{\partial V_x}{\partial x}\right)^2 + 2\left(\frac{\partial V_y}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y}\right)^2},$$

$$\Phi = 2\left[\left(\frac{\partial V_x}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial V_y}{\partial y}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial V_y}{\partial x} + \frac{\partial V_x}{\partial y}\right)^2\right],$$

где  $\rho$  – заданная плотность жидкости ( $\rho = \text{const}$ ),  $g$  – ускорение свободного падения,  $V_x, V_y$  – проекции вектора скорости жидкости,  $p$  – избыточное давление жидкости,  $\mu$  – заданная физическая (ламинарная) вязкость,  $\mu_t$  – турбулентная (вихревая) вязкость,  $\mu_e$  – эффективная вязкость,  $k$  – кинетическая энергия турбулентности,  $\varepsilon$  – скорость диссипации кинетической энергии турбулентности,  $C_\mu, C_2, \sigma_k, \sigma_\varepsilon$  – эмпирические константы RNG-модели турбулентности,  $C_\mu = 0,085, C_2 = 1,68, \sigma_k = \sigma_\varepsilon = 0,72$ .

Специфика задач гидродинамики течений со свободными границами заключается в задании граничных условий на неизвестной до решения задачи границе раздела сред различных плотностей: кинематического и динамического граничных условий. Если  $F(t, x, y) = 0$  – уравнение свободной поверхности, то кинематическое граничное условие имеет вид:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(F V_x) + \frac{\partial}{\partial y}(F V_y) = 0 \quad (4)$$

Условие (4) означает, что частица жидкости, вышедшая на свободную поверхность, остается на ней во всем последующем движении. Динамическое граничное условие имеет вид

$$p = 0 \text{ на } F(t, x, y) = 0 \quad (5)$$

и выражает непрерывность давления при переходе через свободную границу.

На неподвижных твердых стенках в каждый момент времени должны выполняться условия прилипания:  $V_x = 0$  м/с,  $V_y = 0$  м/с.

На выходной границе будем полагать, что на ней должны выполняться естественные условия Неймана:

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial V_y}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial x} = 0,$$

Течение жидкости – нестационарное. В задаче помимо граничных условий должны выставляться и начальные условия.

В начальный момент времени флюид покоится и занимает область, соответствующую полости выброса; течение жидкости развивается под действием сил тяжести и с заданным первоначальным давлением, что будет соответствовать давлению газа. Для исследования течения используется модель несжимаемой весомой жидкости. Течение флюида нестационарное, турбулентное. Для замыкания уравнений турбулентности течения жидкости используется RNG - модель турбулентности.

Реализация численного решения, производится с помощью программного обеспечения ANSYS FLOTTRAN [7].

Форма полученной волны внезапного выброса, описывается волной Римана. При этом можно установить скорость движения потока и дальность выброса (рис. 1, 2).

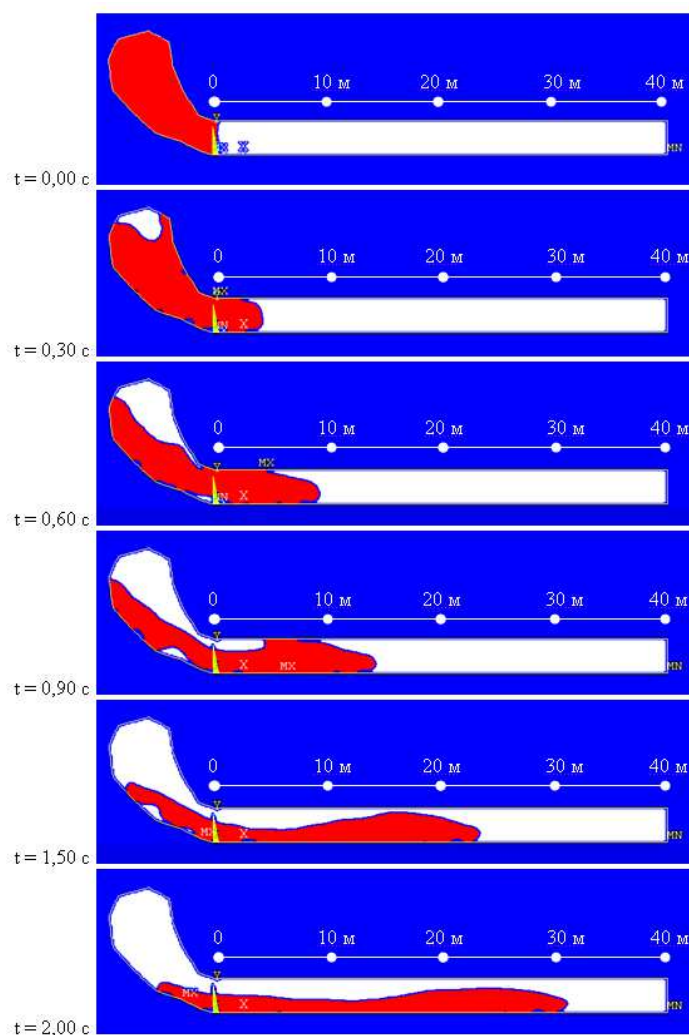


Рис. 1. Процесс протекания (во времени) внезапного выброса угля в подготовительной выработке при первоначальном давлении газа в полости выброса  $P_1=10$  атм.

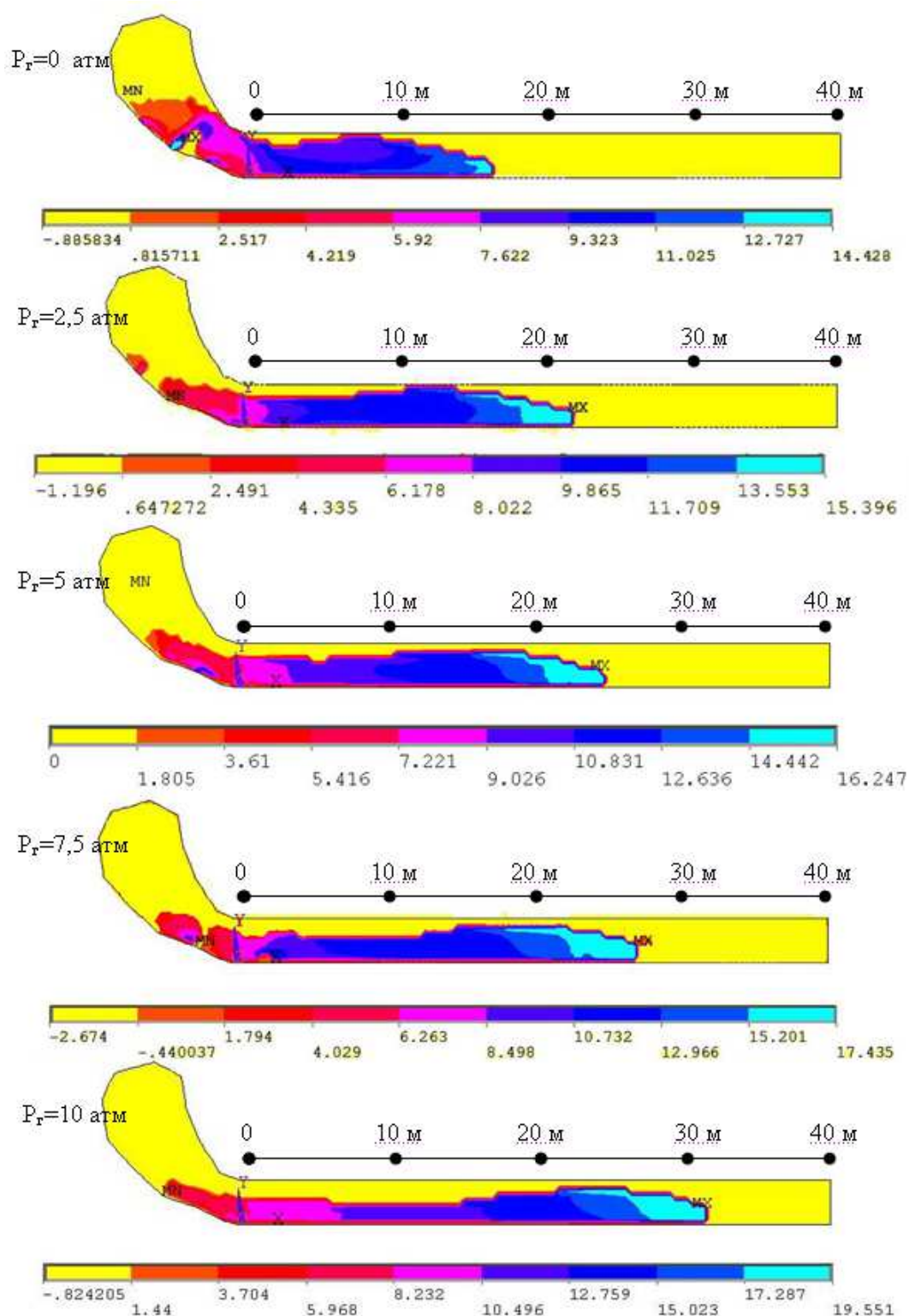


Рис. 2. Численное моделирование скорости распространения угольной массы (м/с) по выработке при внезапном выбросе угля в зависимости от первоначального давления газа.

По полученным данным численного моделирования изменения максимальной скорости движения угля при внезапном выбросе в зависимости от первоначального давления газа, строим график (рис. 3).

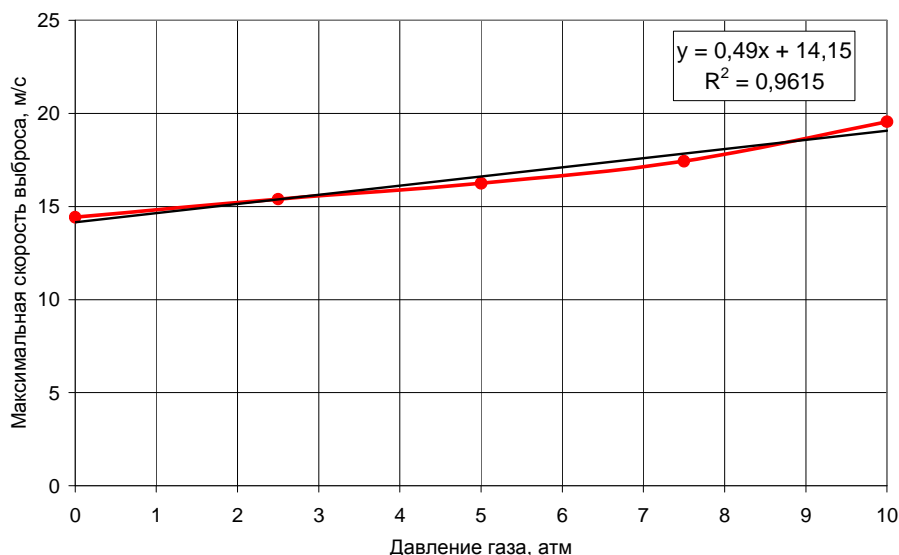


Рис. 3. График зависимости максимальной скорости движения угля при внезапном выбросе от первоначального давления газа в полости выброса.

Такая функция будет иметь линейную зависимость:

$$V_{\max} = k \cdot P_z + \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \quad (5)$$

Где  $h$  – высота от почвы выработки до купола полости выброса, м;

$P_z$  – первоначальное давление газа в полости выброса, атм;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$k$  – коэффициент пропорциональности между скоростью движения выброса и давлением газа в полости выброса,  $k = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с} \cdot \text{атм}}$ .

Таким образом, применяя численное моделирование для исследования процесса протекания внезапного выброса угля и газа, установили: зависимость максимальной скорости движения угля от первоначального давления газа в полости выброса; скорость движения потока газопыльной и газопородной смеси не зависит от интенсивности внезапного выброса.

Практически, установив скорость распространения потока выброшенной массы угля, можно установить первоначальное давление свободного газа в массиве, т.е. в полости выброса.

$$P_z = k \cdot V_{\max} - \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \text{ (атм)}.$$

**Список литературы:** 1. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа. Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу.- М., 1961. 2. Волошин Н.Е., Вайнштейн Л.А, Брюханов А.М., Куш О.А., Бойко Я.Н., Рубинский А.А., Ризниченко А.И. Выбросы угля, породы в шахтах Донбасса в 1906-2007 г.г. (Справочник). -Донецк: СПД Дмитренко, 2008 – 920 с. 3. М.И. Большинский, Б.А. Лысиков, А.А. Каплюхин. Газодинамические явления в шахтах. Монография. – Севастополь: «Вебер», 2003. – 284 с. 4. Петросян А.Э., Иванов Б.М., Крупеня В.Г. Теория внезапных выбросов. - М.: Наука, - 1983. - 210 с. 5. Логвинович Г.В. Гидродинамика течений со свободными границами. - Киев: Наукова думка, 1969. 6. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Т. 1, 2. - М.: Мир, 1991. 7. Шабаров В.В. Применение системы ANSYS к решению гидрогазодинамических задач. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике». Нижний Новгород, 2006, 108 с.



## ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА ПРЕДПРИЯТИИ

Сокольникова О.Е., Момот А.И., Примуш Д.Н.

ДонНТУ, г. Донецк, Украина

Тел./факс: +38 062 263 78 33; E-mail: momot@mech.dgtu.donetsk.ua

**Abstract:** *There have been detected the main internal and external causes, that influence on the effectiveness of quality management system.*

**Keywords:** *effectiveness, quality management system, management, standards, causes of inefficiency.*

В настоящее время в условиях перехода экономики Украины на рыночные отношения ежегодно увеличивается количество предприятий, внедривших и сертифицировавших у себя систему менеджмента качества (СМК) на соответствие требованиям международного стандарта ДСТУ ISO 9001:2009. Это обусловлено как желанием занимать лидирующее положение в своей отрасли в условиях жесткой конкуренции, так и стремлением достижения стабильной работы на современном рынке. Наличие системы качества у производителя подтверждает способность данного предприятия обеспечить выполнение следующих требований: со стороны государства, со стороны потребителей, а так же требований, предъявляемых организацией к собственной деятельности. Многие предприятия уже успели по достоинству оценить для себя преимущества и выгоды от внедрения и поддержания у себя в рабочем состоянии эффективной СМК. Однако в последнее время довольно часто стали появляться публикации, которые ставят под сомнение целесообразность внедрения и эффективности СМК в целом. Поэтому рассмотрение основных причин, влияющих на эффективность СМК на предприятиях, является крайне актуальной.

Данные вопросы уже поднимались в научной печати. Так, в своих статьях проблемы неэффективности СМК рассматривали следующие авторы: А.А. Дубровин, Н.П. Меньяло, С. Лушникова, О.А. Михальчук, С.С. Цыбикжапов, Э.С. Синтюк и другие. Однако следует отметить, что в ряде работ недостаточное внимание уделено такой важной проблеме, как правильная мотивация персонала, а так же важность донесения до сотрудников идеологии качества. Ведь роль персонала в разработке и поддержании функционирования эффективной СМК бесспорна. Человеческий фактор является доминирующим и может стать как «двигателем», так и «тормозом» всей системы в целом.

Основной целью данной публикации является рассмотрение проблем обеспечения эффективности СМК, возникающих в процессе внедрения и функционирования СМК на предприятии.

Бесспорно, причин внедрения и функционирования неэффективных СМК достаточно много, однако в данной статье мы попробуем выявить и рассмотреть основные из них. В общем виде все причины можно разделить на внутренние и внешние по отношению к предприятию (рисунок 1).

Итак, рассмотрим, прежде всего, основные внутренние причины.

Во-первых, это формальное внедрение СМК. Эта проблема является одной из самых распространенных причин неэффективности систем качества. В настоящее время многие предприятия ставят перед собой неправильные цели: при участии в разных конкурсных отборах и тендерах для повышения своей конкурентоспособности они стремятся к получению только лишь сертификата.

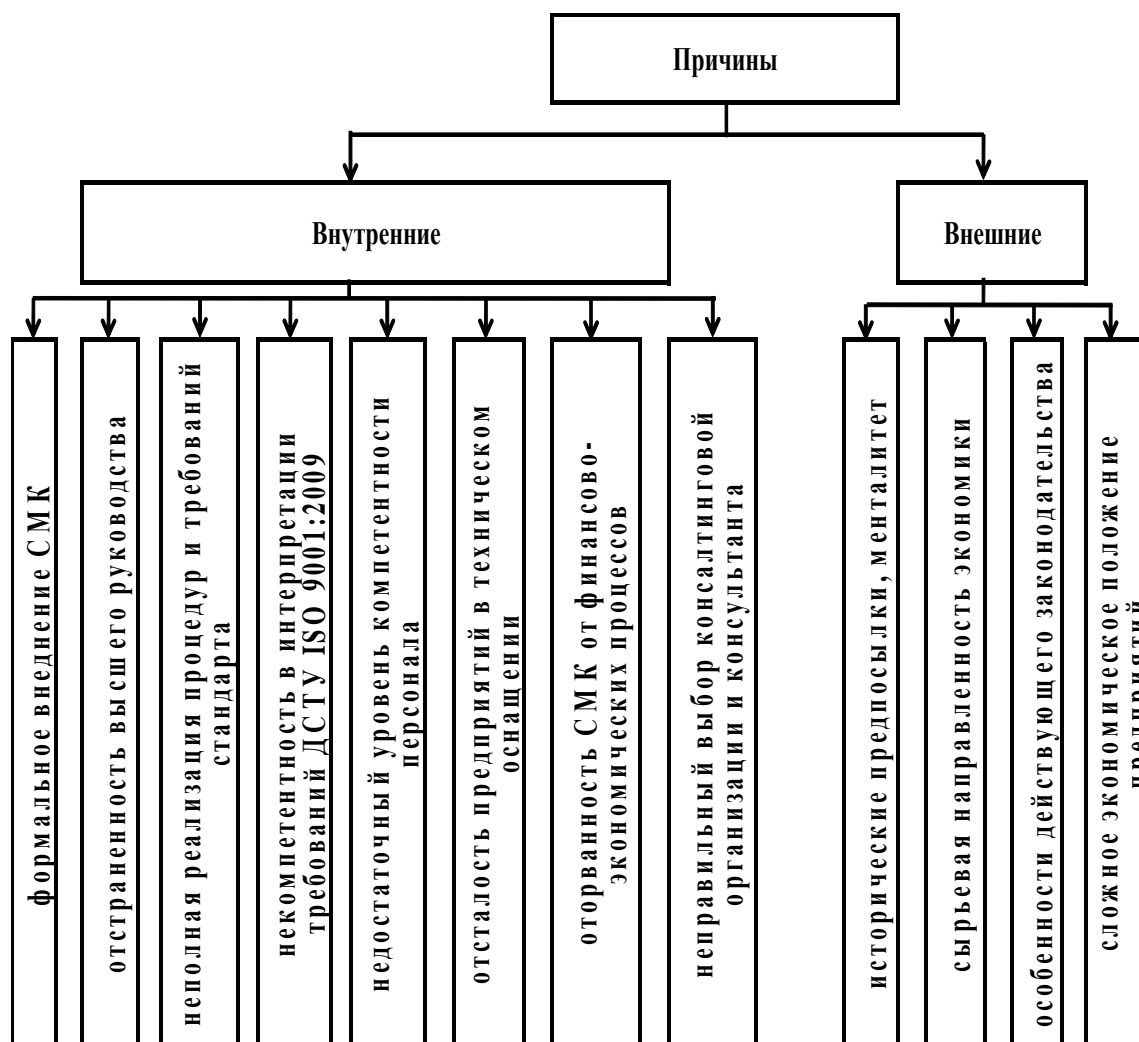


Рис. 1. Структурная схема основных причин неэффективных СМК

Такая постановка цели гарантирует лишь формальное внедрение системы и ее фальшивость на практике. Что непременно обнаружится в процессе сертификационного и надзорного аудитов. К сожалению, гораздо реже целью является освоение инструмента управления, который наведет в компании порядок. [4]. В погоне за сиюминутной выгодой такие предприятия не способны увидеть и понять перспективы, которые перед ними открывает внедренная СМК. Кроме того, многие специалисты полагают, что формализм внедрения систем во многом обусловлен несоблюдением принципов СМК. Все эти принципы, бесспорно, связаны между собой, и вполне естественно, что несоблюдение одного из них ведет к тому, что система не будет реализована в полной мере [5]. Таким образом, формальный подход к разработке и внедрению СМК, приводит к ее практической неработоспособности и полному отсутствию положительного эффекта от внедрения.

Во-вторых, это отстраненность высшего руководства, его нежелание вникать в проблемы менеджмента качества, а так же непонимание своей ведущей роли и обязанностей при создании, функционировании и постоянном улучшении результативности и эффективности СМК, предписанных ДСТУ ISO 9001:2009 [6]. К сожалению, многие руководители даже не стремятся разобраться в данных столь важных вопросах, поэтому данная причина также приводит к провалу всей системы в целом.

В-третьих, это неполная реализация процедур и требований стандарта. Многие предприятия относятся к требованиям и процедурам формально, либо попросту игно-

рируют их. Такое отношение, как правило, приводит к невозможности поддержания эффективной системы качества на предприятии.

В-четвертых, некомпетентность в интерпретации требований ДСТУ ISO 9001:2009. Чтобы правильно интерпретировать требования ДСТУ ISO 9001 в деятельности каждой конкретной организации, необходимо проанализировать и учесть весь объем отраслевых нормативов, а также соответствующие законодательные и правовые акты, распространяющиеся на предприятия, а где необходимо - требования международных документов. Так же должны учитываться корпоративные особенности и стратегия организации [6]. Таким образом, можно сказать, что каждое предприятие уникально и требует своего подхода к разработке и внедрению СМК, а так же правильной, квалифицированной интерпретации требований стандарта, исходя из специфики конкретного предприятия.

В-пятых, это недостаточный уровень компетентности персонала, не понимание, что такое СМК, зачем она нужна предприятию, отсутствие вовлеченности в процессы системы, формальное, иногда даже отрицательное отношение. Без сомнения, построить и внедрить эффективную СМК возможно только работая всем коллективом предприятия во главе с высшим руководством, где каждый должен четко понимать отведенную ему роль и исполнять свои обязанности. Для всего персонала компании необходимо организовать высококвалифицированное обучение с доступным изложением информации. Каждый работник должен понимать, что такое СМК и какова именно его роль в данной системе.

В-шестых, отсталость предприятий в техническом оснащении. В настоящее время на многих украинских предприятиях используется морально и технически устаревшее оборудование. Таким образом, снизить влияние человеческого фактора на технологический процесс не представляется возможным, что в свою очередь приводит к проблематичности достижения требуемого уровня качества сложных изделий.

В-седьмых, оторванность СМК от финансово-экономических процессов. Данная проблема заключается в том, что без соответствующих финансовых влияний совершенствование процессов управления качеством невозможно. СМК требует определения стратегических целей предприятия на несколько лет вперед, то есть долгосрочного планирования. Однако вместо этого приходится управлять на основе краткосрочных финансово-экономических показателей, что является недопустимым, поскольку реальные финансовые результаты достигаются только по прошествии определенного периода времени.

В-восьмых, это неправильный выбор консалтинговой организации и консультанта. В настоящее время очень многие консалтинговые организации предлагают услуги по разработке СМК, отвечающих требованиям стандартов ISO. Однако не следует забывать, что многие из них не являются компетентными специалистами в данной области. Существует много примеров того, как получив всю необходимую разработанную документацию, компания в итоге не проходит сертификацию, в результате чего ей приходится обращаться уже к другой консалтинговой организации за той же помощью. Таким образом, прежде чем прибегнуть к таким услугам, необходимо собрать достоверную информацию о данной консалтинговой компании на основе реальных отзывов. Кроме того, консалтинговая организация должна располагать достаточным опытом по внедрению эффективных СМК.

Теперь кратко рассмотрим основные внешние по отношению к предприятию причины внедрения и функционирования неэффективных СМК. Во-первых, сюда можно отнести исторические предпосылки возникновения пренебрежительного отношения к качеству, менталитет украинского народа. Во-вторых, сырьевая направленность экономики. В-третьих, это особенности действующего законодательства. В-четвертых, сложное экономическое положение предприятий.

Конечно, перебороть менталитет не так-то уж просто, для этого необходимо поднятие идеологии качества на национальный уровень, требуется достаточно продол-

жительный период времени. Однако для преодоления данной причины у себя на предприятии необходимо постараться донести философию качества до каждого сотрудника предприятия, чтобы каждый проникся этой идеей. Необходимо заинтересовать сотрудников, создать на предприятии систему мотивации персонала, которая бы включала в себя оплату труда по достигнутым результатам.

**Вывод.** Таким образом, основными причинами внедрения и функционирования неэффективных СМК являются:

1. формальное внедрение СМК;
2. отстраненность высшего руководства, его нежелание вникать в проблемы менеджмента качества, непонимание высшим руководством многих организаций своих ведущих роли и обязанностей;
3. неполная реализация процедур и требований стандарта;
4. недостаточная компетентность в интерпретации требований ДСТУ ISO 9001:2009;
5. недостаточный уровень компетентности персонала;
6. отсталость предприятий в техническом оснащении;
7. оторванность СМК от финансово-экономических процессов;
8. неправильный выбор консалтинговой организации и консультанта;
9. исторические предпосылки возникновения пренебрежительного отношения к качеству, менталитет;
10. сырьевая направленность экономики;
11. особенности действующего законодательства;
12. сложное экономическое положение предприятий.

Конечно, это далеко не все причины внедрения и функционирования неэффективных СМК. Однако следует помнить, что внедрение эффективной СМК помогает предприятию повысить свою конкурентоспособность; является мощным инструментом для налаживания всей деятельности предприятия (начиная от закупок сырья и заканчивая продажей готовой продукции); предоставляет возможность улучшения экономических показателей путем сокращения затрат на анализ, проектирование, разработку, постановку и сервисное обслуживание продукции; способствует успешной реализации своей продукции и услуг; повышает культуру менеджмента и уровень управляемости; снижает риски и издержки. Таким образом, необходимо анализировать и исключать причины, которые могут привести к внедрению и функционированию неэффективных систем качества.

**Список литературы:** 1. Лушникова С. Внедрение системы менеджмента качества: основные ошибки [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://slushnikova.ru/main/vnedrenie-sistemy-menedzhmenta-kachestva-osnovnye-oshibki> 2. Синтюк Э.С. Причины формального внедрения СМК [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.rae.ru/forum2012/314/2940> 3. Дубровин А.А., Меняйло Н.П. Системный подход и эффективность СМК организаций. // Стандарты и качество. - 2012. - № 9. - С. 92-94. 4. Чернов С.С., Костюк К.С. СМК: Недуги внедрения и функционирования и способы их излечения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.zhuk.net/page.php?id=516&comments=1> 5. Михальчук О.А., Цыбикжапов С.С. Факторы, влияющие на внедрение системы менеджмента качества на предприятии [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.rae.ru/forum2012/314/2939> 6. Егорова Л. Причины неэффективности систем менеджмента качества [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://quality.eup.ru/MATERIALY12/no-effect.htm>

# ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ

Шейко Е.А.

ДонНТУ, Донецк, Украина

Тел.: +38 (095) 8208113; E-mail: nayta@mail.ru

**Abstract:** В данной статье приведена методика экспериментальных исследований по определению свойств нитрид титанового покрытия на внутренней цилиндрической поверхности изделия, которое выполнено по специальной технологии. В работе определены параметры шероховатости поверхности и микротвердость поверхности изделия. А также установлена зависимость толщины напыляемого покрытия от угла наклона оси изделия к направлению потока плазмы и даны общие рекомендации.

**Ключевые слова:** нитрид титановое покрытие, внутренняя цилиндрическая поверхность, изделие, свойства

## 1. Введение

В настоящее время вакуумные ионно-плазменные покрытия широко применяются для различных изделий машиностроения для повышения их свойств [1, ..., 4]. Особенно перспективными для этого являются нитрид титановые покрытия [2, 3]. Эти покрытия имеют большую твердость (микротвердость  $\mu_v = 20 \dots 23$  МПа), высокую износостойкость, абразивную стойкость, тугоплавкость, пластичность при высоких температурах и другие свойства, что обуславливает высокие функциональные параметры изделий [4].

Вместе с тем, можно отметить, что процесс нанесения приведенных покрытий обычно сейчас выполняется для наружных поверхностей изделий [1, ..., 4], и в настоящее время нет данных о нанесении этих покрытий на внутренние цилиндрические поверхности (ВЦП) изделий от внешнего потока плазмы при выполнении принципа концентрации изделий в вакуумной камере.

Для реализации процесса нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий на ВЦП изделий при выполнении принципа концентрации изделий в вакуумной камере [5, ..., 7], автором данной статьи разработан специальный способ нанесения этих покрытий на ВЦП изделий от внешнего потока плазмы при выполнении принципа концентрации изделий в вакуумной камере [8]. Этот способ позволяет реализовывать с помощью специального приспособления процесс нанесения покрытий на ВЦП изделий с заданными параметрами качества.

Математические структурно-функциональные символьные модели покрытия с учетом потоков материи, энергии и информации могут быть представлены следующими выражениями:

- для однослойного покрытия

$$V_o \rightarrow \bigwedge_{v=1}^{\infty} \{ (m_{s,t,v}, e_{s,t,v}, i_{s,t,v}), (\bigwedge_{s=1}^{\infty} dl_s \times \bigwedge_{t=1}^{\infty} dl_t \times dl_v) \}, \quad (1)$$

- для многослойного покрытия

$$V_m \rightarrow \bigvee_{v=1}^n \{ (m_{s,t,v}, e_{s,t,v}, i_{s,t,v}), (\bigwedge_{s=1}^{\infty} dl_s \times \bigwedge_{t=1}^{\infty} dl_t \times dl_v) \}, \quad (2)$$

где  $(m_{s,t,v}, e_{s,t,v}, i_{s,t,v})$  - кортеж параметров технологических воздействий материального, энергетического и информационного характера в зависимости от параметров  $s, t, v$ .

Вместе с тем, можно отметить, что в настоящее время еще не исследованы параметры качества покрытий на ВЦП изделий. Поэтому в данной работе выполняются исследования свойств покрытий на ВЦП изделий.

Целью данной работы является исследования параметров качества нитрид титановых покрытий на ВЦП изделий, наносимых вакуумным ионно-плазменным методом от внешнего потока плазмы при выполнении принципа концентрации изделий в вакуумной камере.

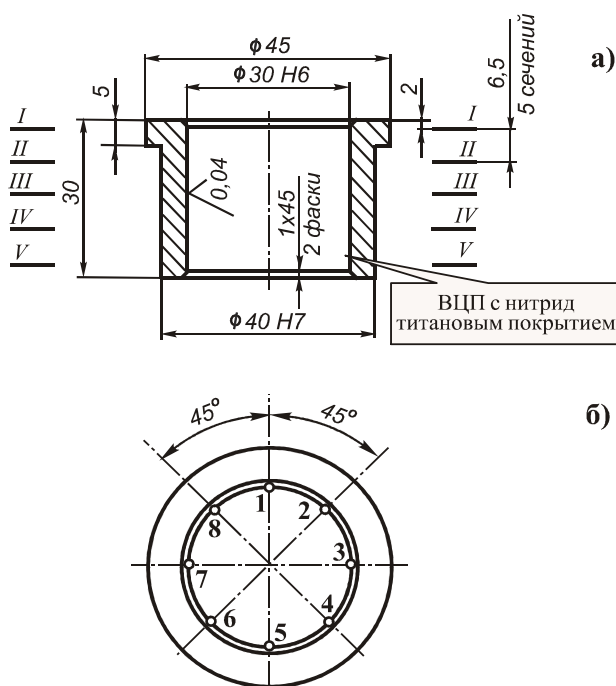


Рис. 1. Общий вид изделия с ВЦП с вакуумным ионно-плазменным покрытием (I-I, II-II, III-III, IV-IV, V-V – поперечные сечения; 1, 2, ..., 8 – точки измерения толщины покрытия):

а – продольный разрез, б – вид сверху

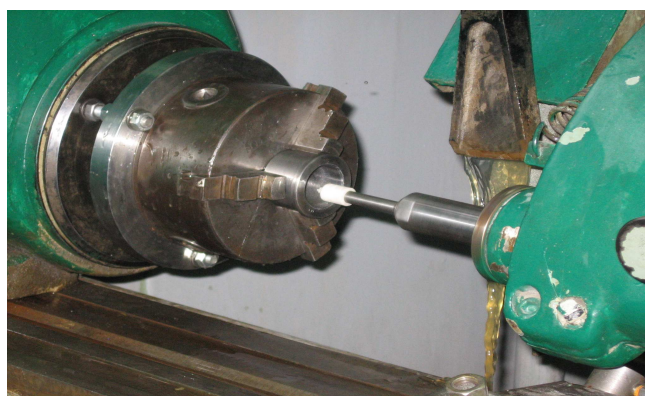


Рис. 2. Общий вид процесса обработки ВЦП изделия на станке модели 3Э110М

Для достижения поставленной цели в работе были поставлены следующие задачи: разработать методику экспериментальных исследований; определить параметры шероховатости ВЦП изделий с нитрид титановым покрытием; установить параметры микротвердости покрытия на ВЦП изделия; определить толщину нитрид титанового покрытия по окружности ВЦП для конкретного сечения изделия; определить особенности изменения толщины нитрид титанового покрытия на ВЦП изделия по различным сечениям изделия; установить зависимость толщины напыляемого покрытия на ВЦП изделия от угла наклона оси изделия к направлению потока плазмы.

## 2. Методика экспериментальных исследований

Для выполнения экспериментальных исследований по определению особенностей нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий на ВЦП изделия были изготовлены натурные образцы натурные образцы специальных втулок (рис. 5.1). Общее количество втулок определено на основании основных рекомендации теории эксперимента их количество составило 12.

На рис. 1 представлены основные геометрические параметры втулок с ВЦП. Данные втулки изготовлены из одной заготовки стали 45.

Направляющие втулки были предварительно изготовлены на токарном станке. Технологический процесс отделочной обработки ВЦП изделия (до

нанесения покрытия) включал выполнение следующих операций: шлифование ВЦП, пескоструйная обработка ВЦП, полировка ВЦП, обработка ультразвуком, специальная мойка и подготовка ВЦП к нанесению покрытия.

ВЦП изделия обработано на круглошлифовальном станке модели 3Э110М (рис. 2) с применением внутришлифовальной головки методом - напроход. Обработка выполнена с длительным выхаживанием ВЦП, при этом параметр шероховатости составил  $R_a = 0,32$  мм, материал абразивного круга - электрокорунд, диаметр круга 12 мм. Припуск на шлифование ВЦП (по диаметру) составлял 0,18 мм. Скорость шлифовального круга составляла  $v_k = 30$  м/с, скорость вращения изделия  $v_{\omega} = 0,03$  м/с. Продольная подача -  $s_n = 0,005$  м/об на один оборот детали.

Пескоструйная обработка ВЦП изделия выполнена на установке для пескоструйной обработки ВЦП изделий. Пескоструйная обработка ВЦП изделий выполнялась струей сжатого воздуха, подаваемого из ресивера при давлении  $Q = 6$  атм., с взвешенными в нем частицами песка (зерна песчинок кварца и полевых шпатов размерами 0,1 ... 0,5 мм) на обрабатываемую поверхность. После пескоструйной обработки параметр шероховатости поверхности составил  $R_a = 0,22$  мм.

При полировании припуск на обработку составил 0,015 мм, в качестве абразивных материалов использованы тонкие микрошлифпорошки с размерами зерен М10. Для полировки использован войлочный круг. Обработка выполнена с длительной обработкой 185 с, при этом параметр шероховатости составил  $R_a = 0,04$  мм.

Для последующего нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий выполнена ультразвуковая обработка и специальная мойка изделия с ВЦП. Ультразвуковая обработка изделий выполнена в течении 10 мин.

Вакуумное ионно-плазменное покрытие ВЦП изделий напылялось на установке ННВ 6.6-И1. Материал катодов ВТ 1-0 (рис. 3), количество катодов – 3. Покрытие композиционное на основе нитрид титанового покрытия TiN. Толщина покрытия 12 мкм. Покрытие нанесено с использованием разработанного способа и устройства для его осуществления [8]. Длительность нанесения покрытия составил 50 мин, угол наклона оси втулки составил  $\omega = 15^\circ$ . Общий вид изделий с ВЦП с нитрид титановым покрытием представлен на рис. 4.

В данной работе предусматривается установить следующие параметры нитрид титанового покрытия на ВЦП изделия:

1. Определить параметры шероховатости ВЦП изделий с нитрид титановым покрытием.

2. Установить параметры микротвердости покрытия на ВЦП изделия.

3. Определить толщину нитрид титанового покрытия по окружности ВЦП для конкретного сечения изделия.

4. Определить особенности изменения толщины нитрид титанового покрытия на ВЦП изделия по различным сечениям изделия.

5. Установить зависимость толщины напыляемого покрытия на цилиндрическую внутреннюю поверхность изделия от угла наклона оси изделия к направлению потока плазмы.



Рис. 3. Общий вид катода установки ННВ 6.6-И1, отработавшего 10 часов





Рис. 4. Натурные образцы направляющих втулок (подложка - сталь 45)

В данной работе планируется выполнение экспериментальных исследований по определению параметров шероховатости ВЦП изделий на профилограф-профилометре, в зонах ВЦП, представленных на схеме рис. 1.

Установление параметров микротвердости нитрид титанового покрытия на ВЦП изделия планируется выполнить на микротвердомере ПМТ-3 в 8 зонах по 5 точкам измерения в каждой. Для выполнения

измерений микротвердости планируется выполнить разрезку изделия на элементы и выполнение измерения на микротвердомере ПМТ-3.

Процесс определения толщины нитрид титанового покрытия по окружности ВЦП для конкретного сечения изделия планируется выполнить путем выполнения сечения изделия в плоскости *I-I* за счет обработки на токарном станке, обработки на плоскошлифовальном станке и полировки поверхности изделия в плоскости *I-I*. Затем будет проведено травление полированной поверхности и измерение толщины покрытия на большом металлографическом микроскопе НЕОРНОТ-2 по восьми точкам схемы рис. 1. Толщина покрытия будет измеряться на микроскопе путем сравнения его параметров с параметрами объекта-микрометра и соответствующих пересчетов.

Определение особенностей изменения толщины нитрид титанового покрытия на ВЦП изделия по различным сечениям изделия планируется выполнить по пяти сечениям изделия в соответствии со схемой рис. 1. Подготовка каждого сечения к измерению должна выполняться аналогично предыдущему исследованию. В каждом сечении измерения должны выполняться по восьми точкам.

А также в данной работе планируется установить зависимость толщины напыляемого покрытия на образцы-свидетели от угла наклона оси изделия к направлению потока плазмы. Образцы свидетели планируется устанавливать под углом к потоку плазмы и выполнять процесс нанесения покрытия. Углы  $\omega$  наклона оси изделия к направлению потока плазмы следующие  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$ . Длительность нанесения нитрид титанового покрытия составляла во всех случаях 20 мин.

Таким образом, предлагаемая методика экспериментальных исследований позволит выполнить заданные исследования и установить особенности нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий на ВЦП изделия.

### 3. Основные результаты экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования по определению параметров шероховатости ВЦП изделий выполнены на профилограф-профилометре в зонах ВЦП, представленных на схеме рис. 1. Результаты измерений параметров шероховатости нитрид титанового покрытия на профилограф-профилометре (образец №5) представлены в табл. 1. Среднее значение параметра шероховатости ВЦП изделия до нанесения покрытия составлял  $R_a = 0,04$  мм. Нитрид титановое покрытие (TiN) напылено на установке ННВ 6.6-И1 на серию натурных образцов изделий (рис. 4) с ВЦП в течении 50 минут, катоды изготовлены из материала ВТ 1-0 (3 катода). Угол наклона оси изделия к направлению потока плазмы составлял  $\omega = 15^\circ$ , материал основы изделия с ВЦП сталь 45 (подложка).



Таблица 1. Результаты измерений параметров шероховатости нитрид титанового покрытия на профилограф-профилометре (образец №5)

Поперечные сечения изделия	Точки измерения покрытия (образец №5)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Значения параметра шероховатости $R_a$ , мкм							
<b>I-I</b>	0,036	0,038	0,036	0,037	0,035	0,036	0,036	0,034
<b>II-II</b>	0,036	0,034	0,036	0,035	0,034	0,034	0,035	0,034
<b>III-III</b>	0,038	0,037	0,036	0,036	0,035	0,037	0,035	0,036
<b>IV-IV</b>	0,040	0,034	0,035	0,037	0,036	0,034	0,037	0,038
<b>V-V</b>	0,036	0,042	0,038	0,042	0,036	0,038	0,036	0,042

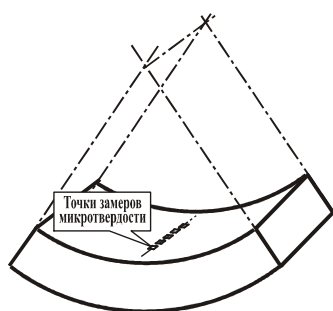


Рис. 5. Схема расположения точек замеров микротвердости покрытия на ВЦП кольцевого сектора изделия

Выполненные исследования параметра шероховатости  $R_a$  показали, что в данном случае нитрид титановое покрытие не значительно изменяет параметры шероховатости. Это связано с тем, что покрытие имеет небольшую толщину до 12 мкм.

Определение параметров микротвердости нитрид титанового покрытия на ВЦП изделия выполнено на микротвердомере ПМТ-3 по 8 точкам измерения. Для выполнения измерений микротвердости покрытия на ВЦП изделия проведена разрезка изделия на элементы (кольцо разрезано на 8 секторов) и осуществлено измерение микротвердости нитрид титанового покрытия на микротвердомере ПМТ-3. На рис. 5 представлена схема расположения точек замеров параметров микротвердости покрытия на ВЦП кольцевого сектора изделия. В табл. 2 представлены результаты измерения микротвердости нитрид титанового покрытия на ВЦП изделия.

Таблица 2. Результаты измерений микротвердости нитрид титанового покрытия на ВЦП изделия (элементы образца №5)

Точки измерения	Сектора кольца по сечению <b>I-I</b> (элементы образца №5)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Значения параметров микротвердости $H_\mu$ , ГПа							
<b>1</b>	23,2	23,0	23,2	23,1	23,1	23,2	22,8	23,0
<b>2</b>	22,9	22,9	22,6	22,7	22,9	22,0	22,2	23,1
<b>3</b>	23,0	23,1	23,3	23,0	23,2	23,2	23,3	23,0
<b>4</b>	23,1	22,4	22,2	22,1	23,3	23,2	23,0	22,9
<b>5</b>	22,8	22,9	22,9	22,7	22,6	22,8	22,5	22,6

В табл. 3 представлены результаты измерений толщины вакуумных ионно-плазменных покрытия (нитрид титановое покрытие) на большом металлографическом микроскопе НЕОРНОТ-2 для образца №5. Нитрид титановое покрытие (TiN) напылено на установке ННВ 6.6-И1 на серию натуральных образцов изделий (рис. 4) с ВЦП в течении 50 минут, катоды изготовлены из материала ВТ 1-0 (3 катода). Угол наклона оси изделия к направлению потока плазмы составлял  $\omega = 15^\circ$ , материал основы изделия с ВЦП сталь 45. Для нанесения покрытия использовалось специально разработанное уст-



Рис. 6. Общий вид поверхности изделия с ВЦП по сечению I-I

ройство для напыления вакуумных ионно-плазменных покрытий [6, 7, 8]. В табл. 3 приведены данные по толщине покрытия изделия характерные для всех натуральных образцов.

Измерение параметров толщины покрытия ВЦП изделия (рис. 1) выполнялось по восьми точкам изделия в пяти сечениях. Для определения параметров толщины покрытия выполнялся срез слоев изделия с последующей полировкой поверхности изделия (рис. 6). После полировки поверхности сечения изделия выполнялось измерение параметров толщины покрытия на большом металлографическом микроскопе NEORHOT-2.

Таблица 3. Результаты измерений толщины вакуумных ионно-плазменных покрытия (нитрид титановое покрытие) на большом металлографическом микроскопе

Поперечные сечения изделия	Точки измерения покрытия (образец №5)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Значения толщины покрытия $h$ , мкм							
<b>I-I</b>	12,1	12,1	12,2	12,1	12,1	12,2	12,2	12,2
<b>II-II</b>	12,1	12,2	12,1	12,2	12,1	12,1	12,2	12,1
<b>III-III</b>	12,0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,0	11,9	11,9
<b>IV-IV</b>	11,9	12,0	11,9	12,0	12,0	11,9	12,1	12,1
<b>V-V</b>	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,9

Определение особенностей изменения толщины нитрид титанового покрытия на ВЦП изделия по различным сечениям изделия выполнено по пяти сечениям изделия в соответствии со схемой рис. 1. Подготовка каждого сечения к измерению выполнена аналогично предыдущему исследованию. В каждом сечении измерения выполнялись по восьми точкам.

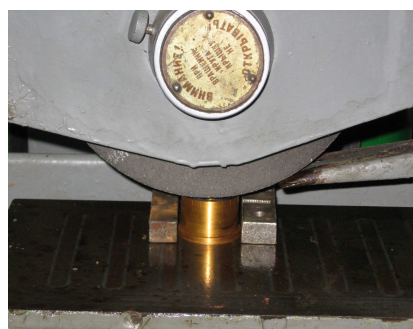


Рис. 7. Общий вид шлифовки поверхности изделия с ВЦП по сечениям

Обработка поверхностей сечений изделия с ВЦП выполнялась на плоскошлифовальном станке модели 3E711B посредством последовательной шлифовки материала изделия (рис. 7).

Для установления особенностей напыления покрытия на ВЦП изделия в зависимости от угла наклона оси ВЦП относительно потока плазмы определена зависимость толщины слоя напыляемого покрытия на поверхность от угла  $\omega$ . На рис. 8 приведена зависимость толщины напыляемого покрытия на образцы-свидетели от угла наклона оси изделия к направлению потока плазмы  $\omega$ . Образцы-свидетели устанавливались под углом к потоку плазмы, и выполнялся процесс нанесения покрытия. Углы  $\omega$  наклона оси изделия к направлению потока плазмы следующие  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$ .

Таким образом, в данной работе выполнены экспериментальные исследования по определению особенностей нанесения покрытий и установлены характеристики наносимого покрытия на ВЦП изделия. Проведенные исследования дают возможность проектировать оснастку технологических систем в зависимости от особенностей нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий на ВЦП изделия.

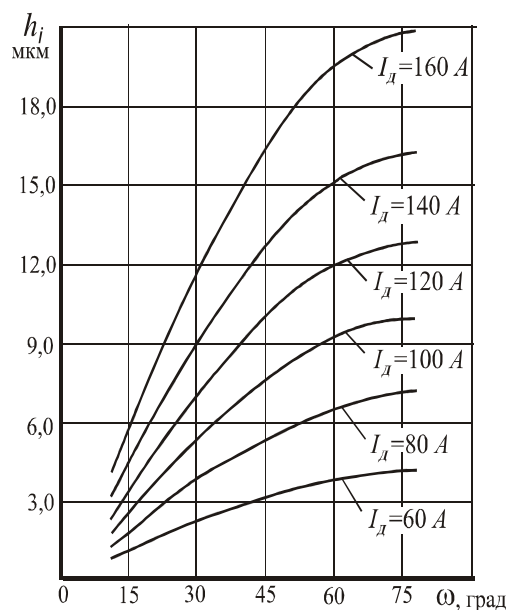


Рис. 8. Зависимость толщины напыляемого покрытия на ВЦП от угла наклона оси изделия к направлению потока плазмы

установить зависимость толщины напыляемого покрытия ВЦП изделия от угла наклона оси изделия к направлению потока плазмы. При этом определено, что с увеличением угла наклона продольной оси изделия (в пределах допустимых значений) повышается производительность нанесения покрытий.

В целом процесс нанесения покрытий на ВЦП от внешнего источника потока плазмы в условиях концентрации изделий в вакуумной камере характеризуется стабильностью свойств и может быть рекомендован для применения в машиностроении.

**Список литературы:** 1. Рыжов Э.В. Клименко С.А., Гуцаленко О.Г. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями. – Киев: Наукова думка, 1994. – 180 с. 2. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение: 1993. – 336 с. 3. Григорьев С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента: Учебник для студ. вузов. – М.: Машиностроение, 2009. – 368 с. 4. Внуков Ю.Н., Марков А.А., Лаврова Л.В., Бердышев Н.Ю. Нанесение износостойких покрытий на быстрорежущий инструмент. – Киев, Техника, 1992. – 143 с. 5. Михайлова Е.А., Михайлов В.А. К вопросу нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий на внутренние поверхности изделий машиностроения // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. Вип. 30. С. 157-164. 6. Михайлова Е.А. Особенности нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий на внутренние поверхности изделий машиностроения. // Упрочняющие технологии и покрытия. – М.: Машиностроение. №4. 2006. С. 32 – 35. 7. Михайлова Е.А. Некоторые особенности напыления вакуумных ионно-плазменных покрытий на внутренние цилиндрические поверхности изделий машиностроения // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2006. Вип. 31. С. 210 - 219. 8. Патент України №87935. МПК<sup>7</sup> C23C 14/00. Спосіб нанесення вакуумних іонно-плазмових покриттів на внутрішні циліндричні поверхні виробів. / Михайлова О.О., Малишко І.О. Регістраційний номер заявки - а200801658. Дата подачі - 08.02.2008. – 4 с.

#### 4. Заключение

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено следующее.

1. В работе определено, что параметры шероховатости ВЦП изделий с нитрид титановым покрытием до и после нанесения покрытия отличаются не значительно в пределах 1,5 ... 2,0 %, что характеризует ВЦП стабильностью параметров шероховатости поверхности.

2. Установлено, что микротвердость нитрид титанового покрытия по высоте ВЦП изменяется в пределах 1,6 ... 1,8 %, что характеризует ВЦП стабильностью параметров микротвердости покрытия поверхности изделия.

3. В работе определено, что толщина нитрид титанового покрытия по окружности ВЦП для конкретного сечения изделия практически не изменяется. При этом толщина покрытия по высоте ВЦП изменяется в пределах 3,0 ... 3,5 %, что характеризует ВЦП стабильностью параметров толщины покрытия.

5. Выполненные исследования позволили

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Авдюшина А.Е., Звягинцева А.В.</b> АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ СТОЛКНОВЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ С ПТИЦАМИ ЗА 2002-2012 ГОДЫ	3
<b>Аль-Судани Т.Т., Михайлов А.Н., Шейко Е.А.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СТОЙКОСТИ ФРЕЗ С ПЕРЕМЕННЫМИ СКОРОСТЯМИ РЕЗАНИЯ ПО ДЛИНЕ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ЗУБА	7
<b>Анкудимов Ю.П., Фоменко Е.С.</b> МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ВИБРАЦИОННОЙ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ	20
<b>Байков А.В., Феник Л.Н., Корнейчук Т.С.</b> МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПОЛИМЕРАБРАЗИВНОЙ КОМПОЗИЦИИ	25
<b>Бахмацкая А.И., Плуготаренко Н.К.</b> ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ ПРОДУКТАМИ ЕЁ ХЛОРИРОВАНИЯ	27
<b>Безкровная А.И., Момот А.И., Васильев С.В.</b> ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В УКРАИНЕ	31
<b>Богуславский В.А., Ивченко Т.Г., Польченко В.В., Король К.О</b> ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ЧИСТОВОМ ТОЧЕНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ДЕЙСТВИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД	36
<b>Буленков Е.А., Шурчилова Ю.В.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕЖРОТОРНОЙ ПЕРЕДАЧИ НЕСКОЛЬКИХ ДЕТАЛЕЙ ОДНИМ ЗАХВАТНЫМ ОРГАНОМ	41
<b>Бутенко В.И.</b> ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ АТОМНЫХ РЕАКТОРОВ	44
<b>Бутенко В.И.</b> ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СЛОЁВ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ДЕТАЛЕЙ ТРИБОСИСТЕМ	48
<b>Бутенко В.И., Гусакова Л.В.</b> ОСОБЕННОСТИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЖАРОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	53
<b>Бутенко В.И., Кулинский А.Д.</b> АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНОСА МНОГОКОМПОНЕНТНОГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ ТРИБОСИСТЕМЫ	57
<b>Водолазская Н.В.</b> К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОСТОВЫХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КРАНОВ ЗА СЧЕТ ОЦЕНКИ ИХ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА	63

<b>Горобец И.А., Голубов Н.В., Шпирка А.Г.</b> ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ ПРИРОДНОГО КАМНЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КО- ЛЕБАНИЙ	66
<b>Горобець І.О., Загребельний С.С., Голубов М.В.</b> РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАНЕВРУВАННЯ РОБОТА ROBOTINO	70
<b>Горяинова А.В., Звягинцева А.В.</b> ВОЗМОЖНОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ОБЪЕКТАХ ТЕХНОСФЕРЫ	74
<b>Грубка Р.М., Тарасова Е.С., Каюмов Х.А.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗУБЧАТОЙ МУФ- ТЕ МЕЖДУ ЗУБЬЯМИ С ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ОБРАЗУЮЩЕЙ ПРИ НА- ЛИЧИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ МОНТАЖА ВАЛОВ	80
<b>Демченко А.А., Момот А.И., Василян Г.Р.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПОНЯТИЙ ЭФФЕК- ТИВНОСТИ И РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ	86
<b>Долгополова А.Г., Плуготаренко Н.К.</b> АНАЛИЗ МЕТОДИК ОЦЕНКИ РИСКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮ- ЩУЮ СРЕДУ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	91
<b>Дуров Д.С.</b> ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ САМОЛЕТОМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗЛЕ- ТА И ПОСАДКИ НА ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМЕ И РЕЖИМЕ ВИСЕНИЯ	95
<b>Дуров Д.С.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗУЕМЫХ ВИНТОКРЫЛЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ФУНКЦИИ РАСШИРЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТРАН- СПОРНОЙ АВИАЦИИ	104
<b>Захарченко А.Д.</b> ВЫБОР МАТЕРИАЛА И ТЕРМООБРАБОТКИ ДЛЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПО ОСНОВНЫМ КРИТЕРИЯМ	110
<b>Захарченко А.Д.</b> К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО КОНИЧЕСКО-ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА ТИПА КЦ	113
<b>Івченко Т.Г.</b> АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ ФРЕЗЕРУ- ВАННЯ З УРАХУВАННЯМ УРИВЧАСТОСТІ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ	116
<b>Івченко Т.Г., Король К.О., Вітохіна Д.В.</b> ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ТОЧІННЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ РІЗАННЯ В РІЗНИХ УМОВАХ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	121
<b>Коваленко В.И., Меркулов М.В., Хмиров Н.А.</b> АНАЛИЗ ОБРАБОТКИ ШАТУНА ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММЫ «STATISTICA»	126
<b>Кульбида О.О., Ищенко А.Л., Феник Л.Н.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ СБОРОЧНЫХ СИСТЕМ В РАМКАХ ТЕОРИИ МАС- СОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ	130

<b>Лаппо И.Н.</b> СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБ- РАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ	133
<b>Масюк Л.Н., Гаркавый Е.Я.</b> ВЛИЯНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ НА РАЗВИТИЕ СТРАНЫ	138
<b>Михайлов А.Н., Головятинская В.В., Петров А.М., Петров М.Г.</b> ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ДЕТОНАЦИОННЫЕ ПО- КРЫТИЯ	143
<b>Михайлов А.Н., Михайлов Д.А., Аль-Судани Т.Т.</b> ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТОЙКОСТИ ФРЕЗ С ПЕРЕМЕННЫМИ СКОРОСТЯМИ РЕЗАНИЯ ПО ДЛИНЕ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ЗУБА	148
<b>Михайлов А.Н., Михайлов Д.А., Долгих А.С.</b> ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ КОМПОЗИЦИ- ОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ	155
<b>Момот А.И., Мартынюк Е.С.</b> ПРОБЛЕМЫ И ОШИБКИ ПРИ ВНЕДРЕНИИ СМК НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ	163
<b>Нечепасев В.Г., Мышов М.С.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТРУЖКИ ИНСТ- РУМЕНТОМ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ПРОФИЛЬНЫХ ПАЗОВ	166
<b>Норенко Ю.И., Момот А.И.</b> ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА И СУЩНОСТЬ КОРПОРАТИВНЫХ ТЕХ- НОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ	172
<b>Самойлов П.И., Дреко Ю.О.</b> КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДО- ВАНИЯ	174
<b>Сергиенко А.И.</b> ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ СКО- РОСТИ ВНЕЗАПНОГО ВЫБРОСА УГЛЯ ОТ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА В МАС- СИВЕ	177
<b>Сокольников О.Е., Момот А.И., Примуш Д.Н.</b> ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ МЕНЕДЖ- МЕНТА КАЧЕСТВА НА ПРЕДПРИЯТИИ	182
<b>Шейко Е.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНЫХ ИОННО- ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПО- ВЕРХНОСТЕЙ ИЗДЕЛИЙ	186